ORTAOKUL MATEMATİK ÖĞRETMENİ ADAYLARININ DİNAMİK GEOMETRİ ORTAMINDA UZAMSAL BECERİLERİNİN GELİŞİMİNİN İNCELENMESİ

Doktora Tezi

Feyza KURBAN

Eskişehir 2018

ORTAOKUL MATEMATİK ÖĞRETMENİ ADAYLARININ DİNAMİK GEOMETRİ ORTAMINDA UZAMSAL BECERİLERİNİN GELİŞİMİNİN İNCELENMESİ

Feyza KURBAN

DOKTORA TEZİ

Matematik Eğitimi Doktora Eğitimi
Matematik Eğitimi Anabilim Dalı
Danışman: Doç. Dr. Hüseyin Bahadır YANIK

Eskişehir
Anadolu Üniversitesi
Eğitim Bilimleri Enstitüsü
Ocak 2018

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

Feyza KURBAN'a "Ortaokul Matematik Öğretmeni Adaylarının Dinamik Geometri Ortamında Uzamsal Becerilerinin Gelişiminin İncelenmesi" başlıklı tezi 04.01.2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından değerlendirilerek "Anadolu Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliği"nin ilgili maddeleri uyarınca Matematik Eğitimi Anabilim Dalı Matematik Eğitimi Programında, Doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

	Unvanı-Adı Soyadı	İmza
Üye (Tez Danışmanı)	: Doç.Dr. H.Bahadır YANIK	.....
Üye	: Prof.Dr. Kürşat YENİLMEZ	.....
Üye	: Doç.Dr. Tuba ADA	.....
Üye	: Doç.Dr. Ali ERSOY	.....
Üye	: Doç.Dr. Aytaç KURTULUŞ	.....

Prof.Dr. Handan DEVECİ
Anadolu Üniversitesi
Eğitim Bilimleri Enstitüsü
Müdürü

ÖZET

ORTAOKUL MATEMATİK ÖĞRETMENİ ADAYLARININ
DİNAMİK GEOMETRİ ORTAMINDA
UZAMSAL BECERİLERİNİN GELİŞİMİNİN
İNCELENMESİ

FEYZA KURBAN

Matematik Eğitimi Anabilim Dalı

Anadolu Üniversitesi, Eğitim Bilimleri Enstitüsü, Ocak, 2018

Danışman: Doç. Dr. Hüseyin Bahadır YANIK

Çalışma kapsamında, Bilişsel Yük Teorisine (BYT) dayalı olarak tasarlanan dinamik geometri öğrenme ortamının, ortaokul matematik öğretmeni adaylarının uzamsal görselleştirme becerilerinin gelişimine etkisini incelemek amaçlanmıştır. Böylece, BYT'ye başvurarak Cabri3D öğrenme ortamında öğretmen adaylarının uzamsal becerilerini geliştirmek için bir öğretim modeli oluşturmak istenmiştir. Öğretimin öğretmen adayları üzerindeki etkilerini inceleyebilmek için bireysel öğretim deneyi kullanılmıştır. Öğretim deneyi üç adımda gerçekleştirilmiştir. Bu adımlar; Ön değerlendirme, öğretim seansları ve son değerlendirme, şeklindedir. Bireysel öğretim deneyi katılımcıların uzamsal görselleştirme ve muhakeme süreçlerini yakından gözlemleme imkânı sağlamıştır. Çalışma dört matematik öğretmen adayı ile gerçekleştirilmiştir. Ön değerlendirmede, bilişsel yük miktarları fazla uzamsal görevlerin, matematik öğretmen adaylarının hata oranlarında ve görevlerin algılanan zorluğu ile ilgili derecelendirme puanlarında artışa neden olduğu belirlenmiştir. Bunda, algılar, mevcut bilgi ve deneyimlerin yeni bağlamlar içinde kullanılamaması, kavramsal şema eksiklikleri gibi durumların etkili olduğu gözlemlenmiştir. BYT referans alınarak düzenlenen içerik, tasarlanan Cabri3D materyalleri ve belirlenen yönergelerle gerçekleştirilen öğretim sonunda, öğretmen adaylarının hata oranlarında ve görevlerin algılanan zorluğu ile ilgili derecelendirme puanlarında genel olarak azalmalar meydana gelmiştir. Bununla birlikte öğretmen adayları uzmanlık seviyelerine göre yeni şemalar edinmişler ve uzamsal becerileri gelişmiştir.

Anahtar Sözcükler: Bilişsel yük kuramı, Dinamik geometri ortamları, Uzamsal görselleştirme becerileri, Matematik öğretmeni adayları.

ABSTRACT

INVESTIGATE THE DEVELOPMENT OF SPATIAL SKILLS IN THE DYNAMIC GEOMETRY ENVIRONMENT OF MIDDLE SCHOOL MATHEMATICS TEACHERS CANDIDATES

Feyza KURBAN
Department of Mathematics Education
Anadolu University, Graduate School of Educational Sciences, January, 2018
Supervisor: Associate Professor Dr. Hüseyin Bahadır YANIK

In the scope of this study, it is aimed to investigate the effect of dynamic geometry learning environment designed on the basis of Cognitive Load Theory (CLT) on the development of spatial visualization skills of pre- service mathematics teachers. In this way, by apllying to CLT, it is desirable to create an instructional model to develop the spatial skills of pre- service teachers in the Cabri3D learning environment. Individual teaching experiment were used to examine effects of the instruction on pre- service teachers. The teaching experiment was carried out in three steps. These steps were in the form of pre-assessment, teaching sessions and final assessment. Individual teaching experiment has allowed for close observation of participants' spatial visualization and reasoning processes. The study was conducted with four mathematics teacher candidates. In the pre-assessment it is found that generally tasks which have high amount of cognitive load cause increase in the error rates and degree of perceived difficulty of pre-service teachers. It is observed that high cognitive load formed by perceptions, inability to use existing knowledge and experiences in new contexts, lack of conceptual schema, etc. After instruction, it is identified that the content arranged according to the theory, desined Cabri3D materials and teaching sessions realized with respect to defined directions generally decrease error rates of pre- service teachers and percieved difficulty of tasks. According to the level of expertise, pre-service teachers have gained new schemes, and also developed their spatial skills.

Keywords: Cognitive load theory, Dynamic geometry environments, Spatial visualization skills, Mathematics teacher candidates.

TEŞEKKÜR

Matematik öğrenmenin ve matematiği öğretmeyi öğrenmenin bireyin özverisi ile bağlantılı sürekli devam eden bir süreç olduğunu anlamamı sağlayan, araştırma nasıl yapılır? sorusuna yanıt bulmama öncü olan, ailesi, çeşitli seviyelerde öğrenim gören bir çok öğrencisi, tamamlanması ve yapılması gereken bir çok işinin arasında uzun doktora eğitimimin bir ödülü olarak tezimi tamamlamam için fırsat veren, tezimin mimarı danışman hocam Doç. Dr. Hüseyin Bahadır YANIK'a sonsuz teşekkürler.

Tezimin son aşamasında, çalışmamın her satırını tek tek inceleyerek, artık gözümden kaçırmaya başladığım hatalarımı bulmamda yardımcı olan, onu eleştirel ve yapıcı bir bakış açısı ile değerlendirmeme imkân sunan ve tez savunma sınavımda yer alarak beni onurlandıran Prof. Dr. Kürşat YENİLMEZ'e teşekkürlerimi sunarım.

Doktora ders aşamam ve tez çalışmam boyunca, bilgi, düşünce, tutum, içtenlik ve özverisini benden esirgemeyen, tez izleme sürecim boyunca gözümden kaçan noktaları yakalamamı sağlayan, değerli hocam Doç. Dr. Tuba YÜZÜGÜLLÜ ADA'ya sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tez izleme komitemde yer alarak, araştırmamın başından itibaren görüş ve önerilerini eksik etmeyen ve tez çalışmam boyunca attığım adımları sorgulamamı sağlayan, değerli hocam Doç. Dr. Aytaç KURTULUŞ'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Doktora ders aşamam boyunca bilgisi ve desteğini benden hiç esirgemeyen, yaklaşımı ve davranışları ile görüşlerimde ve düşünce yapımda önemli bir değişiklik yapan, tez hazırlama sürecim boyunca bakış açımı genişletmemde büyük katkı sağlayan ve tez savunma jürimde yer alarak beni onurlandıran, değerli hocam Doç. Dr. Ali ERSOY'a sonsuz teşekkürler.

Kendini mesleğine adamış ve üniversite sonrası gelişimi kendine amaç edinmiş, Cabri3D dinamik geometri yazılı ile tanışmamda ve yaşça küçük olmasına rağmen bu programı Cabri3D materyalleri tasarlayabilecek şekilde kullanmayı öğrenmemde büyük katkısı olan ve tezim boyunca sözlü söylemleri ile beni olumlu yönde güdüleyen, meslektaşım Zeynep PARMAK'a sonsuz teşekkürler.

Doktora tez sürecimde tanıştığım, karşılaşılan sorunlarla baş etmede fikirlerinden yararlandığım meslektaşım Araş. Gör. Osman BAĞDAT'a ve çalışma sürecine sunduğu alternatif yaklaşımlarla meslektaşım Yasin MEMİŞ'e teşekkürlerimi sunarım.

Çalışma kapsamında PSVT ve görüşmelere gönüllü olarak katılan tüm matematik öğretmen adayına teşekkürlerimi sunarım.

Araştırma verilerini toplama sürecimde, PSVT, görüşmeler ve öğretim seanslarına düzenli bir şekilde katılan, çalışmaya bilgi, beceri ve düşüncelerini yansıtmak için oldukça çok çaba sarf eden, birbirleriyle kurdukları dostlukları bana örnek olan, bu çok uzun süreç boyunca eğlenmek ya da dinlenmek için harcayabilecekleri vakitlerini bilimsel bir çalışma için feda eden, dört güzel kalbe sonsuz teşekkürler.

Bu çok uzun süreç boyunca kafalarını çok ağrıttığım Abim ve Ablama, sonsuz teşekkürler.

Son olarak, benim bu günlere gelmemde en çok emeği geçen Annem ve evimizin direği Babam, benim için çok emek verip çok çaba sarf ettiğinizin farkındayım. İnşallah sizin emeklerinizi boşa çıkarmamışımdır…

04/01/2018

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Bu tezin tarafıma ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışma hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı; bu çalışma kapsamında elde edilen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi; bu çalışmanın Anadolu Üniversitesi tarafından kullanılan ''bilimsel intihal tespit programı''yla tarandığını ve hiçbir şekilde ''intihal içermediğini'' beyan ederim. Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçlara razı olduğumu bildiririm.

Feyza KURBAN

İÇİNDEKİLER

Sayfa

BAŞLIK SAYFASI i

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI iii

ÖZET iv

ABSTRACT v

TEŞEKKÜR vi

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ viii

İÇİNDEKİLER ix

TABLOLAR DİZİNİ xv

ŞEKİLLER DİZİNİ xviii

SİMGE VE KISALTMALAR DİZİNİ xxiii

1. GİRİŞ 1

1.1. Uzamsal Yetenek 1

1.1.1. Uzamsal yeteneğin bileşenleri 3

1.1.2. Uzamsal yeteneğin bileşenlerinin değerlendirilmesinde kullanılan örnek görevler 7

1.2. Uzamsal Yetenek ve Geometri 8

1.2.1. Geometri öğretim programlarında uzamsal düşünmenin rolü 10

1.2.2. Ülkemiz matematik öğretim programlarında 3B'li cisimler ..... uzamsal yetenek ile ilgili kazanımlar 13

1.2.3. 3B'li geometri öğrenme sürecinde uzamsal görselleştirme ..... zorlukları 15

1.3. Uzamsal Becerilerin Geliştirilmesi 17

1.3.1. Çizim etkinliklerinin rolü 18

1.3.2. Manipülatiflerin rolü 20

Sayfa

1.3.3. Dinamik geometri ortamlarının rolü ……...…….. 21

1.4. Teorik Çerçeve…….…….. 23

1.4.1. Bilişsel Yük Teorisi ……...…….…….. 23

1.4.2. İnsanın bilişsel mimarisi …….…….……... 24

1.4.3. Bilişsel yük türleri …….…….. 26

1.4.4. Bilişsel yükün ölçülmesi ….....……. 30

1.4.4.1. Performansa dayalı teknikler ...…….…..... 31

1.4.4.2. Öznel teknikler …….. 33

1.4.4.3. Fizyolojik Teknikler ……...……. 34

1.4.5. Bilişsel yük teorisine dayalı öğretim tasarımı ……... 34

1.5. Araştırmanın Amacı …...…….. 37

1.6. Araştırmanın Önemi ve Gereksinim …..…….…… 38

1.7. Araştırmanın Sınırlılıkları ……...……..... 43

1.8. Yapılan Çalışmalar ...…… 44

1.8.1. Dinamik geometri öğrenme ortamlarında uzamsal becerilerin …. geliştirilmesi ile ilgili yapılmış çalışmalar …….……..…….. 45

1.8.2. Bilişsel yük teorisi ile ilgili yapılmış çalışmalar …….…....…….. 53

2. YÖNTEM ……...……..... 60

2.1. Araştırmanın Deseni ...…….…… 60

2.2. Çalışma Ortamı ve Katılımcılar ……...……... 61

2.3. Veri Toplama Süreci …….…….…….. 65

2.3.1. Purdue Uzamsal Görselleştirme Testi (PSVT) ön değerlendirmesi …….…….. 66

2.3.2. Göreve dayalı ön klinik görüşmeler ……...…… 67

2.3.3. Öğretim seansları ……...…. 73

Sayfa

2.3.3.1. Açınım bölümü öğretim seansları ……..…… 75

2.3.3.2. Döndürme bölümü öğretim seansları ……. 77

2.3.3.3. Yönelim bölümü öğretim seansları ……. 79

2.3.4. Son klinik görüşmeler ……..…… 81

2.3.5. PSVT son değerlendirmesi ……. 82

2.4. Veri Analizi ……..…...…….. 82

2.4.1. Nicel verilerin analizi ……..……...…….. 85

2.4.1.1. Bilişsel yük miktarlarını ölçme aracı olarak katılımcı ….…...
hata kodları ve hata oranları ……...……...……. 85

2.4.1.2. Bilişsel yük ölçme aracı olarak görevlerin algılanan ……
zorluğu ……...……...…… 94

2.4.2. Nitel verilerin analizi ……..……...…….. 95

2.5. Araştırmanın Geçerliliği ve Güvenilirliği ……...……... 97

3. BULGULAR VE YORUMLAR ……...……... 99

3.1. Çalışma Öncesi Öğretmen Adaylarının Uzamsal Görselleştirme ……....
Becerilerinin Değerlendirilmesi ……..…….. 98

3.1.1. PSVT kapsamında öğretmen adaylarının uzamsal …….
görselleştirme becerilerinin değerlendirilmesi ……...……. 98

3.1.2. Yazılı değerlendirme soruları, anket ve ön görüşmeler ……
kapsamında öğretmen adaylarının uzamsal görselleştirme …….
becerilerinin değerlendirilmesi ……..….. 100

3.1.2.1. Açınım bölümü görevlerinin katılımcılar üzerinde ……..
yarattığı bilişsel yükün değerlendirilmesi …….. 101

3.1.2.1.1. Açınım bölümü katılımcı hata oranları ……..... 102

3.1.2.1.2. Açınım bölümü görevlerinin algılanan zorluğu ... 115

3.1.2.2. Döndürme bölümü görevlerinin katılımcılar üzerinde ……
yarattığı bilişsel yükün değerlendirilmesi ……..…..…. 118

3.1.2.2.1. Döndürme bölümü katılımcı hata oranları …….. 118

Sayfa

3.1.2.2.2. Döndürme bölümü görevlerinin algılanan ……..
zorluğu ……..……...……..…….... 126

3.1.2.3. Yönelim bölümü görevlerinin katılımcılar üzerinde ……
yarattığı bilişsel yükün değerlendirilmesi …….....… 129

3.1.2.3.1. Yönelim bölümü katılımcı hata oranları ….…….. 129

3.1.2.3.2. Yönelim bölümü görevlerinin algılanan ……....
zorluğu ……...……...……..…. 143

3.2. BYT'ye Dayalı Öğretim Seanslarıyla Katılımcıların Uzamsal ……...
Görselleştirme Becerilerinin Gelişim Süreci ……...…. 147

3.2.1. BYT'ye dayalı açınım bölümü öğretim seansları …...…… 147

3.2.1.1. Birinci öğretim seansı …...……...…….. 148

3.2.1.2. İkinci öğretim seansı ……...……...…… 154

3.2.1.3. Üçüncü öğretim seansı ……...……...……. 159

3.2.1.4. Dördüncü öğretim seansı …….....……. 164

3.2.2. BYT'ye dayalı döndürme bölümü öğretim seansları …...…..……. 169

3.2.2.1. Birinci öğretim seansı ……...……...…….. 170

3.2.2.2. İkinci öğretim seansı ……...……...…… 176

3.2.2.3. Üçüncü öğretim seansı ……...……...……. 181

3.2.2.4. Dördüncü öğretim seansı …….....……. 188

3.2.3. BYT'ye dayalı yönelim bölümü öğretim seansları …...…..……. 192

3.2.3.1. Birinci öğretim seansı …...……...……. 193

3.2.3.2. İkinci öğretim seansı …...……...……..... 198

3.2.3.3. Üçüncü öğretim seansı …...……...……. 203

3.2.3.4. Dördüncü öğretim seansı ...……...……. 209

3.3. BYT'ye Dayalı Öğretim Seanslarının Matematik Öğretmen …….……
Adaylarının Uzamsal Görselleştirme Becerilerinin Gelişmesine ……...
Etkisi ..……..…. 216

Sayfa

**3.3.1. Öğretim seansları sonrası açınım bölümü görevlerinin ……
katılımcılar üzerinde yarattığı bilişsel yükün ……...
değerlendirilmesi …….. 216**

3.3.1.1. Açınım bölümü katılımcı hata oranları ……..…… 216

3.3.1.2. Açınım bölümü görevlerinin algılanan zorluğu …..…..….. 231

**3.3.2. Öğretim seansları sonrası döndürme bölümü görevlerinin ……..
katılımcılar üzerinde yarattığı bilişsel yükün ……
değerlendirilmesi ……..... 234**

3.3.2.1. Döndürme bölümü katılımcı hata oranları ……...……. 234

3.3.2.2. Döndürme bölümü görevlerinin algılanan zorluğu …...….. 241

**3.3.3. Öğretim seansları sonrası yönelim bölümü görevlerinin ……
katılımcılar üzerinde yarattığı bilişsel yükün ……...
değerlendirilmesi ……...…… 243**

3.3.3.1. Yönelim bölümü katılımcı hata oranları …...…….... 244

3.3.3.2. Yönelim bölümü görevlerinin algılanan zorluğu ……...… 256

3.3.4. Katılımcıların ön ve son PSVT puanlarının karşılaştırılması 260

4. SONUÇ, TARTIŞMA VE ÖNERİLER ……..……. 264

4.1. Sonuçlar ……...……..... 264

4.1.1. Seanslar öncesi durum…….….. 264

4.1.2. Seansların etkisi ……...…….. 266

4.1.3. Seanslar sonrası durum ……...……. 270

4.2. Tartışma ……...……...……...…….. 271

**4.2.1. Matematik öğretmen adaylarının uzamsal zorluklarının …….
altında yatan nedenler……...…….…… 271**

**4.2.2. Öğretim seansları öncesi öğretmen adaylarının hata oranları ….
ve bunların olası sebepleri …….……... 287**

**4.2.3. Öğretim seansları öncesi görevlerin algılanan zorluğunda ……..
etkili olan faktörler ….....…… 292**

Sayfa

4.2.4. Katılımcı bilişsel yüklerinin göz önünde bulundurulduğu ……...
öğrenme ortamının uzamsal becerilerin gelişimi üzerine etkisi … 297

4.2.5. Cabri3D materyallerinin kullanıldığı öğrenme ortamının ……
katılımcıların uzamsal becerileri üzerine etkisi …….……. 309

4.2.6. Öğretim seanslarının matematik öğretmen adaylarının ……...
hata oranlarına etkisi …… 324

4.2.7. Öğretim seanslarından sonra görevlerin matematik öğretmen …
adayları tarafından algılanan zorluğu ……...……..… 328

4.3. Öneriler ……..…….……...…. 332

4.3.1. Araştırmanın genişletilmesine yönelik öneriler ……...……...… 332

4.3.2. Dinamik geometri öğrenme materyallerinin tasarımına ……...
yönelik öneriler……...……...…. 334

4.3.3. BYT'ye dayalı olarak yapılacak benzer araştırmalar için ..……
öneriler……...…….…..….. 334

4.3.4. Öğretim programı tasarlayıcılarına ve matematik ……
eğitimcilerine öneriler ……...…… 335

KAYNAKÇA ……...……..…….……... 337

EKLER

ÖZGEÇMİŞ

TABLOLAR DİZİNİ

Sayfa

Tablo 1.1. Uzamsal Yeteneği Tanımlamada Kullanılan Faktörler ……... 4

Tablo 1.2. İlkokul, Ortaokul ve Lise Öğretim Programlarında Uzamsal ……
Beceriler ile İlgili Açık ve Örtük Kazanımlar …….....…… 13

Tablo 2.1. Katılımcıların PSVT'nin Açınım, Döndürme ve Yönelim ……..……
Bölümlerindeki Puanları ve Başarı Yüzdeleri …...……. 64

Tablo 2.2. Verilerin Toplanma Süreci ……...……...…… 66

Tablo 2.3. Açınım Görevlerine Yönelik Kategoriler ve Özellikleri ……. 69

Tablo 2.4. Döndürme Görevlerine Yönelik Kategoriler ve Özellikleri ……... 70

Tablo 2.5. Yönelim Bölümlerindeki Görevler ve Özellikleri ……..…...…….. 71

Tablo 2.6. Çalışma Takvimi ……..……..……. 74

Tablo 2.7. Açınım Öğretim Seansları ve Etkinlikler …..……...……... 76

Tablo 2.8. Zihinde Döndürme Öğretim Seansları ve Etkinlikler …...…..…… 78

Tablo 2.9. Yönelim Öğretim Seansları ve Etkinlikler ……. 79

Tablo 2.10. Uzamsal Görselleştirme Hata Kodları ……..…….. 86

Tablo 2.11. Zihinde Döndürme Hata Örnekleri …..…….…….. 91

Tablo 2.12. Uzamsal Görevlerde Hatalara Neden Olan Davranış Örnekleri ……. 96

Tablo 3.1. Katılımcıların PSVT'nin Açınım, Döndürme ve Yönelim Bölümü ....
Doğru Cevap Sayı ve Oranları …….…….....…...…. 99

Tablo 3.2. Açınım Bölümü Yazılı Değerlendirme Görevlerindeki Katılımcı ...
A1, A2, A3 ve A4 Hata Oranları ……...…… 102

Tablo 3.3. Açınım Bölümü Yazılı Değerlendirme Görevlerindeki Katılımcı …
A1, A2, A3 ve A4 Hata Oranlarının Kategorilere Göre Dağılımı …. 115

Tablo 3.4. Açınım Bölümü Yazılı Değerlendirme Görevlerinin Algılanan ……
Zorluğu ile İlgili Katılımcı Derecelendirme Puanları ve Onların ….
Kategorilere Göre Dağılımı……...……. 116

Sayfa

Tablo 3.5. Katılımcıların Her Birinin Döndürme Bölümü Yazılı ……..…
Değerlendirme Görevlerinin Her Birindeki D1 ve D2 Hata ……...
Sayı ve Oranları ……..... 119

Tablo 3.6. Döndürme Bölümü Yazılı Değerlendirme Görevleri Katılımcı …...
D1 ve D2 Hata Oranlarının Kategorilere Göre Dağılımı ……. 120

Tablo 3.7. Döndürme Bölümü Yazılı Değerlendirme Görevlerinin ……..…
Algılanan Zorluğu ile İlgili Katılımcı Derecelendirme Puanları …...
ve Kategorilere Göre Dağılımı ….....…….……. 126

Tablo 3.8. Birinci Yönelim Bölümü Yazılı Değerlendirme Görevleri ……..
Katılımcı Y1, Y2, Y3 ve Y4 Hata Oranlarının Soru Türlerine …….
Göre Dağılımı ……...…...…….. 130

Tablo 3.9. Birinci Yönelim Bölümü Yazılı Değerlendirme Görevleri …….
Katılımcı Y1, Y2, Y3 ve Y4 Hata Oranlarının Bakış Yönüne …….
Göre Dağılımı ……...……...…..…… 138

Tablo 3.10. Birinci Yönelim Bölümü Yazılı Değerlendirme Görevlerinin ……...
Algılanan Zorluğu ile İlgili Katılımcı Derecelendirme ……..
Puanlarının Soru Türü ve Yapıya Bakış Yönüne Göre Dağılımı ….. 144

Tablo 3.11. Katılımcının Açınım Bölümü Son Yazılı Değerlendirme ….……
Sorularındaki A1, A2, A3 ve A4 Hata Oranları…….…… 217

Tablo 3.12. Katılımcıların Öğretim Seansları Öncesi ve Sonrası Kategorik ...…
A1 Hata Oranları…….……... 220

Tablo 3.13. Katılımcıların Öğretim Seansları Öncesi ve Sonrası Kategorik …...
A2 Hata Oranları ...…….……..……. 223

Tablo 3.14. Katılımcıların Öğretim Seansları Öncesi ve Sonrası Kategorik …...
A3 Hata Oranları …….....……..……. 225

Tablo 3.15. Katılımcıların Öğretim Seansları Öncesi ve Sonrası Kategorik ..…
A4 Hata Oranları …….....……...…… 228

Tablo 3.16. Açınım Bölümü Kategorik Ön ve Son Yazılı Değerlendirme ……..
Sorularının Katılımcılar Tarafından Algılanan Zorluğu …….. 231

Tablo 3.17. Döndürme Bölümü Kategorik Ön ve Son Yazılı Değerlendirme ..…
Sorularında Katılımcı D1 ve D2 Hata Oranları ...…….……. 235

Tablo 3.18. Döndürme Bölümü Kategorik Ön ve Son Yazılı Değerlendirme ….
Sorularının Katılımcılar Tarafından Algılanan Zorluğu ...…… 241

Sayfa

Tablo 3.19. Birinci Yönelim Bölümü Son Yazılı Değerlendirme …… Sorularındaki Katılımcı Y1, Y2, Y3 ve Y4 Hata Oranları ..…..... 244

Tablo 3.20. Birinci Yönelim Bölümü Kategorik Ön ve Son Yazılı ……..… Değerlendirme Sorularındaki Katılımcı Y1, Y2, Y3 ve Y4 ……..... Hata Oranları ……...…...……..……...…. 247

Tablo 3.21. Birinci Yönelim Bölümü Ön ve Son Görüşme Sorularında ……..… Yapıya Bakış Yönüne Göre Katılımcı Y1, Y2, Y3 ve Y4 Hata …… Oranları ……...……... 251

Tablo 3.22. Birinci Yönelim Bölümü Ön ve Son Yazılı Değerlendirme Soru … Türlerinin Katılımcılar Tarafından Algılanan Zorluğu …….…… 257

Tablo 3.23. Birinci Yönelim Bölümü Ön ve Son Yazılı Değerlendirme ……. Sorularında Yapıya Bakış Yönünün Görevlerin Algılanan …….. Zorluğuna Etkisi .....…… 258

Tablo 3.24. Dört Katılımcının Öğretim Seansları Öncesi ve Sonrası PSVT ….. Açınım, Döndürme ve Yönelim Bölümü Doğru Cevap Sayı ve ….. Oranları …….. 261

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 1.1. Biçimlendirme Tahtası …… 7

Şekil 1.2. Kart Döndürme Testi ……..……...… 7

Şekil 1.3. De Lange'nin Ödevi ……..……..... 8

Şekil 1.4. Matematik Ders Kitaplarında Uzamsal Görevler …….……...…..... 14

Şekil 1.5. Görsel Engel ve P, M, N ve G Noktalarının Alternatif Konumları …. 15

Şekil 1.6. Kare Piramit mi? Düzgün Sekizyüzlü mü? 16

Şekil 1.7. Uzamsal Görselleştirme Sürecindeki Hatalar ……..… 17

Şekil 1.8. Asıl ve Konu Dışı Yükün Toplamsal Doğası …….. 35

Şekil 1.9. Aynı Miktarda Konu Dışı Yük Empoze Eden Materyale Acemi ….. ve Uzman Çalışan Belleğinin Tepkisi ……. 36

Şekil 2.1. Katılımcıların Belirlenme Süreci ….……...……...……. 63

Şekil 2.2. PSVT (Açınım, Döndürme ve Yönelim Bölümü Soru Örnekleri) …. 67

Şekil 2.3. Cisim, Doğru Yüzey Açınımlarından Biri ve Hatalı Açınım …….. Örnekleri ……..… 88

Şekil 2.4. Tek Eksende Döndürülmüş Cisim …….……. 90

Şekil 2.5. Yapı, Soldan Görünüşü ve Hatalı Görünüş Örnekleri ……..... 92

Şekil 3.1. Ön Yazılı Değerlendirmelerde Pınar'ın A1 Hatası …….……..… 107

Şekil 3.2. Ön Yazılı Değerlendirmelerde Özge'nin A2 Hatası ……..….109

Şekil 3.3. Ön Yazılı Değerlendirmelerde Melis'in A3 Hatası …….. 111

Şekil 3.4. Ön Yazılı Değerlendirmelerde Tuğçe'nin A4 Hatası ...……..... 113

Şekil 3.5. Ön Görüşmelerde Tuğçe'nin Açınımını Kapatış Süreci ……... 114

Şekil 3.6. Ön Yazılı Değerlendirmelerde Melis'in D1 Hatası .....……...…..... 121

Şekil 3.7. Ön Yazılı Değerlendirmelerde Özge'nin D1 Hatası ....…… 122

Sayfa

Şekil 3.8. Ön Yazılı Değerlendirmelerde Pınar'ın D2 Hatası…… (Dönme Yönüne Bağlı) ..…….. 123

Şekil 3.9. Ön Yazılı Değerlendirmelerde Özge'nin D2 Hatası ……. (Açı Ölçüne Bağlı) ..……. 124

Şekil 3.10. Ön Yazılı Değerlendirmelerde Pınar'ın D2 Hatası ……... (Dönme Eksenine Bağlı) ….....……...… 125

Şekil 3.11. Ön Yazılı Değerlendirmelerde Tuğçe'nin D2 Hataları ……..….. (Dönme Eksen ve Yönüne Bağlı) ..…….....… 125

Şekil 3.12. Ön Yazılı Değerlendirmelerde Pınar'ın Y1 Hatası ...……...…… 132

Şekil 3.13. Ön Yazılı Değerlendirmelerde Özge'nin Y3 Hatası ...…….. 134

Şekil 3.14. Ön Yazılı Değerlendirmelerde Melis'in Y2 Hatası ...……...…..... 136

Şekil 3.15. Ön Yazılı Değerlendirmelerde Tuğçe'nin Y4 Hatası ……..... 137

Şekil 3.16. Ön Görüşmelere Göre Pınar'ın Y5 Hatası ...……..… 142

Şekil 3.17. Ön Görüşmelere Göre Melis'in Y5 Hatası …...……..... 142

Şekil 3.18. Ön Görüşmelere Göre Melis'in Y1 Hatası ...……....… 146

Şekil 3.19. Açınım Bölümü Birinci Öğretim Seansında Özge Örneği ...……. 149

Şekil 3.20a. Açınım Bölümü Birinci Öğretim Seansında Pınar Örneği-1 ……..... 150

Şekil 3.20b. Açınım Bölümü Birinci Öğretim Seansında Pınar Örneği-2 …...…. 151

Şekil 3.21. Açınım Bölümü Birinci Öğretim Seansında Tuğçe Örneği ...……... 152

Şekil 3.22. Açınım Bölümü Birinci Öğretim Seansında Pınar Örneği-3 ...……. 153

Şekil 3.23. Açınım Bölümü İkinci Öğretim Seansında Pınar Örneği-1 ...……... 155

Şekil 3.24. Açınım Bölümü İkinci Öğretim Seansında Melis Örneği-1 ..…..…. 157

Şekil 3.25. Açınım Bölümü İkinci Öğretim Seansında Özge Örneği-1 ...…...… 158

Şekil 3.26. Açınım Bölümü Üçüncü Öğretim Seansında Özge Örneği-1……..... 160

Şekil 3.27. Açınım Bölümü Üçüncü Öğretim Seansında Pınar Örneği-1 .....… 161

Şekil 3.28. Açınım Bölümü Üçüncü Öğretim Seansında Tuğçe Örneği-1 …..... 163

Sayfa

Şekil 3.29. Açınım Bölümü Üçüncü Öğretim Seansında Melis Örneği-1…..…. 164

Şekil 3.30. Açınım Bölümü Dördüncü Öğretim Seansında Pınar Örneği-1 ….. 166

Şekil 3.31. Açınım Bölümü Dördüncü Öğretim Seansında Özge Örneği-1 ….. 167

Şekil 3.32. Açınım Bölümü Dördüncü Öğretim Seansında Tuğçe Örneği-1 168

Şekil 3.33. Döndürme Bölümü Birinci Öğretim Seansı Melis Örneği-1 ……..... 172

Şekil 3.34. Döndürme Bölümü Birinci Öğretim Seansı Pınar Örneği-1 ……..... 173

Şekil 3.35. Döndürme Bölümü Birinci Öğretim Seansı Melis Örneği-2 ...……. 174

Şekil 3.36. Döndürme Bölümü Birinci Öğretim Seansı Tuğçe Örneği-1 .....….. 175

Şekil 3.37. Döndürme Bölümü İkinci Öğretim Seansı Özge Örneği-1 ...…...… 178

Şekil 3.38. Döndürme Bölümü İkinci Öğretim Seansı Pınar Örneği-1 ...……..... 178

Şekil 3.39. Döndürme Bölümü İkinci Öğretim Seansı Tuğçe Örneği-1 …...….. 179

Şekil 3.40. Döndürme Bölümü Üçüncü Öğretim Seansı Pınar Örneği-1 ...…..... 182

Şekil 3.41. Döndürme Bölümü Üçüncü Öğretim Seansı Melis Örneği-1 ……... 183

Şekil 3.42. Döndürme Bölümü Üçüncü Öğretim Seansı Pınar Örneği-1 ...……. 184

Şekil 3.43. Döndürme Bölümü Üçüncü Öğretim Seansı Özge Örneği-1 ...……. 185

Şekil 3.44. Döndürme Bölümü Üçüncü Öğretim Seansı Tuğçe Örneği-1 ...…... 186

Şekil 3.45. Döndürme Bölümü Dördüncü Öğretim Seansı Pınar Örneği-1 ...…. 188

Şekil 3.46. Döndürme Bölümü Dördüncü Öğretim Seansı Melis Örneği-1 190

Şekil 3.47. Döndürme Bölümü Dördüncü Öğretim Seansı Tuğçe Örneği-1 191

Şekil 3.48. Yönelim Bölümü Birinci Öğretim Seansı Pınar Örneği-1 …...……. 195

Şekil 3.49. Yönelim Bölümü Birinci Öğretim Seansında Yapıya Ön-Üst …….
ve Ön-Alt Tarafından Yönelme ……...…. 196

Şekil 3.50. Yönelim Bölümü Birinci Öğretim Seansı Tuğçe Örneği-1 ..……..... 198

Şekil 3.51. Yönelim Bölümü İkinci Öğretim Seansı Özge Örneği-1 …….. 199

Sayfa

Şekil 3.52. Yönelim Bölümü İkinci Öğretim Seansı Pınar Örneği-1 …..…….. 201

Şekil 3.53. Yönelim Bölümü İkinci Öğretim Seansı Melis Örneği-1 ...……. 202

Şekil 3.54. Yönelim Bölümü İkinci Öğretim Seansı Tuğçe Örneği-1 ...……. 203

Şekil 3.55. Yönelim Bölümü Üçüncü Öğretim Seansında Küpün Ortasında …. Bulunan Cisim ve Küpün Üst Köşe Noktaları ……..... 204

Şekil 3.56. Yönelim Bölümü Üçüncü Öğretim Seansında Yer Alan …….. Modifiye Cismin Küpün Sol Üst Köşe Noktasından Görünüşü ..….. 206

Şekil 3.57. Yönelim Bölümü Üçüncü Öğretim Seansında Özge Örneği …...…. 207

Şekil 3.58. Yönelim Bölümü Üçüncü Öğretim Seansında Melis Örneği ...……. 208

Şekil 3.59. Yönelim Bölümü Dördüncü Öğretim Seansında Küpün …….. Ortasında Bulunan Cisim ve Küpün Alt Köşe Noktaları ……..…. 210

Şekil 3.60. Yönelim Bölümü Dördüncü Öğretim Seansında Modifiye …….. Cismin Sağ Alt Köşe Noktasından Görünüşü …….……..... 210

Şekil 3.61. Yönelim Bölümü Dördüncü Öğretim Seansı Tuğçe Örneği ...…..… 212

Şekil 3.62. Yönelim Bölümü Dördüncü Öğretim Seansı Özge Örneği ...…...…. 213

Şekil 3.63. Yönelim Bölümü Dördüncü Öğretim Seansı Melis Örneği .....…..... 215

Şekil 3.64. Açınım Bölümü Son Yazılı Değerlendirme Özge Örneği ...……. 221

Şekil 3.65. Açınım Bölümü Son Yazılı Değerlendirme Pınar Örneği ……..... 224

Şekil 3.66. Açınım Bölümü Son Yazılı Değerlendirme Melis Örneği ..……..… 227

Şekil 3.67. Açınım Bölümü Son Yazılı Değerlendirme Tuğçe Örneği .....……. 230

Şekil 3.68. Döndürme Bölümü Son Yazılı Değerlendirme Özge Örneği .....….. 236

Şekil 3.69. Döndürme Bölümü Son Yazılı Değerlendirme Melis Örneği ……. 237

Şekil 3.70. Döndürme Bölümü Son Yazılı Değerlendirme Pınar Örneği …..…. 238

Şekil 3.71. Döndürme Bölümü Son Yazılı Değerlendirme Tuğçe Örneği ……. 239

Şekil 3.72a. Birinci Yönelim Bölümü Son Yazılı Değerlendirme Pınar …….. Örneği-1…….. 246

Sayfa

Şekil 3.72b. Birinci Yönelim Bölümü Son Görüşme Pınar Örneği-1 …….…….. 248

Şekil 3.73. Birinci Yönelim Bölümü Son Yazılı Değerlendirme Melis ……..
Örneği …… 249

Şekil 3.74. Birinci Yönelim Bölümü Son Yazılı Değerlendirme Özge ……..
Örneği …… 249

Şekil 3.75. Birinci Yönelim Bölümü Son Yazılı Değerlendirme Tuğçe ……
Örneği 250

Şekil 3.76. İkinci Yönelim Bölümü Son Yazılı Değerlendirme Pınar ……...
Örneği ……..... 253

Şekil 3.77. İkinci Yönelim Bölümü Son Yazılı Değerlendirme Melis ……..
Örneği ……... 254

Şekil 3.78. İkinci Yönelim Bölümü Son Yazılı Değerlendirme Tuğçe ……..
Örneği ...…… 255

KISALTMALAR DİZİNİ

AWE(P) **:** Assessing Women in Engineering (Project)

BİT **:** Bilgi İletişim Teknolojileri

BYT **:** Bilişsel Yük Teorisi

CLT **:** Cognitive Load Theory

DGO **:** Dinamik Geometri Ortamları

EEG **:** Elektroensefalografi

GSP **:** Geometer's Sketchpad

MEB **:** Millî Eğitim Bakanlığı

NCTM **:** National Council of Teachers of Mathematics

NRC **:** National Research Council

PSVT **:** Purdue Spatial Visualisation Test
(Purdue Uzamsal Görselleştirme Testi)

1. GİRİŞ

Bu bölümde uzamsal beceriler ile ilgili literatür, çalışmanın teorik çerçevesini oluşturan Bilişsel Yük Teorisi (BYT), araştırmanın amacı, problemleri ve sınırlılıkları ile çalışma ile ilgili diğer araştırmalar yer almaktadır.

1.1. Uzamsal Yetenek

Yaşanılan dünya içerisindeki pek çok deneyim uzamsal olarak düşünmeyi gerektirmektedir. Şehrinizde inşa edilen binalar, evinizin yakınına yapılan çocuk parkı, evinizin bahçesine dikmek istediğimiz bir ağaç fidesinin yerini belirleme, çocukların eğlenmesi amacıyla yapılmış bir dönme dolap, her gün üzerinden geçtiğiniz yollar ve kaldırımlar uzamsal düşünmenin ürünüdür. Uzamsal düşünme hem günlük aktiviteler (örneğin, bir kişinin arabasını sürmesi, mobilya parçalarını bir araya yerleştirmek gibi) hem de binaların tasarlanması, cerrahi işlemlerin uygulanması ve ileri matematiksel problemlerin çözümü gibi daha özel görevlerde işlevsellik için önemlidir (Terlecki, Newcombe ve Little, 2008, s. 996). Amerikan Ulusal Araştırma Konseyi (NRC), uzamsal düşünmeyi hayatın ayrılmaz bir parçası (2006, s.5) olarak tanımlamaktadır. İnsanların uzamsal düşünmelerinin geliştirilmesi fen ve matematik okuryazarlığı kadar önemlidir (Newcombe ve Frick, 2010, s.102). Newcombe ve Frick uzamsal düşünmenin önemini dört maddede açıklamaktadır: (1) Uzamsal zeka hem evrimsel hem de adapte edilebilirdir; (2) Uzamsal düşünme sözel düşünmenin tamamlayıcısıdır; (3) Uzamsal düşünme uzamsal olmayan alanlarda muhakeme yapmamıza yardımcı olmaktadır (Örneğin, Venn diyagramları mantıksal problemleri çözmemizde kullanılmaktadır) ve (4) Uzamsal düşünme bilim, teknoloji, mühendislik ve matematik disiplinlerinde kritik öneme sahiptir (s.102-103). Howard Gardner (1983), uzamsal düşünmeyi insanların sahip olabileceği dokuz yetenekten biri olarak tanımlamaktadır. Gardner'a (1983) göre, uzamsal zekâ uzamsal-mekansal dünyayı anlamak ve temsil etmek ve zihinsel imajları biçimlendirmek ve manipüle etmek için bir yeteneği içerir (Diezmann ve Watters, 2000, s.4).

Uzamsal düşünme eğitim sisteminin tüm seviyelerinde öğrenilebilir ve öğretilebilirdir (NRC, 2006, s.3). Bireyler öğrenim hayatları boyunca uzamsal düşünmelerini gerektiren çeşitli derslerle baş etmeye çalışırlar, örneğin, coğrafya, fizik, matematik, geometri gibi.

Uzamsal düşünme, uzay hakkında ne düşündüğümüzü (konum, yön, yönelim, şekil, boyut gibi) ve düşünmek için uzayı nasıl kullandığımızı (başka bir ifadeyle uzayla düşünme) hesaba katan (Hegarty ve Tarampi, 2016), uzay ve onunla ilgili kavramlarla uğraşan ve bireylerin sahip olduğu çeşitli uzamsal becerileri kapsayan bir düşünme türüdür. Geçtiğimiz on yıl boyunca bir çok bilim adamı, uzamsal düşünmeye karşı artan bir ilgi göstermiştir (Charcharos, Kokla ve Tomai, 2016, s.1). Bu süreçte bilim, mesleki alan ve günlük hayat içinde karşılaşılan problemlerle baş etmede uzamsal düşünmenin etkisi ile ilgili araştırmalar yapılmıştır. Oysa bireylerin uzamsal becerilerini belirleme ve ölçme çalışmalarının kökeni, uzamsal düşünmeyle ilgili yapılan çalışmalardan daha eskiye dayanmaktadır (Lee ve Bednaz, 2012, s. 15). Uzamsal beceriler 1920'li yıllardan bu yana önemli bir araştırma alanıdır (Sorby, Leopold ve Gorska, 1999, akt. Assessing Women in Engineering (AWE), 2005, s.2). Mevcut literatürde uzamsal beceriler, uzamsal yetenek, görselleştirme yeteneği, görsel-uzamsal yetenek, 3B'li görselleştirme, görselleştirme için görsel biliş ve yetenek terimleri birbirinin yerine kullanılabilmektedir (Cantürk-Günhan, Turgut ve Yılmaz, 2009, s. 152). Belirsiz bir tanım olsa da, uzamsal beceri konum, yön, büyüklük, biçim ve mesafeyi içeren nesneler ya da şekiller arasındaki ilişkilerle ilgili problemleri tanıma ya da çözme yeteneğidir (Scutt vd., 2013, s.6). Sorby (1999), Eğitim psikolojisi araştırmalarında, 'uzamsal yetenek' ve 'uzamsal beceri' arasında ayrım yapıldığını belirterek, uzamsal yeteneği, görselleştirme için doğuştan gelen yetenek olarak tanımlamakta ve bir kişinin herhangi formal bir eğitim almadan önce bu yeteneğe sahip olduğunu yani bir kişinin bu yetenekle birlikte doğduğunu söylemektedir (s.21). Sorby, uzamsal becerilerin ise eğitim yoluyla öğrenildiğine ya da kazanıldığına, alıştırmalarla geliştirildiğine vurgu yapmaktadır. Ayrıca Sorby, üniversite seviyesindeki öğrenciler için, uzamsal yetenekleri ve uzamsal becerileri birbirinden ayırt etmenin neredeyse imkansız olduğuna çünkü lise sonrası eğitime başlamadan önce öğrencilerin eğitimleri hakkında hiçbir fikrimiz olmadığına dikkat çekmektedir.

Uzamsal yetenek, 'nesneleri zihinde döndürme, nesnelerin farklı perspektiflerden (pozisyonlardan) nasıl gözüktüğünü zihinde canlandırma ve uzay içerisinde nesnelerin birbiri ile ilişkilerini anlama' görevlerinin gerektirdiği performans olarak tanımlanmaktadır (örneğin, Metz, Donohue ve Moore, 2012; Sutton ve Williams, 2007, 2008). Uzamsal yetenek genel olarak, görsel olarak ilişkileri anlama, manipüle etme, yeniden düzenleme ya da yorumlamayla ilgili zihinsel beceriler olarak kabul edilmektedir (Tartre, 1990, s.216). Uzamsal yetenek iyi-yapılandırılmış görsel imajlar üretme,

muhafaza etme, düzenleme ve dönüştürme için gerekli yetenek olarak tanımlanabilir (Lohman, 1993, s.3).

Uzamsal yetenek tanımları incelendiğinde herbirinin uzamsal nesneleri zihinde döndürme, onların farklı yönlerden görünüşünü hayal etme, onları zihinde ayrıştırma ve birleştirme gibi farklı faktörlerle ilişkilendirildiği görülmektedir. Bu faktörlere uzamsal yeteneğin bileşenleri denilmektedir. Uzamsal yetenek farklı araştırmacılar tarafından farklı faktörlere dikkat çekilerek tanımlanabilmekte, bu durum ise uzamsal alan literatüründe çelişkilere neden olmaktadır. Alandaki çelişkiler; (1) Farklı isimlendirmeler altında aynı tariflerin yer alması, uzamsal yeteneğin farklı bileşenleri için aynı adların kullanılması, (2) Araştırmacılar tarafından tanımlanan uzamsal yetenek bileşenlerinin iki ile on arasında değişmesi, (3) Bileşen isimlerinin yazarlar arasında değişiklik göstermesi ve hatta aynı yazarın bir çalışması içinde bile bileşenlerin farklı adlarla anılabilmesi ve (4) Uzamsal yetenek testlerinin adları ve çeşitliliği konusunda araştırmacılar arasında karmaşa olması şeklinde özetlenebilir (Oliviera, 2004, Akt., Yılmaz, 2009, s.84). Uzamsal yeteneğin bileşenleri aşağıda yer alan başlık boyunca tartışılarak açıklanmıştır.

1.1.1. Uzamsal yeteneğin bileşenleri

İnsanların uzamsal yetenekleri içinde farklılıklar bulunduğunu belirten Hegarty ve Waller (2005), buna örnek olarak bazı insanların diğerlerine göre daha iyi yön belirlerken, sadece bazı insanların organik bir birleşik içindeki kompleks uzamsal ilişkileri görselleştirebildiklerine dikkat çekmekte, buradan bu tür aktivitelerin tek bir uzamsal yeteneğe dayandırılamayacağı görüşünü savunmaktadırlar (s.121-122). 20.yy. ortalarında uzamsal yeteneklerdeki bireysel farklılıklara odaklanan araştırmacılar uzamsal yetenekte etkili olan faktörleri belirlemeye çalışmışlardır (Hegarty ve Waller, 2005, s.124). Çeşitli araştırmacıların uzamsal yeteneği tanımlamada kullandıkları faktörler ve bu faktörleri (bileşenleri) değerlendirmede kullandıkları görevler Tablo 1.2'de özetlenmektedir (Hegarty ve Waller, 2005, s.125).

McGee (1979), uzamsal yeteneğin bileşenlerini uzamsal görselleştirme ve uzamsal yönelim olarak ikiye, Lohman (1988), uzamsal görselleştirme, uzamsal ilişkiler ve uzamsal yönelim olarak üçe, Michael, Guilford, Fruchter ve Zimmerman (1957), uzamsal görselleştirme, uzamsal ilişkiler ve yönelim ile kinestetik görüntüler (Kinesthetic Imagery) olmak üzere üçe, Carroll (1993), uzamsal görselleştirme, uzamsal ilişkiler, çözümleme hızı (closure speed), çözünürlüğün esnekliği (flexibility of closure), algısal

hız ve görsel hafıza olmak üzere altıya ayırmıştır.

Tablo 1.1. *Uzamsal Yeteneği Tanımlamada Kullanılan Faktörler*

Araştırmacılar	Uzamsal Yeteneği Tanımlamada Kullanılan Faktörler	Her Bir Faktörü Değerlendirmede Kullanılan Görevler
Michael, Guilford, Fruchter ve Zimmerman, 1957	1) Uzamsal Görselleştirme 2) Uzamsal İlişkiler ve Yönelim 3) Kinestetik Görüntüler	1) Kağıt Katlama, Biçimlendirme Tahtası 2) Küp karşılaştırma, Guilford– Zimmerman Uzamsal Yönelim 3) Kart döndürme Eller Testi (Hands Test)
McGee, 1979	1) Uzamsal Görselleştirme 2) Uzamsal Yönelim	1)Kağıt katlama 2)Küp karşılaştırma, Guilford– Zimmerman Uzamsal Yönelim
Lohman, 1988	1) Uzamsal Görselleştirme 2) Uzamsal İlişkiler 3) Uzamsal Yönelim	1)Kağıt Katlama, Biçimlendirme Tahtası, Küp Karşılaştırma 2) Kart Döndürme 3) Guilford– Zimmerman Uzamsal Yönelim
Carrol, 1993	1) Uzamsal Görselleştirme 2) Uzamsal İlişkiler 3) Çözümleme Hızı (closure speed) 4) Çözünürlüğün Esnekliği (flexibility of closure), 5) Algısal Hız 6) Görsel Hafıza	1) Kağıt Katlama, Biçimlendirme Tahtası, 2) Küp Karşılaştırma, Guilford– Zimmerman Uzamsal Yönelim 3) Kart Döndürme 4) Karlı Resimler (Snowy Pictures) 5) Saklı Şekiller (Hidden Figures) 6) Eş resimler (Identical Pictures) Silverman–Eals Görsel Hafıza Görevi

Kaynak: Hegarty ve Waller, 2005, s.125.

Araştırmacılar yaptıkları uzamsal yetenek ve bileşen tanımlarına göre uzamsal yeteneği değerlendirmek için çeşitli testler kullanmışlar ve kullanmaktadırlar. Hatta bir araştırmacı tarafından tanımladığı uzamsal yeteneğin bir bileşenini ölçmek için kullanılan bir test, başka bir araştırmacı tarafından tanımladığı uzamsal yeteneğin başka bir bileşenini ölçmede kullanılabilmektedir. Örneğin, Guilford-Zimmerman Uzamsal Yönelim (Spatial Orientation) Testi Lohman (1988) tarafından uzamsal yönelim için kullanılırken, Carroll (1993), tarafından uzamsal görselleştirmeyi değerlendirmek için kullanılmaktadır. Bu duruma, ya araştırmacılar tarafından uzamsal yeteneğin bileşenlerinin farklı şekillerde tanımlanması ve yapılan tanımlara göre geliştirilen testlerin ya da uzamsal yetenekleri değerlendirmek için oluşturulmuş testlerden yola çıkılarak, uzamsal yeteneğin bileşenlerinin farklı şekillerde tanımlanmasının neden olduğu düşünülmektedir. Örneğin, Tartre (1990), uzamsal becerileri McGee (1979), Connor ve Serbin (1980) ile Kersh ve Cook (1979)'un çalışmalarından yararlanarak iki kategoride ele almıştır (s.217). Bu sınıflandırma verilen görevlerin gerçekleştirilmesinde kullanılan zihinsel süreçlerle bağlantılı olarak yapılmıştır.

Tartre (1990), uzamsal becerileri uzamsal görselleştirme ve uzamsal yönelim olmak üzere ikiye ayırmakta ve bu becerileri şu şekilde açıklamaktadır: Uzamsal görselleştirme bileşeni bir nesneyi zihinde hareket ettirmeyi içerirken, uzamsal yönelim bileşeni, nesne uzay içinde sabit bir yerde kalırken bireyin zihinsel olarak bakış noktasını hareket ettirebilme yeteneğini içermektedir. Uzamsal görselleştirme bileşeni, zihinde döndürme ve zihinde dönüştürme olmak üzere iki kategoriye ayrılabilir. Bu kategorilerin ilki yani zihinde döndürme nesnenin bütün olarak uzay içerisinde döndürülme becerisini içerirken, ikincisi yani zihinsel dönüştürme bazı yollar içerisinde nesnenin sadece parçalarının hareketini içermektedir (s.217). Tartre uzamsal görselleştirmeyi değerlendirmede Biçimlendirme Tahtası (Form Boards), kart döndürme (Card Rotations) testleri kullanılabilirken, uzamsal yönelimi değerlendirmede Çubuk ve Çerçeve (Rod and Frame) Testinin kullanılabileceğini belirtmiştir.

Linn ve Petersen'a (1985) göre, uzamsal yetenek, sembolik, dilsel olmayan bilginin temsil edilmesi, dönüştürülmesi, üretilmesi ve hatırlanması içindeki beceriler ile ilişkilidir (s.1482). Linn ve Petersen, uzamsal yeteneği tanımlamada üç bileşene dikkat çekmektedir, bunlar 'uzamsal algı, zihinde döndürme ve uzamsal görselleştirme' şeklindedir: Uzamsal algı, rahatsız edici görsel bilgilere rağmen bireylerin kendi bedenlerinin yönelimleriyle ilgili olarak uzamsal ilişkileri belirlemelerini gerektirmektedir. Zihinde döndürme, iki ya da üç boyutlu şekillerin hızlı ve tam olarak döndürülmesini içeren Gestalt-benzeri süreci (bireyin bütünü parçalarına ayrıştırarak değil bütünlük içinde algılamasını) içerir. Uzamsal görselleştirme, uzamsal olarak sunulan bilginin karmaşık, çok adımlı manipülasyonunu içerir ve manipüle etme işlemi analitik süreç kullanılarak etkili bir şekilde yapılabilir (s.1482-1485). Linn ve Petersen, uzamsal algıyı değerlendirmek için 'Çubuk ve Çerçeve Testi' ile 'Su Seviyesi Görevine (Water Level Task)', zihinde döndürme için 'Shepard-Metzler Zihinde Döndürme Testi (Shepard-Metzler Mental Rotation Test), Bayraklar ve Kartlar Testi (Flags and Cards Test) ile Temel Zihinsel Yetenekler Testine (Primary Mental Abilities Test)' ve uzamsal görselleştirme için 'Gömülü Şekil Testi (Embedded Figure Test), Tahta Biçimlendirme Sayfası (Paper Form Board), Gizli Şekiller Testi (Hidden Figures Test), Yüzey Geliştirme Testi (Surface Development Testi), Ayırıcı Yetenek Testi (Differential Aptitude Test), Blok Tasarımı (Block Design) ve Guilford-Zimmerman Uzamsal Görselleştirme Testine' başvurulabileceğini belirtmişlerdir (s.1482-1485).

Alanla ilgilenen araştırmacılar tarafından uzamsal yetenek genellikle iki ya da üç bileşene ayrılmaktadır. Maier (1998), uzamsal yeteneğin üçten fazla bileşen içerdiğini iddia etmektedir. Maier, uzamsal yeteneğin beş bileşenini aşağıdaki gibi açıklamaktadır (1998): Uzamsal algı (Spatial Perception), dikey ve yatay konumu belirlemeyi gerektirir. Örneğin, su seviyesi görevinde, insanlardan su seviyesini göstermeleri için eğimli bir bardak içine yatay bir çizgi çizmeleri ya da eğimli olan bardaklardan yatay su seviyesine sahip olanı belirlemeleri istenir. Görselleştirme, bir yapıyı görselleştirme yeteneğini içerir. Burada yapının parçalarını hareket ettirme ve yer değiştirme söz konusudur. Örneğin, bireylerden bir cismin yüzey açınımını zihinlerinde canlandırmalarını isteme. Zihinde döndürme (Mental Rotation), 2B'li şekillerin ve 3B'li cisimlerin hızlı ve tam olarak döndürülmesi yeteneğini içerir. Örneğin, 3B'li bir cismin resmi bireylere sunulur, belirli miktar benzer cisim resminden hangisinin bu cismin döndürülmesi ile oluştuğunu belirlemeleri istenir. Uzamsal ilişkiler (Spatial Relations), nesnelerin konumlarını, bir nesnenin parçalarının konumlarını ya da nesnenin parçalarının birbiri olan ilişkilerinin konumlarını uzamsal olarak kavrama yeteneğini içerir. Örneğin, yüzlerinde farklı şekiller olan bir küp resmi insanlara sunulur ve belirli miktar küp resmi içinden ilk küpün yüzeyleri ile aynı konfigürasyona sahip olanı belirlemeleri istenir. Uzamsal yönelim, herhangi uzamsal bir durum içine bireyin uyum sağlamasını içerir. Uzamsal yönelim bir kişinin belirli bir mekana fiziksel ya da zihinsel olarak uyum sağlama yeteneğidir. Bir kişinin kendi uzamsal pozisyonu bu görev için gereklidir. Bu bileşeni değerlendirmede De Lange (1984)'nin uzamsal yönelimle ilgili görevi kullanılmaktadır (s.64-65).

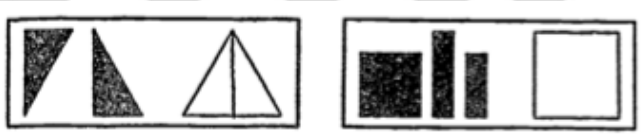
Olkun (2003) uzamsal yeteneği, McGee (1979), Burnett ve Lane (1980), Elliot ve Smith (1983), Pellegrino, Alderton ve Shute (1984), Clements ve Battista'nın (1992) çalışmalarına dayalı olarak iki kategoride ele almıştır. Bunlar uzamsal ilişkiler ve uzamsal görselleştirmedir. Olkun'a (2003) göre uzamsal ilişki bütüncül bir şekilde 2B'li ve 3B'li nesnelerin dönme hareketlerini zihinde canlandırma ile ilgiliyken, uzamsal görselleştirme, birden fazla parçaya ya da hareket edebilir parçalara sahip uyaranın zihinsel manipülasyonunu ve bütünleştirilmesini içermektedir (s.1-2). Bu nedenle Olkun uzamsal ilişkilerle ilgili görevleri '2B'da zihinde döndürme hareketi içerenler yani bayraklar ve kartlar görevlerini, 3B'da zihinde döndürme hareketini içerenler yani Vandenberg-Kuse Zihinde Döndürme (1978) ve Shepard-Metzler Zihinde Döndürme Testleri ve Küp Karşılaştırma Testi' olarak, uzamsal görselleştirme ile ilgili görevleri

'biçimlendirme tahtası, kağıt katlama, yüzey geliştirme' şeklinde belirlemiştir. Uzamsal yeteneğin bileşenlerini değerlendirmede kullanılan ve yukarıda bahsi geçen bu görevlerden bazılarına bir sonraki alt başlıkta yer verilmiştir.

1.1.2. Uzamsal yeteneğin bileşenlerinin değerlendirilmesinde kullanılan örnek görevler

Uzamsal yeteneğin bileşenlerini değerlendirmek için araştırmacılar tarafından geliştirilen uzamsal görevler ve testlerden bazıları aşağıda tanımlanmıştır.

Biçimlendirme Tahtası, uzamsal görselleştirmeyi değerlendirmede kullanılmaktadır. Thurstone (1938) tarafından geliştirilmiştir. Görevlerin her birinde siyah renkli geometrik şekiller ve onların birleştirilmesiyle meydana gelmiş beyaz renkli bir şekil yer almaktadır. Burada katılımcılardan, beyaz şeklin içerisine siyah şekillerin nasıl konumlandırılması gerektiğini çizmeleri istenmektedir (Bkz. Şekil 1.1).



Şekil 1.1. *Biçimlendirme Tahtası*
Kaynak: *Zimowski ve Wothke, 1986, s.53.*

Kart Döndürme Testi, bireylerin görselleştirme, zihinde döndürme ve uzamsal ilişkileri belirleme ile ilgili yeteneklerini değerlendirmede kullanılabilmektedir. Ekstrom ve diğerleri (1976) tarafından Thurstone'un kartlar görevi ilham alınarak oluşturulmuştur. Görevde bir kart, bu karta aynı düzlemde dönme ve öteleme hareketleri uygulanarak ya da simetrisi alınarak elde edilmiş beş hali sunulmaktadır. Bireylerden kartın düzlem üzerinde döndürülerek ya da ötelenerek elde edilmiş görüntü ya da görüntülerini bulmaları istenmektedir (Bkz. Şekil 1.2).

Şekil 1.2. *Kart Döndürme Testi*

Kaynak: *Ekstrom vd., 1976, s. 151.*

De Lange'nin Görevi, katılımcıların uzamsal yönelim becerilerini değerlendirmede kullanılmaktadır. Aynı anda dört kameranın bir şarkıcının fotoğrafını çektiğini temsil eden bir görsel ve bu kameralardan elde edilen fotoğraflar katılımcılara gösterilir ve onlardan hangi fotoğrafı hangi kameranın çektiğini belirlemeleri istenir. Bu görev De Lange (1984) tarafından geliştirilmiştir (Bkz. Şekil 1.3).

Şekil 1.3. *De Lange'nin Görevi*
Kaynak: *Maier, 1998, s.65.*

Bu çalışma kapsamında katılımcıların uzamsal becerilerini değerlendirebilmek için Purdue Uzamsal Görselleştirme Testine (PSVT) başvurulmuştur, bu testin özelliklerine Yöntem bölümünde yer verilmiştir.

Uzamsal yeteneğin bileşenlerini değerlendirmede kullanılan görevler incelendiğinde, onların altında çeşitli geometrik prensiplerin yattığı gözlemlenebilir. Kart döndürme görevi ile 'dönüşüm geometrisi' arasındaki ilişki bu duruma örnek olarak verilebilir. Uzamsal yetenek ile geometri birbiri ile bağlantılıdır ve literatürde yer alan çeşitli çalışmalar bu duruma dikkat çekmektedir.

1. 2. Uzamsal Yetenek ve Geometri

Geometri uzay içindeki pozisyonlar ve konumlar ile ilgili olan bir matematik dersidir (Karaman ve Yontar-Toğrol, 2009). Geometri dersleri için görsel imgeleme ve uzaydaki nesnelerin konfigürasyonunu algılama yeteneği oldukça önemlidir (Karaman ve Yontar-Toğrol, 2009). Pek çok araştırmacı tarafından geometri öğrenme ve uzamsal yetenek arasındaki bağın önemi vurgulanmıştır (Battista, Wheatley ve Talsma, 1982, 1989; Bishop, 1983; Maier, 1998; Bosnyak ve Nagy-Kondor, 2008; Unal, Jakubowski ve Corey, 2009). Uzamsal muhakeme geometrik dünyanın anlaşılmasını destekler (NCTM, 2000). Jones (2002, s.216), uzamsal düşünmenin sonucunda üretilen, birçok kültürel, sanat ve mimari eserin değer kazanmasının nedenini içerisinde barındırdığı geometrik prensiplere (örneğin, simetri, perspektif, ölçü, yönelim) dayandırmaktadır. Benzer

biçimde Jones, yön bulma, harita okuma gibi yeterliliklerin geometrik bilinçle yakından ilgili olduğuna işaret etmektedir.

Uzamsal bilgi, genel olarak kuzey, güney, düz, daire, açı ve katı cisimler gibi kavramlarla ilgilidir (Munro, tarihsiz, s.1). Uzamsal bilgi iki yönü kapsamaktadır. Bunlar; (1) Şekiller ve onların sahip olduğu özellikler, örneğin, üçgen, dörtgen gibi şekiller ve onların kenar uzunlukları ya da açı ölçülerinin eşit olması gibi özellikler ile (2) Uzay içerisinde konum ve pozisyonlar, örneğin, yukarıda olma, yatay olma (Munro, tarihsiz, s.1) şeklindedir. Geometri öğrenme uzamsal bilgilerin özümsenmesi ve içselleştirilmesi gerektirir. Uzamsal nesne ve şekilleri keşfetme, farklı türlerde nesneler ve durumların imajlarını ilişkilendirme, benzer figürler üzerinde orantı kurarak hesaplamalar yapma (Goddijn, Kindt ve Reuter, 2014) gibi deneyimler ilköğretim ve ortaöğretim matematik derslerinin odağıdır.

Öğrencilerin 'dünyayı kavraması' ve matematiksel düşüncelerini geliştirebilmeleri için uzamsal duyuya sahip olmaları gerekmektedir (Van Nes ve De Lang, 2007, s.8-9). Uzamsal duyu bütüncül bir yapı olarak ele alınamaz. Uzamsal duyu görselleştirme, geometri ve yönelim olmak üzere üç bileşene sahiptir (Van Nes ve De Lang, 2007, s.9-10). Matematiğin uzamsal bilgilerle ve uzamsal ilişkilerle ilgilenen dalı geometridir. Jones (2002, s.125-126), geometrinin, öğrencilerin görselleştirme becerilerini geliştirmede zengin bir yol sunduğunu belirtmektedir. Jones'e göre görselleştirme öğrencilerin şemalar oluşturmadan ya da sembolik temsiller kullanmadan matematiksel problemleri ve diğer problemleri araştırmalarına yardımcı olmaktadır. Görselleştirme ile öğrenciler zihinlerinde imajları manipüle edebilmekte, bu da onların uzamsal durumları daha iyi anlamalarını sağlamaktadır. Vasarhelyi ise uzamsal yetenek terimi yerine geometriksel uzamsal yetenek terimini kullanmaktadır. Vasarhelyi'e göre (2003), geometriksel uzamsal yetenek, matematiksel olarak kontrol edilen uzamsal yetenekleri ve becerileri içermektedir. Vasarhelyi, geometrik uzamsal yeteneğin, '(1) Uzamsal konfigürasyonun şekli, büyüklüğü ve konumunun tam olarak kavranmasına, (2) Geometrinin kurallarına dayalı olan hayali konfigürasyonun ya da görülenin anlaşılır biçimde resmedilmesine, (3) Anlaşılır biçimde resmedilen konfigürasyonun uygun olarak yeniden yapılandırılmasına ve (4) Farklı uzamsal problemler için çözüm inşa etmeye ve bu çözümün hayal gücüne dayalı ve dilsel kompozisyonuna' olanak tanıdığını, belirtmiştir (Bosnyak ve Nagy-Kondor, 2008, s.3).

Uzamsal yetenek ile matematik öğrenme birbiri ile bağlantılıdır. Uzamsal görevlerde daha iyi performans gösteren öğrenciler, matematik testlerinde de iyi performans sergilenme eğilimindedirler (Rasmussen ve Bisanz, 2005). Bu nedenle öğrencilerin uzamsal becerilerini geliştirme matematik öğretiminin amaçları içerisinde yer almalıdır. Öğrenenlerin uzamsal becerileri geliştirme düşüncesinin matematik öğretim programlarının tasarımında etkili olup olmadığı bir sonraki başlık boyunca irdelenmiştir.

1.2.1. Geometri öğretim programlarında uzamsal düşünmenin rolü

Geometrinin kökeni Babilliler ve Mısırlıların topraklarını belirleme, sulama sistemleri tasarlama, binalar ve ulusal anıtlar inşa etmeleri sırasındaki ölçümlerine dayanmaktadır (Selby, 1975, s.1). Geometri nesneler arasındaki uzamsal ilişkilerin insanlar tarafından soyutlanması ile ortaya çıkmıştır. Geometri yaşadığımız dünyayı düzenli bir şekilde tarif etmemizde ve temsil etmemizde yardımcı olmaktadır (National Council of Teachers of Mathematics (NCTM), 1989, s.48). Geometrinin uzay ve şekil ile çalışmak olduğunu vurgulayan Clements (1998), geometride uzamsal nesnelere (örneğin, doğru ve şekillere), uzamsal ilişkilere (örneğin, paralellik ya da uzunluklarının aynı olması) ve uzamsal dönüşümlere (örneğin, öteleme, dönme g.b.) çalıştığımıza işaret etmektedir (s.3). Uzamsal ilişkiler, uzamsal görselleştime ve uzamsal muhakeme geometrinin yapı taşlarıdır. Geometri şekilleri, büyüklükleri, konumları, yönleri ve hareketi içeren matematiğin bir alanıdır ve yaşadığımız fiziksel dünyayı tarif etmekte ve sınıflandırmaktadır (Copley, 2000, s.105).

Matematik ve geometri ile uzamsal düşünme arasında sıkı bir bağ olmasına rağmen, matematik (ya da geometri) öğretim programları uzamsal düşünmeye gerekli önemi vermemektedir. Bishop'a (1986, s.142) göre öğretim programlarını takip eden birçok öğretmen geometri ile sınıfın dışındaki uzamsal dünya arasında çok az bağlantı kurmaktadır. 'Okul içerisinde öğrenilen geometri, genellikle boyutsuz noktalar, bir boyutlu sonsuza doğru giden doğrular gibi soyut fikirlerin çalışılmasıyla bağlantılıdır. Bu nesneler dünya içerisinde ve etrafımızda yoktur, sadece zihnimizde canlandırılabilmektedirler (Hollebrands ve Lee, 2012, s.5)'. Yani öğrenciler gerçek dünyadan kopuk bir geometri öğretimine maruz kalmaktadırlar. Bu durum öğretim programını tasarlayanlar ve öğretmenlerin matematik hakkındaki algılarından kaynaklanmaktadır (Bishop, 1986, s.142). Örneğin, deneysel ya da içgüdüsel

yaklaşımdan ziyade biçimsel görüş geometriyi herhangi bir gerçeklikten soyutlamaktadır ve öğrenciler matematiği gerçeklikle bağlantısız ve ilgisiz olarak görmektedirler. Gerçeklikten uzak bir geometri öğrenme süreci öğrencileri derslere çok az motive etmektedir. Bu durum Öklid'in aksiyomatik sistemi temel alınarak yürürlüğe konulan öğretim programlarındaki eksikliklerden kaynaklanmaktadır. Fakat günümüzde birçok ülke bu tür geometri öğretim programlarından uzaklaşmakta, çok az ülke öğretim programlarında 'Öklid'in elementlerini' hala muhafaza etmektedir (Johnston-Wilder vd., 2011, s.31). Diğer ülkelerde durum bu şekilde ise ülkemiz matematik öğretim programları için neler söylenebilir?

2017 yılında yürürlüğe giren İlköğretim Matematik Öğretim Programı, ilkokul geometri öğrenme alanının içinde 'uzamsal ilişkiler' alt öğrenme alanının yer aldığı görülmektedir. Bu alt öğrenme alanında 1-4. Sınıf öğrencilerinin aşağıda maddeler halinde sunulan kazanımlara ulaşmaları beklenmektedir. Bunlar;

1. sınıfta öğrencilerin yer ve yön bildiren ifadeleri günlük hayat durumları ile ilişkilendirerek kullanmaları beklenmektedir. 2. sınıfta bir doğru boyunca konum, yön ve hareketi tanımlamak için matematiksel dil kullanmaları ve çevrelerindeki simetrik şekilleri bulmaları hedeflenmiştir. 3. sınıfta kare, dikdörtgen gibi şekillerin birden fazla simetri doğrusu olduğunu fark etmeleri ve bir parçası verilen şekli yatay veya dikey simetri doğrusuna göre tamamlamaları beklenmektedir. 4. sınıfta simetrinin geometrik yapı ve modeller üzerinden açıklanması ve simetri doğrusunun çizilmesine yönelik kazanımlara yer verilmiştir. Ayrıca verilen bir şeklin doğruya göre simetriğinin çizilmesi hedeflenmiştir (MEB, 2017, s.14)

şeklindedir. Her ne kadar 2017 yılı ilköğretim matematik programı içinde uzamsal ilişkiler ile ilgili kazanımlar yer bulsa da ortaöğretim programı için aynı durum söz konusu değildir. Başka bir ifadeyle 2017 yılında takip edilen ortaöğretim matematik öğretim programlarında uzamsal düşünme, uzamsal ilişkiler, uzamsal muhakeme ve benzer ifadeleri içeren kazanımlar yer almamaktadır. Fakat programlarda Öklid geometrisi ile ilgili kazanımlardan sonra, onların günlük hayat problemlerinde kullanılmasını gerektiği ile ilgili kazanımlara yer verilmektedir. Bunun iki nedeni olduğu düşünülmektedir. Bunlar; (1) Soyut matematiksel kavramların somut kullanım alanlarına dikkat çekmek ve (2) günlük hayattaki uzamsal ilişkiler ile Öklid geometrisi arasındaki bağa vurgu yapmak, şeklinde maddelenebilir. NCTM'de ise durum daha farklıdır.

NCTM'de Okul öncesinden 12. sınıfın sonuna kadar öğrencilerden beklenen geometri ile ilgili kazanımlar (2000);

(1) İki ve üç boyutlu şekillerin niteliklerini ve özelliklerini analiz etme ve geometrik ilişkiler hakkında matematiksel argümanlar geliştirme, (2) Koordinat geometriyi ve diğer temsil sistemlerini kullanarak konumları belirleme ve uzamsal ilişkileri tarif etme, (3) Matematiksel durumları analiz etmek

için dönüşümlere başvurma ve simetriyi kullanma, (4) Problemleri çözmek için görselleştirmeyi, uzamsal muhakemeyi ve geometrik modellemeyi kullanma (s.41)

şeklindedir. NCTM'de uzamsal ilişkiler, uzamsal dönüşümler, uzamsal görselleştirme ve uzamsal muhakeme geometri öğrenmenin ayrılmaz parçaları olarak ele alınmaktadır. Öğrencilerin okul öncesinden üniversiteye kadar geometri ile ilgili konuları öğrenebilmeleri için belirli uzamsal becerilere sahip olmaları gerekmektedir. Birçok matematik eğitimcisi uzamsal muhakemeyi geometri öğretim programının bir parçası olarak görmektedir (Clements ve Battista, 1992, s.420). Bu düşüncenin aksine, birçok öğretim programında, uzamsal becerilerle ilgili kazanımlara yer verilmemektedir (Maier, 1998, s.63). Ülkemiz matematik öğretim programlarının ardışık olarak 2013 ve 2017 yıllarında revize edilmesi ile ülkemiz de büyük ölçüde benzer sorunlarla karşı karşıya kalmıştır.

NCTM (2000), Okul Matematiği için Prensip ve Standartları içinde geometri alt öğrenme alanı boyunca uzamsal görselleştirme, uzamsal muhakeme, uzamsal ilişkiler ve bunlara benzer birçok terime yer verilmekte hatta bazı terimlerle sık sık karşılaşılmaktadır. Oysa Milli Eğitim Bakanlığı Talim ve Terbiye Kurulu Başkanlığı tarafından 2017 yılında revize edilen 'ilköğretim' ve 'ortaöğretim' matematik dersi programlarında uzamsal düşünmenin sahip olduğu yer, matematik öğretiminin amaçları içerisinde yer almamaktadır. Ayrıca 2017 yılında yürürlüğe giren İlköğretim Matematik Dersi Öğretim Programı 'ortaokul geometri öğrenme alanı' içinde 'uzamsal düşünme' terimi ile sadece birkez karşılaşılmaktadır. Benzer şekilde 'uzamsal beceri ve uzamsal düşünme' terimleri Ortaöğretim Matematik Dersi Öğretim Programları içinde sadece iki yerde geçmektedir. Başka bir ifadeyle yürürlükte olan 'ortaokul' ve 'lise' matematik dersi öğretim programlarında uzamsal düşünme, uzamsal ilişkiler, uzamsal muhakeme gibi terimler bir ya da iki yerde kullanılmıştır. Halbuki 2013 yılından önce yürürlükte olan matematik ve geometri dersi öğretim programları incelendiğinde, aynı durumun söz konusu olmadığı söylenebilir. Örneğin, 11. sınıflar için 2010 yılında ve 12. sınıflar için 2011 yılında yayımlanan geometri programı boyunca bu tür terimlere sık sık yer verilmiştir (Bkz. MEB, 2010; 2011). Bu durum tabiki 'yenilenen öğretim programlarında geometri öğrenme alanı boyunca uzamsal histen uzaklaşma' ile açıklanamaz, sadece öğretim programlarımızın bir eksikliği olarak görülebilir. 2017-2018 eğitim öğretim yılı itibari ile yürürlükte olan ortaokul ve lise matematik dersi öğretim programlarında doğrudan uzamsal beceriler ile ilgili kazanımlara yer verilmese de, öğretim programları

içinde dolaylı olarak uzamsal beceriler ile ilgili kazanımların yer aldığı görülmektedir. Takip eden başlıkta uzamsal becerilerin matematik öğretim programlarındaki yerine değinilmiştir.

1.2.2. Ülkemiz matematik öğretim programlarında 3B'li cisimler ve uzamsal yetenek ile ilgili kazanımlar

2017-2018 eğitim öğretim yılında yürürlükte olan matematik dersi öğretim programlarında 3B'li cisimler ve uzamsal beceriler ile ilgili kazanımlar Tablo 1.2'de verilmiştir.

Tablo 1.2. *İlkokul, Ortaokul ve Lise Öğretim Programlarında Uzamsal Beceriler ile İlgili Açık ve Örtük Kazanımlar*

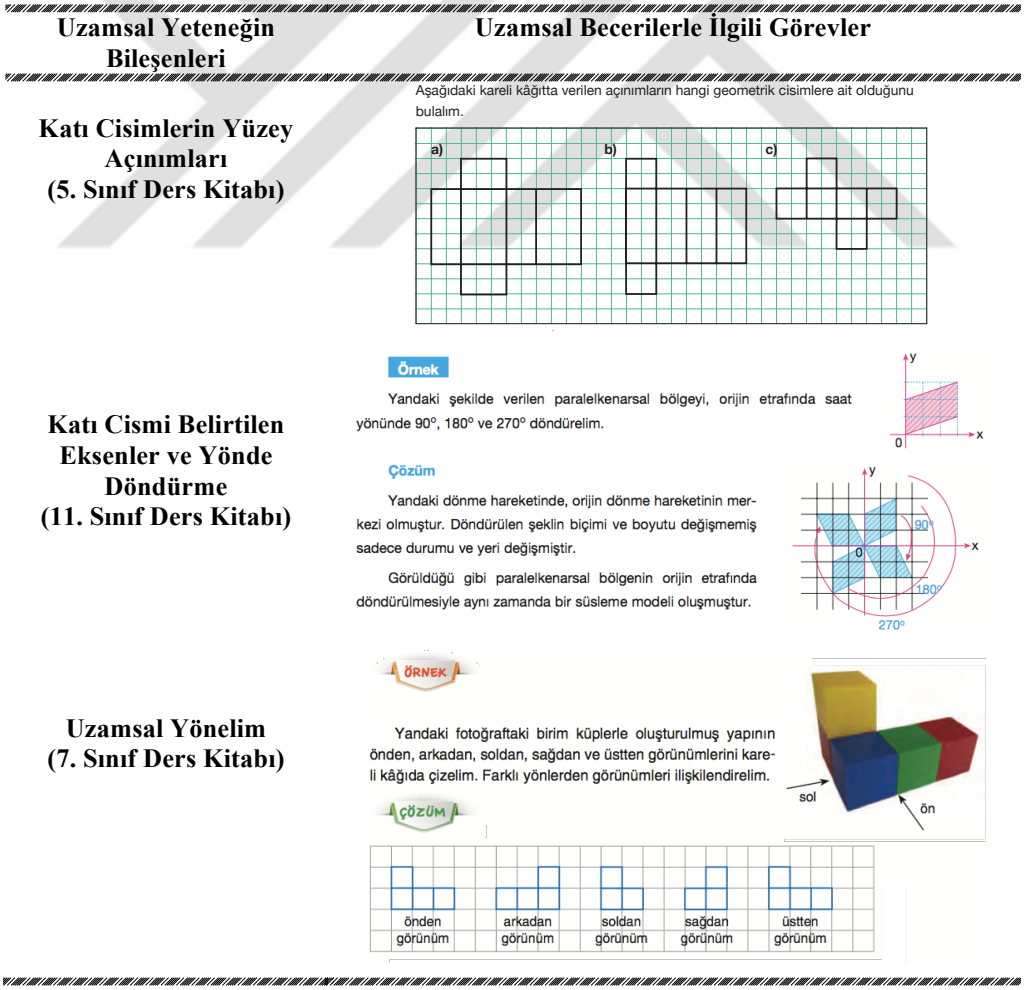
Düzeyler	Öğrenci Kazanımları
İlkokul (1-4. Sınıf)	Günlük hayatta kullanılan basit cisimleri, özelliklerine göre sınıflandırır ve geometrik şekillerle ilişkilendirir. Uzamsal (durum, yer, yön) ilişkileri ifade eder. (1. Sınıf Kazanımları) Küp, kare prizma, dikdörtgen prizma, üçgen prizma, silindir ve küreyi modeller üstünde tanır ve ayırt eder. Geometrik cisim ve şekillerin yön, konum veya büyüklükleri değiştiğinde biçimsel özelliklerinin değişmediğini fark eder. Yer, yön ve hareket belirtmek için matematiksel dil kullanır. (2. Sınıf Kazanımları) Küp, kare prizma, dikdörtgen prizma, üçgen prizma, silindir, koni ve küre modellerinin yüzlerini, köşelerini, ayrıtlarını belirtir. Küp, kare prizma ve dikdörtgen prizmanın birbirleriyle benzer ve farklı yönlerini açıklar. (3. Sınıf Kazanımları) Açınımı verilen küpü oluşturur. İzometrik ya da kareli kâğıda eş küplerle çizilmiş olarak verilen modellere uygun basit yapılar oluşturur. (4. Sınıf Kazanımları)
Ortaokul (5-8. Sınıflar)	Dikdörtgenler prizmasını tanır ve temel elemanlarını belirler. Dikdörtgenler prizmasının yüzey açınımlarını çizer ve verilen farklı açınımların dikdörtgenler prizmasına ait olup olmadığına karar verir. (5. Sınıf kazanımları) Üç boyutlu cisimlerin farklı yönlerden iki boyutlu görünümlerini çizer. Farklı yönlerden görünümlerine ilişkin çizimleri verilen yapıları oluşturur. (7. Sınıf Kazanımları) Dik prizmaları tanır, temel elemanlarını belirler, inşa eder ve açınımını çizer. Dik dairesel silindirin temel elemanlarını belirler, inşa eder ve açınımını çizer. Dik piramidi tanır, temel elemanlarını belirler, inşa eder ve açınımını çizer. Dik koniyi tanır, temel elemanlarını belirler, inşa eder ve açınımını çizer. (8. Sınıf Kazanımları)
Lise (9-12. Sınıflar)	Analitik düzlemde koordinatları verilen bir noktanın öteleme, dönme ve simetri dönüşümleri altındaki görüntüsünün koordinatlarını bulur. Temel dönüşümler ve bileşkeleriyle ilgili problemleri çözer. (12. Sınıf Kazanımları)

Kaynak: MEB, 2017, s. 33, 39, 45, 51, 60, 73-74, 79-80; MEB, 2018, s. 45.

Matematik öğretim programlarının vurgusu çeşitli seviyelerdeki öğrenenlerin 3B'li aşina cisimleri (prizma, piramidler gibi) tanımları ve onların geometrik özelliklerinin farkında olmalarını gerektiren kazanımlar üzerinedir (Bkz. Tablo 1.2). Ayrıca öğretim

programlarında aşina cisimleri inşa etme, aşina cisimlerin açınımlarını çizme, yapıların farklı yönlerden görünüşlerini çizme, farklı yönlerden görünüşleri verilen yapıyı inşa etme, nesnelerin konumlarını belirli referans noktalarına göre anlatma, geometrik şekilleri analitik düzlemde belirli bir nokta etrafında döndürme gibi doğrudan ve dolaylı olarak öğrenenlerin uzamsal ilişki, görselleştirme, yönelim ve döndürme becerilerini geliştirmeye yönelik kazanımlar yer almaktadır (Bkz. Tablo 1.2). Matematik Öğretim Programları doğrultusunda oluşturulan okul ders ve yardımcı kitaplarında uzamsal becerileri doğrudan ya da dolaylı olarak geliştirmeye yönelik etkinlik ve görevlerin yer aldığı görülmektedir.

Yürürlükte olan Matematik Öğretim Programları referans alınarak hazırlanan okul ders kitapları içinde, uzamsal becerileri geliştirmeye yönelik olarak yer verilen görevlere örnekler Şekil 1.4'te sunulmuştur.



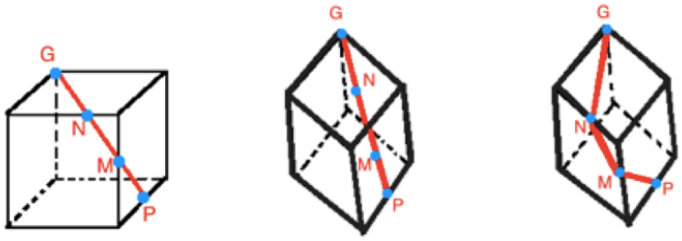
Şekil 1.4. *Matematik Ders Kitaplarında Uzamsal Görevler*

Kaynak: *Cırıtcı vd., 2017, s.305; Ünlü ve Er, 2017, s.344; Bilen, 2017, s.311*

Yürürlükte olan İlköğretim ve Ortaöğretim Matematik Ders Programları'nda öğrencilerin belirli kazanımlara ulaşabilmeleri için günlük hayatta karşılaşılabilecek cisimler (pinpon topu, süt kutusu, şişe gibi) ve somut nesne modellerini kullanma, uygun bilgi ve iletişim teknolojileri ile yapılacak etkileşimli çalışmalara yer verme, üç boyutlu dinamik geometri yazılımlarından yararlanma ve noktalı, izometrik ve kareli kağıt kullanarak çizim yapma etkinliklerine dikkat çekilmektedir. Zorunlu öğretim boyunca öğrencilerin uzamsal becerileri doğrudan ya da dolaylı olarak geliştirilmeye çalışılsa da literatür onların öğrenme süreçlerinde birtakım uzamsal zorluklar yaşadıklarını göstermektedir.

1.2.3. 3B'li geometri öğrenme sürecinde uzamsal görselleştirme zorlukları

Üç boyutlu bir cismi, iki boyutlu bir çizimle temsil etmeye çalışmak bilgi kaybına neden olmaktadır, çünkü çizim içerisine üç boyutlu cismin tüm özelliklerini aktarmak mümkün değildir. 2B'li çizimden, 3B'li cismi ve özelliklerini belirlemek, bakan kişinin ön bilgi ve deneyimleri ile sınırlı kalmaktadır. Sonuç olarak, birçok öğrenen farkında bile olmadıkları görsel bir bariyerle karşılaşmaktadırlar (Widder ve Grosky, 2013, s.91). Bako (2003) bu engellerden birini şu şekilde örneklemektedir. Şekil 1.5'te yer alan ilk küp lise öğrencilerine sunulmuş, onlara G, N, M ve P noktalarının aynı doğru parçası üzerinde olup olmadığı sorulmuştur.



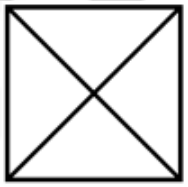
Şekil 1.5. *Görsel Engel ve P, M, N ve G Noktalarının Alternatif Konumları*

Kaynak: *Bako, 2003, s.2. ve Widder ve Grosky, 2013, s.92.*

Katılımcıların büyük çoğunluğu, diğer uygun eş olasılıkların varlığına rağmen, bu dört noktanın aynı doğru parçası üzerinde olduğundan emin olduklarını belirtmişlerdir (s.1-2). Bako (2003), belirtilen dört noktanın olası iki alternatif konumu olabileceğine işaret etmektedir (Bkz. Şekil 1.5'teki ikinci ve üçüncü küp). Öğrencilerin büyük çoğunluğu, taslağın yanıltıcı dış görünüşüne bağlı olarak bu dört noktanın aynı doğru

parçası üzerinde olduğunu belirtirken, sadece birkaç öğrenci taslağın yanıltıcı olabileceğini ve bu dört noktanın olası alternatif konumlarını zihinlerinde görselleştirebildiklerini söylemişlerdir (Akt, Widder ve Grosky, 2013, s.92). Başka bir şekilde ifade etmek gerekirse, 3B'li cismin 2B'li temsili, cisim üzerinde yer alan noktaların konumlarının hatalı bir şekilde algılanmasına neden olabilmektedir.

Benzer olarak Gutierrez (1996), bir ders kitabında Şekil 1.6'daki resmi gören öğrencinin bu şeklin bir piramite mi yoksa düzgün sekizyüzlüye mi ait olduğunu belirlemekte zorlanacağını ifade etmiştir (s.11). Öğrenci, üç boyutlu dinamik geometri öğrenme ortamında cismi çevirerek inceleme fırsatı yakalarsa, Şekil 1.6'daki görüntü, cismin farklı bakış noktalarından birine ait imajı haline gelecektir.

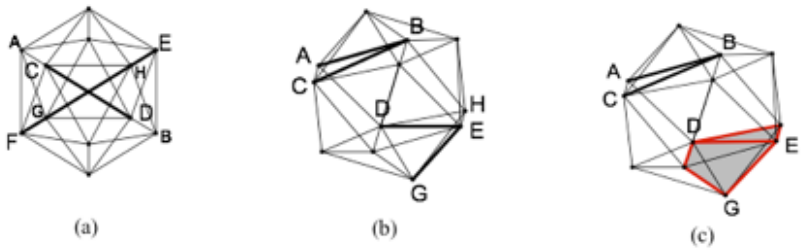


Şekil 1.6. *Kare Piramit mi? Düzgün Sekizyüzlü mü?*
Kaynak: *Gutierrez, 1996, s.11.*

Ryu, Chong ve Song (2007), üç boyutlu bir cismin uzamsal görselleştirme sürecinde meydana gelebilecek hataları üç alt başlıkta ele almıştır: *Görsel gerçeklere bağlı kalma,* bir problem içerisinde verilen şekil bir katı cismi betimlemesine rağmen, bir bireyin onu uzamsal bir nesne olarak hayal etmede başarısız olması ve düzlemsel şeklin gerçeklerine bağlı kalarak hareket etmesidir. *Ayrıtları ayırt etmede karışıklık,* bireylerin çokyüzlü şeklin yüzlerinin hangi (geometrik) şekillerden oluştuğunu bilmelerine rağmen yüzleri oluşturan ayrıtların hangileri olduğunu belirlemede başarısız olabilmeleri durumudur. *Bir katı cismin iki boyutlu temsilinden, cisme ait kesitleri gözünde canlandırmada başarısızlık,* bir bireyin katı cismin düzlemsel temsilinden cisme ait üç boyutlu kesitleri gözünde canlandıramaması ve bu kesitlerin düzlemsel olabilecekleri görüşünü savunabilmesidir (s.142). Hatalara neden olan görüntülere örnekler Şekil 1.7'de verilmiştir.

Şekil 1.7'de soldaki şekle (a) bakan öğrenci |FE|=|AB| olmasına rağmen, |FE|>|AB| olarak düşünebilmektedir. Ortadaki şekle (b) bakan öğrenci DEG açısının ölçüsünün 60 derece olduğunu söyleyebilmekte, çünkü DGEH'ı bir düzgün dörtyüzlü olarak görüp

DEG'i bir eşkenar üçgen olarak ele alabilmektedir. Sağdaki şekle (c) bakan öğrenci ise cisme ait 3B'li kesiti düzlemsel bir şekil olarak algılayabilmektedir.



Şekil 1.7. *Uzamsal Görselleştirme Sürecindeki Hatalar*

Kaynak: *Ryu, Chong ve Song, 2007; s. 142-143*.

Clements (2004) 3B'li geometri öğrenme sürecinde öğrencilerin yaptıkları uzamsal hatalar içine, öğrencilerin katı cisimler hakkında, düzlemsel şekillerde olduğu gibi muhakemede bulunmalarını ve 3B'li şekillere müdahale edince onlarda değişim meydana geleceğine inanmalarını (örneğin, tahtadan bir dikdörtgenler prizmasının üzerine oturarak onu küpe dönüştüreceklerini düşünmektedirler) katmaktadır (s.274-275). Cockburn (1999), 2B'li ve 3B'li şekilleri öğrenmede yaşanılan sorunların, şekillerin öğretiminde onların soyut temsillerini kullanma, öğrencilerin şekilleri manipüle edebilmelerine izin vermeme ve öğrencilerin 3B'li çizimleri gerçekleştirmenin zor olduğu ile ilgili ön yargılara sahip olma gibi durumlardan kaynaklanabileceğini belirtmiştir (s. 59-63).

Bahsedilen bu zorlukların giderilmesi için takip edilebilecek yollar, aktiviteler, etkinlikler ve araçlar literatürde vurgulanmaktadır, aşağıda bunların başlıcalarına değinilmektedir.

1.3. Uzamsal Becerilerin Geliştirilmesi

Uzamsal becerilerin geliştirilmesinde etkili olan faktörleri belirtirken farklı yazarlar, farklı yönlere dikkat çekmişlerdir. Örneğin, Sorby'e (2009) göre 'çocuklukta Lego gibi bir şeyler inşa etmeye yönelik oyuncaklarla oynama, ortaokul ya da lise yıllarında tasarım ve mekanik gibi derslere katılma, 3B'li bilgisayar oyunları ile oynama, belirli türde spor etkinliklerine katılma ve iyi gelişmiş matematiksel becerilere sahip olma' ile bireylerin uzamsal yetenekleri arasında bir bağlantı söz konusudur (s.461). Newcombe (2010) uzamsal dil kullanmanın uzamsal becerilerin geliştirilmesinde etkili

olduğunu vurgulamaktadır. Küçük yaşlardan itibaren uzamsal dilin kullanılması, uzamsal yeteneğin gelişminde önemli bir role sahiptir. Newcombe (2010) çeşitli çalışmalardan yararlanarak (Casasola, Bhagwat ve Burke, 2009; Simms ve Genther, 2009; Albro vd., 2009) bu durumu şu şekilde açıklamaktadır: Bebekler uzamsal ilişkilere bir isim verildiğinde o uzamsal ilişkiyi daha iyi öğrenmektedirler, okul öncesinde uzamsal kelimeleri anlayan çocuklar bu kelimeleri anlamayan çocuklara göre uzamsal görevleri daha iyi yerine getirmektedirler ve okul öncesi çağda uzamsal kelimeleri kullanan ebebeyinlerin çocukları bu kelimeleri kullanmayan ebeveynlerin çocuklarına göre daha gelişmiş uzamsal düşünmeye sahip olmaktadırlar (s.32). Hill, Corbett ve Rose (2010), bireyleri uzamsal yeteneklerinin gelişebileceği ile ilgili motive etmenin önemi üzerinde durmaktadır. Hill ve diğerleri (2010) gençlere uzamsal becerilerin doğuştan gelmediği ve geliştirilebileceğini anlatmayı önermektedir (s. 56).

Günlük hayatta, uzamsal becerilerin bilgisayar oyunları (veya serbest oyunlar) oynama, spor aktiviteleri yapma, tasarım ve mekanik derslerine katılma, matematiksel beceriler kazanma ve uzamsal dili kullanma ile geliştirilebileceği vurgulanmaktadır. Uzamsal yeteneğin gelişimine yönelik araştırmalar ise dikkatleri çizim etkinlikleri, manipülatifler ve Dinamik Geometri Öğrenme Ortamlarına (DGO) dayalı öğretim üzerine çekmektedir.

1.3.1. Çizim etkinliklerinin rolü

Çizim, uzamsal/algısal yetenekleri eğitmede, görsel okur-yazarlığı desteklemede ve zihinsel performansı artırmada etkili belki tek yoldur (Orde, 1997, s.274). Çizimi tanımlamak zordur, fakat bazı yazarlar çizimi, işaret yapma, kâğıt üzerine çalışma ya da görsel fikirleri ifade eden işaretler oluşturma biçiminde ele almaktadır (Fay, 2013, s.6). Çizim terimi hem kalem veya kurşun kalem kullanılarak bir şeylerin kaba resimlerinin yapılmasıyla ilgili tüm faaliyetleri hem de mühendislik çizimleri gibi standart çizimleri tanımlamada kullanılmaktadır (Alias, Gray ve Black, 2002, s.165).

Çizim bazı mesleklerle bütünleşmiş durumdadır, örneğin, mühendislik ve ressamlık gibi. Matematik derslerinde de Türk Bayrağının çizimi, geometrik inşa, çoklu görünüş, izometri, tek ve iki nokta perspetifi gibi çizim yapmayı içeren etkinliklere yer verilmektedir. Çizimin, mühendislik öğrencilerinin uzamsal görselleştirme yeteneklerini geliştirmede ön görülen etkinliklerin en yaygın olanlarından biridir (Alias, Gray ve Black, 2002, s.165). Literatürde çizim etkinlikleri ve uzamsal yetenek arasındaki ilişkiyi ele alan

uzamsal yetenekle ilgili çeşitli çalışmalar yer almaktadır (örneğin, Adanez ve Velasco, 2004; Alias, Gray ve Black, 2002; Akasah ve Alias, 2010; Olkun, 2003; Orde, 1997; Sorby, 1999).

Modern ve teknolojik çağda, fikirleri açık ve ikna edici bir şekilde iletmek önemlidir, sorunlar ve endişeler özlü bir konuşma ve net bir jest aracılığı ile aktarılabilmektedir (Heuser, 1984, s.11) fakat her sorun sözlü olarak ifade edilemez. Çizim, sözlü ve yazılı dilden farklı bir iletişim kurmayı sağlar (Robertson ve Bertling, 2013, s.8). Bir arkadaşımıza yeni açılmış bir marketin yerini tarif ederken, marangoza nasıl bir dolap istediğimizi anlatmak için ve bunlara benzer birçok durumda çizimlere başvurulabilir. Baraj, metro, yol, alışveriş merkezi, alt(üst) geçit, park yapımı gibi ve elektrik direk ve kablolarının, su borularının ya da trafik lambalarının yerleşimi gibi sorunlara ise ancak kâğıt üzerinde ya da elektronik ortamda yapılmış çizimler yoluyla çözümler bulunabilmektedir.

Birçok kişi için çizim olarak ifade edilen işaret yapma süreci yetişkinlik çağında bile karalamalar yapmaktan öteye geçemez, oysa geleneksel çizim dernekleri, çizimin evrensel bir aktivite olmaktan ziyade belirgin beceri ve kabiliyetlere sahip kişiler tarafından yapılabilen bir uzman işi olduğuna yönelik algılara katkıda bulunmaktadır (Fay, 2013, s.6). Kâğıda nesnelerin kabataslak çizilmesinin ‘yetenek’ ya da ‘sanat’ denilen şeyle ilgisi yoktur. Tek gerekli olan çizim materyallerinin işlenmesi, günlük yaşamın farkında olunması, gözlenmesi ve uygulamalar yapılmasıdır, her ne kadar çizim uygulamaları ve alıştırmalar yapmak sabır gerektirse de birinin gördüklerini ana hatları ile çoğaltması büyük bir güçlük değildir ve isteğe bağlı olarak herkes serbest el çizimi yapmayı öğrenebilir (Heuser, 1984, s.11).

Çizim algısal, zihinsel ve bilişsel süreçlere başvurmayı ve birtakım el becerilerine sahip olmayı gerektirir. Görsel düşünme, görme, zihinde canlandırma ve çizimin aktif etkileşimi ile gerçekleşmektedir (McKim, 1980, s.7). Görme, zihinde canlandırma ve çizim etkileşimli bir doğaya sahiptir, görme çizimi kolaylaştırırken, çizim görmeyi kuvvetlendirmekte, zihinde canlandırma çizim için itici bir güç sağlarken, çizim zihinde canlandırılanın uyarılmasını ve açıklanmasını sağlamakta, görme zihinde canlandırma için hammadde sağlarken, zihinde canlandırma görmeyi yönlendirmekte ve filtrelemektedir (McKim, 1980, s.6-7).

Bu çalışma kapsamında gerçekleştirilen çizim görev ve etkinlikleri (verilen cisimlerin yüzey açınım çizimlerini yapma, yapıların farklı yönlerden görünümlerini

çizme, belirli bir noktadan belirli bir cisme bakıldığında elde edilecek görüntüsünü izometrik kâğıda inşa etme gibi) hem görsel düşünmeyi hem de birtakım materyalleri (gönye ve iletki, kareli ve izometrik kâğıt gibi) kullanmayı ve çeşitli teknik kurallara uymayı gerektirmektedir. Her ne kadar literatürde çizim etkinliklerinin uzamsal becerileri geliştirdiği vurgulansa da çizim tek başına uzamsal becerileri geliştirmede etkili olmayabilir. Birçok çalışma uzamsal zorluklarla baş etmede ve uzamsal becerileri geliştirmede somut ve bilgisayarlı manipülatifler ile dinamik geometri öğrenme ortamlarının önemine dikkat çekmektedir.

1.3.2. Manipülatiflerin rolü

Uzamsal yeteneğin önemli bir alanı 3B'li anlayıştır (Sutton ve Williams, 2007, s.2). 3B'li anlayış ne görüldüğünü yorumlamak için gerekli görsel ve algısal yetenekler ile görsel temsilleri zihinde manipüle etmek için gerekli uzamsal yetenekleri içermektedir (Sutton ve Williams, 2007, s.2). Bir gösterge sistemine dayalı 2B'li çizimleri yorumlayabilme, 3B içerisinde düşünme ve muhakemeyi gerektirmektedir (Sutton ve Williams, 2010, s.3). Çeşitli araştırmacılar öğrencilerin uzay geometri öğrenme süreci içerisinde katı cisimlerin düzlemsel temsilleri ile meşgul olmak zorunda kaldığını vurgulamaktadır (örneğin, Battista 1999; Ben-Chaim, Lappan ve Houang, 1989; Pittalis, Mousoulides ve Christou, 2010). Örneğin, birçok öğretmen 3B'li geometri konularını anlatırken kara tahta üzerinde bu cisimlerin belirli bir perspektiften görünüşlerini kabataslak çizmektedirler. Gerek ders kitaplarında gerek kara tahta üzerinde 3B'li geometrinin öğrencilere düzlemsel temsiller yoluyla sunulması, onların sunulan cismi algılamalarında problemlere neden olmaktadır. Pek çok araştırmacı, geometri derslerinde 3B'li cisimlerin 2B'li statik resimlerini kullanmanın öğrencilerin öğrenmelerinde görsel bir engel oluşturacağı kanaatindedir (örneğin, Bako, 2003; Christou vd., 2005; Gutierrez, 1996; Kali ve Orion, 1996; McGee, 1979; Parzysz, 1988; Raquel, 2002; Yeh ve Nason, 2004; Jones vd., 2006). Öğretmenler ise bu engelin üstesinden gelmek için katı cisimlerin tahtadan ya da kartondan yapılmış modellerini kullanmaktadırlar (Gutierrez, 1996, s.9). Goldenberg'e (2000) göre, ilkokul yıllarında fiziksel manipülatifler öğrenciler için sıklıkla görsel ve deneysel destek sağlamaktadır. Öğrenciler nesneleri gözleri ile görebilmekte elleri ile döndürüp onların çeşitli perspektiflerden görünüşlerini inceleyebilmektedirler. Öğrenciler fiziksel nesneler üzerinde bu eylemleri uygularken zihinlerinde katı cisimlerle ilgili matematiksel fikirler oluşmaktadır (s.1). Somut

manipülatiflerin geometri öğrenmeye katkılarını belirten çeşitli araştırmalar mevcuttur (örneğin, Gerhardt, 1973; Prigge, 1978; Taylor, Luckong ve Reaves, 2007). Fakat Baroody (1989), Gutierrez (1996) ve Polo-Blanco (2011), somut manipülatifleri kullanmanın anlamlı öğrenmeyi garanti etmediğini belirtmektedirler. Gutierrez (1996), fiziksel materyallere dayalı deneyimlerin bilinçsiz bir biçimde gerçekleştirildiği görüşünü savunmaktadır. Benzer biçimde Polo-Blanco'a (2011) göre, öğrenciler somut manipülatiflerle doğru adımları uygulamalarına rağmen bazen onların içerisinde yer alan matematiği fark etmemekte, otomatik bir tarz (an automatised manner) içerisinde eylemlerini gerçekleştirmektedirler ve onlardan çok az şey öğrenmektedirler (s.33). Yani uzamsal yapıların içerisinde yer alan geometriyi fark etmemektedirler. Gutiérrez'e göre, bir insan gerçek 3B katı bir cismi eline alıp hareket ettirdiğinde ve eliyle ona dönme hareketi uyguladığında bu eylemleri çok hızlı bir şekilde gerçekleştirmektedir oysa özel olarak tasarlanmış bilgisayar yazılımları yönler ve dönme hızına bazı küçük sınırlamalar koyduğu için daha kullanışlıdır (1996, s.12).

Birçok araştırmacı ve uygulayıcı manipülatifleri kullanmanın 'somut' deneyimler sağladığını ve bu durumun öğrenmede etkili olduğunu belirtmektedir (Clements, 1999, s.46). 'Somut' terimi ile çocukların bu materyalleri elleri ile tutabilmelerinin kastedildiğini belirten Clements (1999), 'somut' deneyimlerin fiziksel manipülatiflerle sınırlı tutulamayacağı görüşünü savunmaktadır (s.47) ve ona göre bilgisayar manipülatifleri, fiziksel manipülatiflere göre daha açık, daha esnek, daha yaygın ve daha yönetilebilirdir (s.49). Birçok çalışma geometrik kavramları öğrenme sürecinde bilgisayarlı manipülatiflerin önemine dikkat çekmektedir (örneğin, Moyer, Bolyard ve Spikell, 2001, 2002; Sarama vd., 2003; Sarama ve Clements, 2004; Polo-Blanco, 2011).

Manipülatiflerin öğretmenler ve öğrenciler tarafından düşüncesizce kullanılmasından kaçınmak gerektiğini belirten Clements ve McMillen (1996), manipülatiflerin tek başlarına yeterli olmadığına, ancak öğretmen rehberliğinde çocukların onlarla meşgul olmasının öğrenmeye katkı sağlayacağı fikrindedir (s.276). Boytchev, Chehlarova ve Sendova'a (2007) göre, özel olarak tasarlanmış bilgisayar aktiviteleri sayesinde öğrenciler fiziksel dünyayı tarif etmenin bir aracı olarak geometriyi takdir eden bir anlayış geliştirilebilmektedirler (s.1)

1.3.3. Dinamik geometri ortamlarının rolü

Dinamik geometri ortamları (DGO), öğrencilerin belirli bir çizimin özelliklerinin

ötesine giderek şekiller arasında genellemeler oluşturmasına yardımcı olan, geometri öğretme ve öğrenmede kullanılan belirli teknolojik araçlardır (Hollebrands ve Lee, 2012, s.7). 40'ın üzerinde DGO'nun var olduğunu belirten Hollebrands ve Lee (2012), bunlara başlıca örnek olarak Geometer's Sketchpad (GSP), Cabri ve GeoGebra'yı vermektedir. Her ne kadar DGO'ların hepsi birbirinden farklı olsalar da hepsinde ortak olan özellikler vardır. Bunlar, temel geometrik nesnelerin bir kümesine (örneğin, noktalar, doğrular, ışınlar, çemberler) sahip olmaları, paralel ve dik doğrular inşa edebilme yetenekleri, dönüştürme ve hesaplama yapmak için araçlara sahip olmaları, 'sürükleme', ölçme ve animasyon için araçlara sahip olmaları, nesneleri saklama yetenekleri ve nesneler yaratma için belirli prosedürlere sahip olmaları, şeklinde açıklanabilir (Hollebrands ve Lee, 2012s.7).

Araştırmacılar DGO'ların geometri öğrenme sürecine olan katkılarını açıklarken, farklı yönlere odaklanmışlardır. Örneğin, Jones'e (2002) göre DGO'lar geometride ispat gerektiren kavramların geliştirilmesinde zengin birer kaynaktır. Özellikle bilgisayar ekranlarında manipüle edilebilen görsel imajlar öğrencileri gözlemler yapmaya, onlarla ilgili varsayımda bulunmaya ve bu varsayımlarla ilgili genellemelere ulaşmaya davet etmektedir (s.125). Christou ve diğerlerine (2007) göre, DGO'lar sembolik temsillerin yanı sıra statik ve dinamik resimsel temsilleri kombine etmekte ve öğrenenlerin çeşitli temsillerle etkileşimini olanaklı kılmaktadır. Çoklu, dinamik ve etkileşimli temsiller, öğrenmeyi geliştirmekte ve öğrenenlerin tutarlı zihinsel temsiller oluşturmalarını sağlamaktadır (s.3). Gutierrez'e (1996) göre, özel yazılımlı bilgisayarlar öğrencilerin katı cisimleri ekran üzerinde farklı birçok olası yol içinde görmesine ve onları dönüştürmesine müsade etmektedir (s.11). Onlar sayesinde öğrenenler çok yüzlü cisimleri ve diğer katı cisimleri ekran üzerinde farklı pozisyonlar içinde görebilmekte, böylece cisimlerin görünmeyen kısımları da görünür hale gelmektedir.

DGO'nun sahip olması gereken özellikler, şu şekilde özetlenbilir: '3B geometri bağlamında öğrenenlerin görselleştirme yeteneği kazanmalarına ve bu yeteneklerini geliştirmesine fırsat sunma, elle tutulup hareket ettirilen manipülatiflerin sağladığı öğrenme ortamlarına göre daha bilinçli bir öğrenme ortamının oluşmasına yardımcı olma, matematiksel anlamın oluşması için çeşitli temsilleri bir arada kullanmayı (örneğin, 3B ve 2B) olanaklı kılma, 3B nesnelerin çeşitli pozisyonlarda görülmelerini sağlayarak öğrenenlerin zihinsel imajlarını zenginleştirme ve öğrenenlerin uzamsal görselleştirme yeteneklerini (örneğin, zihinde döndürme, yönelim v.b) geliştirecek şekilde

tasarlanabilme' (Jones, 2006, s.3-4). Geometrik ya da uzamsal düşünmenin gelişimi için DGO'lara dayalı etkinlikler ve öğretim bir plan dahilinde yürütülmelidir. Boytchev, Chehlarova ve Sendova'a (2007) göre, dikkatli biçimde tasarlanmış eğitimsel aktivite dizileri öğrenenlerin geometriyi, fiziksel dünyayı tarif etmenin bir aracı olarak görmelerine ve onun sağladığı olanakları takdir etmelerine müsade etmektedir (s.1). Bu çalışmada bilgisayarlı manipülatifleri kullanma ve geometrik çizimler yapmayı içeren öğretim aktivite dizileri için Bilişsel Yük Teorisine (BYT) başvurulmuştur. Bahsedilen teorik çerçeve aşağıda anlatılmaktadır.

1.4. Teorik Çerçeve

Aynı uzamsal görevlerin bireyler üzerinde yarattığı etki aynı değildir, onlar bazıları tarafından oldukça kolay bulunurken, diğerleri onların oldukça zor olduğunu düşünebilirler. Yani görevler zayıf uzamsal yeteneğe sahip olanların (acemilerin) çalışan bellek kapasitesini aşarken, gelişmiş uzamsal yeteneğe sahip olanların (uzmanların) belleklerinde optimumun altında bilişsel yük yaratabilirler. Uzamsal yeteneği geliştirmeyi hedefleyen bir öğretim tasarımı, bireylerin çalışan belleklerini en verimli şekilde kullanmalarını sağlamalıdır. Bu da bireylerin bilişsel yüklerini göz önünde bulunduran bir yaklaşımla gerçekleştirilebilir.

1.4.1. Bilişsel Yük Teorisi

Bilişsel Yük Teorisinin (Cognitive Load Theory (CLT)) kökeni 1980'li yıllara dayanmaktadır ve dünyanın dört bir yanındaki araştırmacılar tarafından 1990'lı yıllar içinde önemli ölçüde geliştirilmiş ve genişletilmiştir (Paas, Renkl ve Sweller, 2003, s.1). Bilişsel Yük Teorisi (BYT), John Sweller tarafından formüle edilmiştir. BYT, kompleks bilişsel becerilerin ve yeterliliklerin kazandırılması için öğretim materyallerinin nasıl tasarlanması gerektiği ile ilgili gelecek vaat eden bakış açıları sunmaktadır (Kirschner, 2002, s.9).

BYT, birçok geleneksel öğretim tekniğinin insan bilişinin sınırlılıklarını göz önünde bulundurmadığı görüşündedir ve öğretim tasarımının ilkeleri ile insan bilişsel sisteminin yapı ve işlevini bütünleştirmeye çalışmaktadır (Schnotz ve Kürschner, 2007, s.470). BYT, anlamayı, öğrenmeyi ve problem çözmeyi kolaylaştıran öğretim tasarımları sağlamak için bilginin ve insan bilişinin bazı yönlerini kullanmaktadır (Sweller, 1999; Sweller, Van Merrienboer ve Paas, 1998, akt., Pollock, Chandler ve Sweller, 2002, s.62).

BYT öğrenme sürecini planlamada insanın bilişsel mimarisinin göz önünde bulundurulması gerektiği düşüncesini esas alır. BYT (Paas ve Van Merrienboer, 1994; Sweller, Van Merrienboer ve Paas, 1998) öğrencilerin işlem açısından sınırlı olan bilişsel kapasitelerini verimli bir biçimde kullanarak yeni öğrenmeler edinmesini sağlayacak öğretim tasarımlarının geliştirilmesiyle ilgilenmektedir (Kablan, tarihsiz, s.1).

Bellek, bütün zihinsel deneyimlerin toplamıdır (Lutz ve Huitt, 2003, s.1). Bellek üç yapısal bileşene sahiptir (Atkinson ve Shiffrin, 1968): Duyusal, kısa süreli ve uzun süreli bellek (s.14). Duyusal bellek, duyular yoluyla gelen bilgiler (örneğin, koku, ses gibi) ile ilgilidir. Kısa süreli bellek bireyin çalışan belleğidir (Atkinson ve Shiffrin, 1968, s.14), hem duyusal bellekten gelen hem de uzun süreli bellekten gelen bilgileri alır. Belleğin bilginin işlenmesinden sorumlu bileşenidir ve bu nedenle 'çalışan bellek' olarak anılmaktadır (De Jong, 2010, s.105). Uzun süreli bellek, kısa süreli bellekten transfer edilen bilgiler için oldukça kalıcı bir depodur (Atkinson ve Shiffrin, 1968, s.15). Öğrenme bellekteki bu yapılar sayesinde gerçekleşir.

BYT, şu varsayımlar doğrultusunda oluşturulmuştur: (1) Çalışan bellek herhangi bir zamanda mevcut bilginin sadece bir kaç ögesini işlemekle sınırlıdır (Baddeley, 1992; Miller, 1956; Pollock, Chandler ve Sweller, 2002); (2) Etkin, uzun süreli bellek, çalışan belleğin sınırlarının üstesinden gelmek için bilgiyi tutmaktadır (Chase ve Simon, 1973; Leahy ve Sweller, 2004; Pollock, Chandler ve Sweller, 2002); (3) Şemalar uzun-süreli bellek içinde tutulmaktadırlar ve daha az çalışan bellek kapasitesi gerektiren, yüksek mertebeli şemalar düşük mertebeli şemaları kapsayacak biçimde ögelerin organize edilmesini sağlanarak bilgi yapılandırılmasında kullanılmaktadırlar (Chi, Glaser ve Rees, 1982; Cooper, 1998; Larkin vd., 1980; Pollock, Chandler ve Sweller, 2002; Sweller, van Merrienboer ve Paas, 1998); ve (4) otomatikleşme, şemaların çalışan bellek içinde bilinçli olarak işleme tabi tutulmasından ziyade otomatik olarak işlenmesine işaret etmektedir, bu ise çalışan bellek yükünü azalmaktadır (Kotovsky, Hayes ve Simon, 1985; Leahy ve Sweller, 2004; Pollock, Chandler ve Sweller, 2002; Schneider ve Shiffrin, 1977; Shiffrin ve Schneider, 1977; Sweller, 1994). Varsayımlar insanların bilişsel yapıları göz önünde bulundurularak oluşturulmuştur, bu yapılar bir sonraki başlıkta ele alınmıştır.

1.4.2. İnsanın bilişsel mimarisi

İnsanların bilişsel sisteminde hafıza bölümleri (çalışan bellek ve uzun süreli bellek) ve çalışma mekanizmaları (şemalar ve şemaların otomatikleşmesi) bulunmaktadır.

Aşağıda bu yapılar ve özellikleri detaylı bir şekilde açıklanmıştır.

Çalışan Bellek

Çalışan bellek terimi, dili kavrama, öğrenme ve muhakeme gibi kompleks bilişsel görevler için gerekli bilginin geçici olarak depolanmasını ve manipüle edilmesini sağlayan beynin bir çalışma sistemine atıfta bulunmaktadır (Baddeley, 1986, s.556). Çalışan belleğin kapasitesi (aynı anda yedi ögeyi tutma kapasitesine sahiptir) ve süresinin (bilgi birkaç saniye çalışan bellekte tutulmakta, bu süre tekrar yapılanarak yenilenirse 20 saniyeye kadar çıkabilmektedir) sınırlılığı, sadece duyu yolu (görme ve işitme) ile elde edilen yeni bilgiler için geçerlidir (Van Merrienboer ve Sweller, 2005, s.148). İnsanlar çalışan bellekleri içinde yedi ögeye kadar bilgiyi tutabilmelerine rağmen, o ögelerin aynı anda sadece iki ya da üçünü işleyebilmektedirler (Sweller, Van Merrienboer ve Paas, 1998, s.252). Bilgiyi işleme, bilgiyi organize etme, karşılaştırma, benzerlik ve farklılıklarına dikkat etme (Sweller, Van Merrienboer ve Paas, 1998, s.252) şeklinde açıklanabilir. Uzun süreli bellekten çalışan belleğe giren işlenebilir bilginin ise bilinen bir sınırı yoktur (Sweller, 2004, s.13).

Uzun-Süreli Bellek

Uzun süreli bellek karmaşıklık ve otomatikleşme derecesi çeşitlilik gösteren bilişsel şemaları tutmaktadır (Van Merrienboer ve Sweller, 2005, s.148). Schnotz ve Kürschner'a (2007) göre, öğrenme, uzun süreli bellekte bir değişiklik olması nedeniyle uzmanlık alanındaki bir artıştır. Uzun süreli bellekte bir değişiklik meydana gelmediyse hiçbir şey öğrenilmemiştir. Öğrenmenin ana mekanizması şema kazanımı ve bu şemaların otomatikleşmesidir (s.477). Kirschner (2002), birçok bilim adamının, uzun dönemli belleğin kapasitesinin sınırsız olduğuna ve öğrenilen her şeyin sürekli bir şekilde kaydedildiğine inandıklarını belirtmektedir. Kirschner'a göre, insan zekası uzun süreli bellekte depolanan bilgiden gelmektedir, çalışan bellekteki kompleks muhakeme zincirlerinden değil (s.2-3). Uzun süreli bellekte şema kazanımıyla, çalışan bellekte neyin öge olarak alındığı da değişmektedir (Schnotz ve Kürschner, 2007, s.477). Çünkü, bilgiyi işleme sırasında uzun süreli bellekten çalışan belleğe gelen işlenebilir bilgi, fazla yük oluşturmaksızın tek bir öge olarak işlem görmektedir.

Şema

Bilgi ögelerini organize eden bilişsel bir yapıdır (Sweller, 1994). Şemaları inşa etmek için, bilginin çalışan bellek içerisinde işlenmesi gerekmektedir (Sweller, Van Merrienboer ve Paas, 1998; Van Merrienboer ve Sweller, 2005). Cooper'a (1998, s.4.3)

göre şemalar sadece tek bir öge içine 'birçok ögeyi' kombine etme için yeteneği sağlamakla kalmamakta, her biri birbiri ile etkileşimde olan, çeşitli ögeleri içeren bilginin, tek bir şema içine bir bütün halinde toplanmasına da müsaade etmektedirler. Nitelikli performansın gelişmesi, yüksek seviyeli şemalar içine düşük seviyeli şemalar içerilerek kombine edilen ögeler tarafından, sayısı giderek artan her zamankinden daha karmaşık şemaların oluşturulması sayesinde olur (Sweller, Van Merrienboer ve Paas, 1998, s.255). Ögeleri organize eden şemalar daha yüksek mertebe şemalar içinde ögeler olarak işlem görmektedir, yani edinilen yüksek mertebeli bir şema içinde düşük seviyeli şemalar yer alabilmektedir (Sweller, 1994, s.306).

Zihinsel İşlemlerin Otomatikleşmesi

Bilginin işlenmesi kontrollü ya da otomatik olabilir (Kotovsky, Hayes ve Simon, 1985; Schnieder ve Shiffrin, 1977; Shiffrin ve Schnieder, 1977; Sweller, 1994). Sweller, zihninde kontrollü ve otomatik olarak bilginin işlenmesini şu şekilde açıklamaktadır (1994): 'Kontrollü işleme, eldeki bilgiler dikkatli ve bilinçli bir şekilde ele alındığında meydana gelmektedir. Aksine otomatik işlemede bilgiler bilinçli olarak kontrol edilmemektedir. İyi öğrenilmiş materyaller otomatik olarak işlenmektedir, bilinçli bir çaba söz konusu değildir ve dikkat başka yerlere yönlendirilmiş olabilir. İlk kez kompleks zihinsel bir beceri kazanılmaya çalışılıyorsa, bu becerinin işlenip kullanışlı hale gelmesi için dikkate değer bilişsel bir çabanın adanması gerekmektedir. Zaman ve uygulamayla bu becerinin, işlenmesi için minimal düşünmenin gerektiği noktaya gelir yani otomatikleşir' (s.297). Sweller, Van Merrienboer ve Paas'a (1998) göre, daha otomatikleşmiş bir şemaya sahip öğrenenler, daha karmaşık problemleri çözmek için kullanılabilir daha fazla çalışan bellek kapasitesine sahiptirler (s.257-258).

1.4.3. Bilişsel yük türleri

Bilişsel yük, çalışan bellekte aynı anda gerçekleştirilen ve dikkat gerektiren zihinsel etkinliklerin tümüdür (Akbulut, 2014, s.43). BYT'ye göre çalışan bellekte üç tür bilişsel yük oluşmaktadır (Akbulut, 2014, s.44; Van Merrienboer ve Sluijsmans, 2009, s.56). Bu bilişsel yük türleri literatürde 'intrinsic load, extraneous load ve germane load' olarak geçmektedir ve çeşitli yazarlar tarafından Türkçemize sırayla 'asıl yük, konu dışı yük ve etkili yük' olarak çevrilmişlerdir (örneğin, Kılıç-Çakmak, 2007; Demirer, 2009; Akbulut, 2014; Ersoy, 2014). Bu yük türleri aşağıda detaylı bir şekilde anlatılmıştır.

Asıl Bilişsel Yük, öğrenilmesi gereken materyalin ve anlaşılması gereken bilginin doğal karmaşıklığı ile ilişkilidir (Sweller, 2010, s.124). Asıl yük zihinsel talepler ya da görevin zihinsel karmaşıklığı tarafından belirlenir (Chandler ve Sweller, 1996, s. 153). İçeriğin öğrenilmesinin öğrenenler tarafından ne derece zor bulunduğu, çalışan belleğe empoze edilen asıl yükü belirlemektedir. Asıl yükü tanımlamada araştırmacılar dikkatleri öge etkileşimine çekmektedirler (Ayres, 2006a; Sweller ve Chandler, 1994). Bir öge, öğrenilmeye ihtiyaç duyulan ya da öğrenilmekte olan herhangi bir şeydir (Sweller, 2010, s.124).

Öğrenme sürecini iki durum etkiler, bunlar: (1) Öge etkileşimi düşük, izole çok sayıda öge ile aynı zamanda başa çıkma ve (2) öge etkileşimi yüksek az sayıda ögeyi çalışan bellekte işleme şeklindedir. Örneğin, İngilizce öğrenmeye yeni adım atmış bir kişinin, İngilizce bir kelimenin anadilindeki karşılığını öğrenmeye çalışması, çalışan belleğinde işlemesi gereken bir öge anlamına gelmektedir. İngilizce kelime hazinesini geliştirmek isteyen bir kişi birçok kelimeyi öğrenmek zorundadır, bu da izolasyon halinde birçok öge anlamına gelmektedir. Oysa okunulan İngilizce bir cümleyi anlamak ya da kurallı İngilizce bir cümle oluşturabilmek için İngilizce kelimelerin anadildeki karşılıklarını bilmek ya da anadildeki bir kelimenin İngilizce karşılığını bilmek yeterli olmamaktadır. Bunun için İngiliz dilinin semantiğini ve gramer yapısını bilmek gerekmektedir. Çünkü bu tür bir görevde ögeler etkileşim halindedir. Düşük öge etkileşimine sahip materyallerin işlenmesi için çok sayıda yetinin işe koşulması söz konusu değilken, yüksek öge etkileşimine sahip materyallerin bilişsel olarak işlenebilmesi için birden çok yetinin (örneğin, karşılaştırma, çözümleme gibi) işe koşulması gerekmektedir (Akbulut, 2014, s.44).

Öğretim tasarlanırken öğrenenlerin asıl bilişsel yükünü azaltmak için takip edilebilecek çeşitli stratejiler vardır. Ayres bunları şu şekilde açıklamaktadır (2006a): (1) Ön bilgilere yer verme (Mayer ve Moreno, 2003), (2) görevleri basitten karmaşığa doğru sıralama, (3) görevleri parçalar halinde sunma (Van Merrienboer, Clark ve De Croock, 2002), (4) karmaşık öğrenme ortamları için parçalı görev yaklaşımının faydalı olmayacağı düşünüldüğü zamanlar, bütüncül görevleri önce basit formatta, sonra daha karmaşık formatta sunma (Gerjets, Scheiter ve Catrambone, 2004), (5) çözüm prosedürlerini daha küçük anlamlı birimlere bölme ve (6) ögeleri önce izole halde sunarak kısmi şema edinimini sağladıktan sonra, öğrenenleri entegre ögelerle tanıştırma (Pollock, Chandler ve Sweller, 2002) (s.288).

Konu Dışı Yük, materyallerin biçimsel ya da içerik olarak öğrenmeye uygun olmayacak biçimde tasarlanmasının sonucunda meydana gelmektedir. Yüksek öge etkileşimine sahip materyaller, uygun olmayan öğretim formatında sunulduğu zaman öğrenenlere yüksek konu dışı yük empoze etmektedirler, aşırı çalışan bellek yüküne neden olan öğrenme görevlerinin düşük performansla sonuçlanması ise muhtemel bir durumdur (Hasler, Kersten ve Sweller, 2007, s.716).

Çalışan belleğe empoze edilen konu dışı yük, öğrenme materyallerinin biçimsel tasarımından etkilenmektedir. Konu dışı yükün hangi durumlarda arttığı ve bu yükü azaltmada etkili olabilecek stratejiler şu şekilde sıralanabilir: (1) İşitsel ya da görsel kanalın sadece birine yoğunlaşmış bir öğretim materyali öğrenme sürecinde bir engel oluşturabilmektedir. Örneğin, bir resmin yanına yazılı bir metin yerleştirmek bilişsel yükü artırmaktadır, çünkü hem resim hem yazılı metin görsel kanal yoluyla işlenmektedir. Oysa resme bir anlatının eşlik etmesi, görsel ve işitsel kanalın her ikisinin de kullanımını sağlayarak, bilişsel yükün azaltılmasında etkili olmaktadır. (2) Öğrenilmesi gereken bilginin alana ya da zamana yayılarak sunulması, dikkatin bölünmesine neden olarak, çalışan bellek yükünü artırmaktadır. Örneğin, bir geometri problemi genellikle geometrik bir şekil ve onunla ilişkili yazılı ifadeleri içermektedir. Problemin anlaşılabilmesi için geometrik şeklin ve onunla ilgili ifadelerin zihinde bütünleştirilmesi gerekmektedir. Problemin sunulma biçiminden dolayı çalışan belleğe empoze edilen yük artmaktadır. Geometrik şekil ile yazılı ifadeleri fiziksel olarak bütünleştirerek öğrenenlere sunma, problem ile ilgili bilgilerin zihinde bütünleştirilmesi ihtiyacını ortadan kaldırmaktadır. (3) Kalyuga, Chandler ve Sweller'a (1999, s.352) göre, eğer bireysel bilgi kaynakları öğrenenlere yetiyorsa, gereksiz bilginin önemli bilgilerle bütünleştirilmesi öğrenme sürecini engelleyen bilişsel yük empoze eder, bu nedenle gereksiz bilgi kaynaklarının elimine edilmesi, öğrenme için faydalı olacaktır. Farklı formatta yinelenen bilgiler (örneğin, bir PowerPoint sunumunda hem metnin kelimelerini hem de konuşmayı sunma) ya da dikkat dağıtıcı unsurlar (PowerPoint sesleri ve görsel efektler) (Fraser, Ayres, ve Sweller, 2015, s.301) öğrenme aktivitelerini olumsuz yönde etkilemektedir, bu nedenle öğretim materyallerinin tasarımında bu etkiler göz önünde bulundurulmalıdır. (4) Akbulut'a göre (2014, s.47), bir problemle ilk kez karşılan öğrenciler, onu çözmek için önce rastlantısal yollara (deneme-yanılma yöntemi) başvurmakta, sonra en etkili sonucu üreten deneme girişimleri üzerine odaklanmaktadırlar, çünkü, problemin çözümü ile ilgili ipuçlarına ya da ön bilgiye sahip

değillerdir. Problemi çözmek için yapılan girişimler kısa süreli bellekte yer işgal etmekte, çözüme etkin ve kısa sürede ulaşmalarına engel olmaktadır. Akbulut, problemin ideal çözüm yolunun örgütlenerek öğrencilere sunulmasının, öğrencilerin alternatif yollar arayarak yorulabilecek kısa süreli belleklerinin yükünü azaltacağını belirtmektedir. Qiao ve diğerlerine (2014) göre, çözülmüş örnekler acemiler için iyi bir yöntem olabilir. Taklit, en düşük bilişsel yükle öğrenmenin iyi bir yoludur (s.5). (5) Çözülmüş örneklerden özerk olarak problem çözmeye geçişte, bir problemin tüm çözüm adımlarının öğrenenlere sunulması gerekli olmayabilir. Böylesi bir durumda, öğrenenlere problemin belirli çözüm adımları sunulur. Onlardan bu adımları inceledikten sonra kalan adımları bağımsız bir şekilde tamamlamaları istenir. Tamamlama görevleri şemaların edinimi için önemli olan problem yönlerine öğrenenlerin dikkatlerini çekmek için kullanılabilmektedirler ve hazırlanan problem çözümünün genişliği bilişsel yükün miktarını belirlemektedir (Paas ve Van Merrienboer, 1994, s.366). (6) Öğrenenlerin nihai bir hedefe odaklanmak zorunda oldukları geleneksel problemler (örneğin, geometrik bir problemde öğrencilerden ABC açısının ölçüsünü bulmaları isteme gibi spesifik bir hedefe yönlendiren problemler), bilhassa kendilerine sunulan problem türlerinde acemi olanların çalışan bellek yüklerini artırmaktadır. Sweller, Ayres, ve Kalyuga'a (2011, 89-90) göre, problem çözücüler, problemi çözmek için eş zamanlı olarak problemin verilenlerini, hedefi, verilenler ve hedef arasındaki farkları ve bu farklılıkları azaltabilecek problem çözme işlemlerini hesaba katmak zorundadırlar. Bu ögelerin hepsi etkileşime girerek, çok yüksek düzeyde öge etkileşimine neden olmaktadır. Eğer problem çözme öğretiminin amacı problem durumlarını tanımayı ve her bir durumla ilgili en iyi hamleyi öğrenmeyi sağlamaksa, öğrenmeye ket vuran yüksek öge etkileşiminin yarattığı konu dışı yük azaltılmalıdır. Bu ise problem, nihai bir hedefi olmayan bir problemle değiştirilerek başarılabilir, örneğin, öğrencileri belirli bir açının ölçüsünü bulma gibi spesifik bir hedefe yönlendirmek yerine, mümkün olduğunca çok açının değerini hesaplama gibi daha genel bir hedefe yönlendirilme ile başarılabilir.

Etkili Yük, öğrenme için gereklidir. Clark, Nguyen ve Sweller (2006) etkili yükü şu şekilde tanımlamaktadır: 'Öğretimin iki amacı vardır. Birinci amacı, öğrencilerin yeni şemalar oluşturmalarına yardımcı olmaktır. İkinci amacı ise, yeni şemaları etkin ve verimli bir şekilde kullanmalarını, başka bir deyişle, yeni şemalarda otomatikleşmelerini sağlamaktır. Bu faaliyetlerin her ikiside çalışan belleğe yük empoze ederler, bu etkili yük olarak adlandırılabilir' (s.218). Clark ve diğerlerine göre, herhangi bir alanda bir uzman

ve acemi arasındaki fark, uzmanların daha iyi organize olmuş ve daha çok sayıda şemalara sahip olmalarıdır. Öğrenci yeni bir şema inşa ettiğinde, başlangıçta onu kullanırken oldukça çok zihinsel çaba sarf etmektedir (Clark, Nguyen ve Sweller, 2006, s.218). Fakat öğrenilen bilgi ve becerilerde otomatikleştikçe, şemalar fazla çaba sarf edilmeksizin kullanılabilir hale gelmektedir.

Öğretim tasarımı, öğrencileri şemaların inşası ve otomatikleşme için teşvik etmeli ve yönlendirmelidir, bu yolla etkili yük artırılır (De Jong, 2010, s.109). Öğrenme sürecinde bazı stratejiler yardımı ile öğrenenlerin etkili yükleri artırılarak, şema edinimleri ve bu şemaları otomatik olarak kullanımları artırılabilir: (1) Öğrenenlere çözülmüş örnekler sağlama ya da onlara tamamlama görevleri sunma, öğrenmeyi sağlamada tek başına yeterli olmaz, çünkü öğrenenler bu tür görevleri derinlemesine incelememekte, bu görevlerin altında yatan ilkelere fazla önem vermemektedirler (Clark, Nguyen ve Sweller, 2006, s.226-227). Bu nedenle, öğrenmeye teşvik etmek için öğrenenler etkili bireysel açıklamalar yapmaları için teşvik edilmelidirler (Chi vd., 1989; Chi vd., 1994; Clark, Nguyen ve Sweller, 2006). Öğrenenlerden bireysel açıklamalarını yüksek sesle yapmaları istenirse, bu açıklamaları çeşitli açılardan analiz etmek mümkün olabilir. Çünkü, öğrenenlerin bireysel açıklamaları sığ olabileceği gibi, kendilerine sunulan görevin altında yatan kavramları anladığını gösterecek şekilde derin de olabilir. Kapsamlı (ilişkili) öğrenenler kendilerine sunulan görev ile ön bilgi ve birikimleri arasında bağlantı kurarak çıkarımlarda bulunurlar. Aksine yüzeysel (ilişkisiz) öğrenenler açıklamalarında görev içinde yer alan kelimeleri yineleme yoluna gitmektedirler. Ayrıca bireysel açıklamalarla onların kavram yanılgıları ve hataları belirgin hale gelmektedir. (2) Öğrenenlerin etkili yüklerini artırmak için öğretim tasarımcıları tarafından zihinde canlandırma stratejisi kullanılabilir. Zihninde canlandırma stratejisinde, öğrenen öğretim materyalini okuduktan sonra, gözlerini kapatmakta ya da başka tarafa çevirmekte ve ilgili prosedürü zihninde canlandırmaktadır (Leahy ve Sweller, 2004, 857). BYT'ye göre öğrenenler bilgiyi zihinlerinde canlandırdıkları zaman, onların çalışan bellekleri, uzun dönemli bellekleri içinde şemaların inşasına ve otomatikleşmesine yardımcı olan ilgi şemaları işlemek için harekete geçmektedir (Leahy ve Sweller, 2008, s.275).

1.4.4. Bilişsel yükün ölçülmesi

Bilişsel yükün ne tür faktörler göz önünde bulundurularak, nasıl ölçülebileceği farklı araştırmacılar tarafından farklı şekillerde ele alınmıştır. Bilişsel yük Paas ve Van

Merrienboer'e (1994, s.354-355) göre, zihinsel yük (mental load), zihinsel çaba (mental effort) ve performansın (performance) ölçülmesi yoluyla değerlendirilebilir. Paas ve diğerleri (2003, s.66), bilişsel yükün analitik ve deneysel metotlar kullanılarak ölçülebileceğini belirtmektedirler. Analitik metotlar zihinsel yükü tahmin etmeye, deneysel metotlar zihinsel çaba ve performansı tahmin etmeye yöneliktir. Analitik metotta, analitik (örneğin, görev analizleri) ve öznel (örneğin, uzman görüşü) veri toplama teknikleri kullanılabilirken, deneysel metotta öznel (örneğin, derecelendirme ölçekleri), performansa dayalı (örneğin, birincil ve ikincil görev) ve psiko-fizyolojik (örneğin, kalp atışı) veri toplama teknikleri kullanılabilmektedir.

Zheng (2008, s.39-43), bilişsel yükü değerlendirmeyi, bilişsel yükü ölçmede kullanılan teknikler açısından birbirinden ayrıştırmıştır. Bunlar, analitik metotlar (üretim sistemleri, uzman görüşü, görev analizi, matematiksel modeller/bilgisayarlı simülasyonlar), derecelendirme ölçekleri (görevin algılanan zorluğu ve görevi yapmak için harcanan çabanın derecelendirilmesi), görev-performansa dayalı görevler (birincil ve ikincil görevler), fizyolojik teknikler (kalp atış hızı, beyin aktiviteleri) ve göz izleme tekniği kullanılarak yapılan ölçümler şeklindedir. Zheng'e göre bu tekniklerden ilk ikisi öznel değerlendirme sağlarken, diğerleri nesnel değerlendirme sağlamaktadır.

Sweller, Ayres ve Kalyuga (2011, s.71-81), bilişsel yükün dolaylı (bilişimsel modeller, kazanım sırasındaki performans, problemler arasındaki hata profilleri), öznel (zihinsel çaba ve zorluk), ikincil bir görev yoluyla ve fizyolojik (kalp hızı, fonksiyonel manyetik rezonans görüntüleme, beynin elektriksel etkinliği, göz takibi ve dil kullanımı) ölçümlerle değerlendirilebileceğini belirtmektedir.

Bilişsel yükün performansa dayalı, öznel ve fizyolojik teknikler yoluyla nasıl değerlendirildiği takip eden alt başlıklarda sunulmuştur.

1.4.4.1. *Performansa dayalı teknikler*

Bilişsel yükün ölçülmesinde öğrenme çıktıları, görevin karmaşıklığı, hata oranları ve görevi yapmaya harcanan zaman şeklinde performasa dayalı teknikler kullanılabilmektedir.

Öğrenme çıktıları: Boyd ve Vitzelio'a (tarihsiz, s.4) göre, öğrenme çıktısı, bir öğrencinin bir kurs ya da programı tamamladıktan sonra ne öğrendiğini göstermektedir. Öğrenme çıktıları, öğrencilerin bir öğrenme sürecinin sonunda erişmesi gereken değerlendirilebilir ve ölçülebilir bilgi, beceri, yetenek ve tutumlarını tanımlamaktadır.

Mayer'e (2010, s. 546) göre, öğrenme çıktıları akılda tutma (retention) ve transfer testleri ile ölçülebilmektedir. Akılda tutma testleri, öğrenenin sunulan materyali ne kadar iyi hatırladığını ölçmede kullanılırken, transfer testleri öğrenenin öğrendiklerini yeni durumlara ne kadar iyi uygulayabildiğini ölçmede kullanılmaktadır. Akılda tutma ve transfer testlerindeki performans örüntüleri, öğrenme çıktılarının niteliğine işaret etmektedir.

Görevin karmaşıklığı: Asıl yük, işlenmesi gereken bilginin doğal karmaşıklığına bağlıdır (Sweller, 2005, s. 27). Karmaşıklığın seviyesini, bilgiyi oluşturan etkileşimli öge miktarı belirlemektedir. Sweller ve Chandler'a (1994, s.188) göre, öğrenilecek materyalin bilişsel yükü materyaldeki etkileşim halinde bulunan ögelerin genişliği ile bağlantılıdır. Verilen herhangi bir bilgide etkileşim halinde bulunan ögelerin genişliği, belirli bir prosedürü öğrenmek için eş zamanlı olarak hesaba katılması gereken ögelerin sayılması ile tahmin edilebilmektedir (Sweller ve Chandler, 1994, s.190).

Hata Oranları: Hatalar ya da kavram yanılgıları matematik öğrenme içinde gerekli olarak görülmektedirler (Ingram, Baldry ve Pitt, 2013, s.6). Hatalar, öğrenme zorluklarını teşhis etmede güçlü bir araçtır (Borasi, 1987, s.2). Hatalar öğrencilerin maruz kaldığı bilişsel yükün göstergeleri olarak kullanılabilmektedirler. Sweller, Ayres ve Kalyuga (2011, s.72), problemlerin bilişsel yüklerindeki farklılıkları belirlemede hata oranlarının kullanılabileceğini ifade etmektedir. Sweller (1988) ile Ayres ve Sweller (1990), öğrencilerin geometri alanı içinde problem çözerken, yüksek çalışan bellek yükünden dolayı belirli noktalarda sık sık hata yaptıklarını belirlemişlerdir. Ayres'e göre (2001, s.229), problem çözme sürecinde, bilişsel yükün yüksek olduğu yerlerde, daha fazla hata yapılmaktadır.

Görevi Yapmak İçin Harcanan Zaman: Bütün bilişsel süreçler zaman almaktadır, bir çözüme ulaşmak için ihtiyaç duyulan zamanın miktarı, görevin karmaşıklığı, öğrenenin ön bilgisi, bilgiyi aramak için ihtiyaç duyulan zaman ve benzeri faktörlerden etkilenmektedir (Brünken, Seufert ve Pass, 2010, s.188). Benzer biçimde Chandler ve Sweller'a göre (1991, s.304), öğrenme materyalini çalışmak için gerekli zaman farklılıkları materyal tarafından empoze edilen bilişsel yük farklılıklarına işaret etmektedir. Artan bilişsel yük hem öğrenme zamanı hem öğrenci kazanımları üzerinde negatif etkiye sahiptir (Sweller, Ayres ve Kalyuga, 2011, s.72).

1.4.4.2. *Öznel teknikler*

Bireylerin, bir görevin gereklerini yerine getirirken kendi bilişsel yüklerinin miktarı hakkında muhakemede bulunabilecekleri yaklaşımına dayalı olarak öznel derecelendirme ölçekleri geliştirilmiştir. Öznel bilişsel yük derecelendirme ölçekleri, eğitim araştırmaları içinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Schmeck vd., 2015, s.93). Derecelendirme ölçeği tekniği, katılımcıların bir görevi yerine getirmede ne derece zorlandıkları ya da ne kadar çaba sarf ettiklerini iç gözlem yoluyla belirleyebilecekleri varsayımına dayalı olarak geliştirilmiştir.

Algılanan Zorluk: Bratfisch, Borg ve Dornic (1972), çeşitli insan aktivitelerinin öznel zorluğuyla yani insanlar aktiviteleri yerine getirirken algıladıkları zorluklarla igilenmişlerdir. Nesnelden ziyade verilen herhangi bir aktivitenin algılanan zorluğunun öznel olarak değerlendirmesi bir kişinin aktivitelerle ilgili hisleri, tutumları, motivasyonu gibi durumlar açısından belirleyici olabilir (Bratfisch, Borg ve Dornic, 1972, s.1). Materyalin iç karmaşıklığı ya da sunulma formatı, öğrencilerin algılanan zorluk ile ilgili derecelendirme puanları üzerinde etkilidir. Bilişsel yükün değerlendirilmesine Brünken, Seufert ve Pass (2010, s.184), genellikle öğrenenlerden öğrenme görevlerini bitirdikten sonra başvurulduğuna vurgu yapmıştır. Görevin algılanan zorluk derecesini belirtmek için ölçekler kullanılmaktadır (Bratfisch, Borg ve Dornic, 1972; Kalyuga, Chandler ve Sweller, 1999; Marcus, Cooper ve Sweller, 1996; Schmeck vd., 2015). Öğrenenlerden bir görevin algılanan zorluk derecesini 7 ya da 9 puanlı Likert ölçeği ile değerlendirmeleri istenmektedir. Ölçeklerde, derecelendirme puanları ile soruların algılanan zorluk derecesine işaret eden ifadeler birbiri ile bağlantılıdır. Algılanan zorluk ‘çok çok basit (1)’ şeklindeki bir ifadeden ‘çok çok zor (9)’ şeklindeki bir ifadeye doğru aşamalı ve anlamsal olarak gelişmektedir.

Zihinsel Çaba: Öğrenenin bir görev üzerinde çalışırken ki bilişsel kapasitesine (Krell, 2015, s. 2) atıfta bulunmaktadır. Görevin algılanan zorluğunu ölçmek için Bratfisch, Borg, and Dornic (1972)’in geliştirdiği ölçeği, Paas (1992) öğrenenlerin bir görevi yapmak için harcadıkları çabayı ölçmek için uyarlamıştır. Bu ölçeğin geliştirilmesinin ardında, öğrenenlerin, öğrenme ve test sırasında kendi zihinsel çabalarının miktarını iç gözlem ve muhakeme yoluyla belirleyebildikleri düşüncesi vardır. Bilişsel yük ölçümünün bu tipinde, öğrenenlerden kendilerine sunulan görevlerin ya da test sorularının her birini yapmak için ne kadar çaba sarf ettiklerini belirli sayı değerleri ile eşleştirmeleri istenmektedir. Öğrenenlerin zihinsel çabaları ile ilgili bilgi

edinebilmek için ‘çok çok az, …, çok çok fazla zihinsel çaba harcadım’ şeklinde aşamalı ve semantik olarak ayırıcı ölçekler kullanılmaktadır (Paas, 1992; Paas ve Van Merrienboer, 1993, Paas vd., 2003). Katılımcılar algıladıkları zihinsel çaba miktarını nümerik bir değere çevirerek, 9 dereceli simetrik kategorili bir ölçek üzerinde harcadıkları çabayı bildirmektedirler (Paas, 1992, s. 430).

1.4.4.3. *Fizyolojik teknikler*

Bilişsel yükün ölçülmesinde fizyolojik tekniklere başvurulması, öğrenenlerin bilişsel süreçleri ile fizyolojik tepkileri arasında bağlantı olduğu varsayımına dayanmaktadır. Belli başlı fizyolojik teknikler, kalp atış hızındaki değişimin incelenmesi (Paas ve Van Merrienboer, 1994; Luque-Casado vd., 2013), beyin aktivitelerinin incelenmesi (Anderson vd., 2011; Kumar ve Kumar, 2016) ve göz hareketlerinin izlenmesi (Duchowski, 2002; Hyona, 2010; Lin ve Lin, 2013) şeklindedir. Fizyolojik tekniklere dayalı bilişsel yük ölçümlerinde araştırmacılar, katılımcıların bir görevi yaparken ki bilişsel yük seviyelerini belirleyebilmek için belli başlı araçlarla nicel veriler toplamaya çalışmaktadırlar (Lin ve Lin, 2013, s.608). Kalp atış hızındaki değişimin belirlenmesinde ‘kalp atışı monitörü’, beyin dalgaları aktivitesinin elektriksek yöntemle izlenmesinde ‘Elektroensefalografi (EEG)’ ve göz hareketlerinin izlenmesinde ‘göz izleme gözlükleri’ kullanılmaktadır.

Bu çalışma kapsamında bilişsel yükü ölçmede performansa dayalı ve öznel tekniklerden yararlanılmıştır. Onlardan nasıl yararlanıldığına Yöntem bölümünde yer verilmiştir.

Öğrenme materyalleri bireylerin çalışan belleklerinde bilişsel yük yaratır. Öğrenmenin oluşabilmesi için bireylerin bu yükle başedebilmeleri gerekir. Öğrenme için çalışan belleğin verimli bir şekilde nasıl kullanılabileceğine, bir sonraki başlıkta yer verilmiştir.

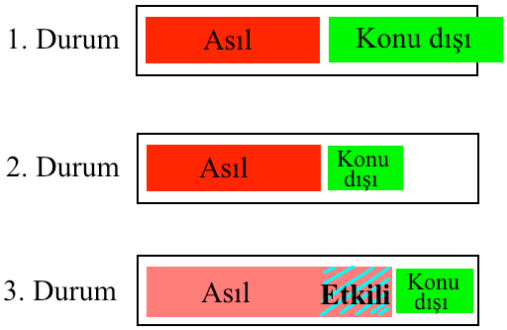
1.4.5. Bilişsel yük teorisine dayalı öğretim tasarımı

Öğrencilerin nasıl öğrendiklerini ve problem çözdüklerini bilmeden, onların öğrenme ortamını nasıl organize edeceğimizi bilemeyiz. Etkili öğrenme için, öğretim koşulları öğrenenlerin bilişsel mimarisi ile aynı hizaya getirilmelidir (Khalil ve Elkhider, 2016; Sweller, 1988; Sweller, Van Merrienboer ve Paas, 1998; Van Merrienboer ve Sweller, 2005). Bilişsel yük teorisi, insanın bilişsel mimarisi hakkındaki varsayımlara

dayalı olarak öğrenme ve öğretimin tasarlanması için gerekli prensipler üzerine odaklanmaktadır (Elliott vd., 2009; Sweller, 2004; Van Merrienboer ve Ayres, 2005).

Öğrenme materyalinin işlenmesi sırasında, çalışan belleğe üç farklı bilişsel yük empoze edilmektedir. Bunlar asıl, konu dışı ve etkili bilişsel yüktür. Çalışan bellek asıl, konu dışı ve etkili bilişsel yükü işlemede merkezi ve yönetici bir role sahiptir. Bu üç farklı yükün toplam miktarı çalışan belleğin kapasitesini aşmazsa öğrenme meydana gelmekte, aşarsa öğrenme söz konusu olmamaktadır. Bilişsel yüke dayalı birçok öğretim tasarımı asıl yükü yönetmeyi, konu dışı yükü azaltmayı ve etkili bilişsel yükü teşvik etmeyi önermektedir (Khalil ve Elkhider, 2016; Leppink ve van den Heuvel, 2015; Van Merrienboer ve Sweller, 2010; Young vd., 2014).

Bilişsel yük teorisinin altındaki temel varsayım asıl ve konu dışı yükün toplamsal olmasıdır (Van Merrienboer ve Sweller, 2010, s.88). Teoriye göre çalışan belleğe asıl yük ve konu dışı yük empoze edildiği zaman, öğrenmenin gerçekleşebilmesi için, çalışan bellekte etkili yükün empoze edilebileceği yeterli alanın bulunması gerekmektedir. Van Merrienboer ve Sweller (2010, s.88) kompleks görevlerin neden olabileceği üç durumu temsil etmek için Şekil 1.8'i oluşturmuştur.



Şekil 1.8. *Asıl ve Konu Dışı Yükün Toplamsal Doğası (1. Durum: Aşırı Yükleme, 2. Durum: Konu Dışı Yükü Azaltarak Aşırı Yüklemeyi Engelleme ve 3. Durum: Asıl Yükün Yayıldığı Alanı Artırarak Etkili Yükü En İyi Şekilde Kullanma)*

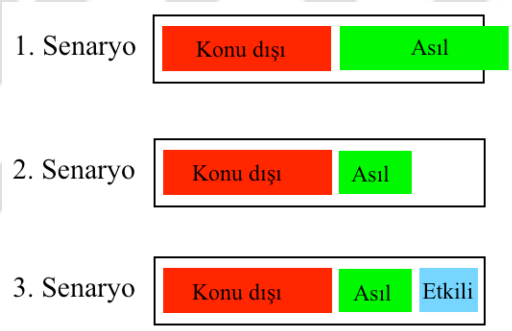
Kaynak: *Van Merrienboer ve Sweller, 2010, s. 88.*

Şekil 1.8'de yer alan birinci durumda, asıl ve konu dışı yüklerin toplamının çalışan belleğin kapasitesini aşması ve aşırı yük oluşturması anlatılmaya çalışılmıştır. Şekil 1.8'de yer alan ikinci durumda konu dışı yük azaltılarak çalışan belleğin aşırı yüklenmesi önlenmiştir. Şekil 1.8'de yer alan üçüncü durumda, konu dışı yükün yeterince azaltılması sonucunda daha fazla çalışan bellek kaynağının asıl bilişsel yüke tahsis edilmesi söz

konusudur. Öyle ki çalışan bellekte asıl bilişsel yüke tahsis edilen alan artırılarak, etkili bilişsel yükün daha kolay uyarılması sağlanmıştır, böylece öğrenme gerçekleşmiştir.

Karmaşık bir öğrenme materyali görevin gereklerini yerine getirmek için gerekli bilgi, beceri ve deneyime sahip olmayan acemi öğrenenlerin çalışan belleklerinde oluşturduğu asıl yük miktarının oldukça yüksek olması beklenir. Oysa aynı öğrenme materyali uzmanların çalışan belleklerine daha az asıl yük empoze edilmesine neden olacaktır, çünkü onlar görevin gereklerini yerine getirmelerine yardımcı olacak şemalara sahiptirler.

Bir öğrenme materyali acemi ve uzman bir öğrenenin çalışan belleğinde aynı miktarda konu dışı yük yaratabilir. Young ve diğerleri (2014, s.375), konu dışı yükün miktarının aynı olduğu öğrenme deneyimi ile ilgili üç senaryoyu ortaya koymaktadır (Bkz. Şekil 1.9).



Şekil 1.9. *Aynı Miktarda Konu Dışı Yük Empoze Eden Materyale Acemi ve Uzman Çalışan Belleğinin Tepkisi*

Kaynak: *Young vd., 2014, s.375.*

Şekil 1.9'da yer alan birinci senaryo, acemi bir öğrenenin durumunu yansıtmaktadır. Öğrenme materyali karmaşıktır ve öğrenenin görevin gereklerini yerine getirebilmesi için daha fazla çaba sarf etmesi gerekmektedir. Acemi öğrenen için görevin neden olduğu asıl yük de oldukça fazladır. Başka bir deyişle acemi öğrenenin çalışan belleği konu dışı ve asıl yük tarafından boğulmuş durumdadır, bu durum ise onun çalışan belleğinde öğrenme için yer kalmamasına neden olmaktadır. Şekil 1.9'daki ikinci senaryo, aynı konu dışı yüke sahip uzman bir öğrenenin durumunu ortaya koymaktadır. İkinci senaryoda yer alan uzman öğrenen, öğrenme materyalinin yarattığı konu dışı yükle baş edebilmesini sağlayacak şemaları uzun süreli belleği içinde muhafaza edebilmektedir. Uzman öğrenen için görevin gereklerini yerine getirmek zor değildir, çünkü o görevi

karmaşık olarak algılamamaktadır. Yani uzman çok az konsantrasyonla görevi yapabilecek kapasiteye sahiptir. Öğrenme materyali uzman kişiye daha az bilişsel yük empoze etmektedir. Fakat, ikici senaryoda yer alan uzman kişinin öğrenmeye niyeti yoktur. Şekil 1.9'daki üçüncü senaryonun, ikinci senaryodan tek farkı uzman öğrenenin çalışan belleğindeki kullanılmayan çalışan bellek alanını öğrenme için tahsis etmesidir.

Bu çalışma kapsamında ortaokul matematik öğretmen adaylarının uzamsal görselleştirme zorluklarının belirlenmesinde, bu zorlukların giderilmesine ve öğretmen adaylarının uzamsal becerilerinin geliştirilmesine yönelik dinamik geometri öğrenme ortamının tasarlanmasında bilişsel yük teorik çerçevesi esas alınmıştır. Uzamsal görevlerin bireylerde bilişsel yük yaratıp, yaratmayacağının belirlenmesi öğretimin tasarlanmasında yol göstermektedir. Eğer, uzamsal görevler öğrenenler üzerinde bilişel yük yaratıyorsa, bunun miktarının ve nedenlerinin belirlenmesi, buna bağlı olarak öğrenen seviyelerine göre bir öğretimin tasarlanması gereklidir. Bu neyin öğretileceği, içeriğin hangi sırada sunulacağı, öğretim materyallerinin nasıl tasarlanacağı, ne tür etkinliklere yer verileceği, yönlendirme yapılıp yapılmayacağı ve öğrenenlere ne tür yönergeler sunulacağı ve bunlara benzer birçok değişken hakkında karar vermeyi içermektedir. BYT'ye dayalı bir öğretim planlanıp, yürütüldükten sonra, öğrenenlere etkisinin tekrar test edilmesi, hem öğretimin eksik ya da faydalı yönlerini tespit etme hem de görevlerin öğrenenler üzerinde hala bilişsel yük yaratıp yaratmadığını, eğer bilişsel yük yaratıyorsa derecesinin ve nedenlerinin belirlenmesi açısından önemlidir.

1.5. Araştırmanın Amacı

Bu çalışmanın amacı: Bilişsel Yük Teorisine dayalı olarak tasarlanan dinamik geometri öğrenme ortamının, ortaokul matematik öğretmen adaylarının uzamsal görselleştirme becerilerinin gelişimine etkisini incelemektir. Bu amaç doğrultusunda aşağıda yer alan iki araştırma problemine ve onlarla ilgili alt problemlere cevap aranmıştır:

(1) Ortaokul matematik öğretmen adayları bilişsel yük miktarları farklı uzamsal görselleştirme görevlerinde (yüzey açma-kapama, döndürme ve yönelim) ne tür zorluklar yaşamaktadırlar?

•Uzamsal görevlerde, öğretmen adayları ne tür hataları ne oranda yapmaktadırlar? Bu hata oranlarına görevlerin bilişsel yük miktarları nasıl etki etmektedir?

•Uzamsal görevlerin, öğretmen adayları tarafından algılanan zorluğunu ne tür unsurlar etkilemektedir?

(2) Bilişsel Yük Teorisine dayalı olarak hazırlanan dinamik geometri öğrenme ortamının ortaokul matematik öğretmen adaylarının uzamsal görselleştirmenin yüzey açma-kapama, döndürme ve yönelim görevlerinde yaşadıkları zorlukların giderilmesine etkisi nasıldır?

•BYT'ye göre tasarlanan dinamik geometri öğrenme ortamının öğretmen adaylarının uzamsal görselleştirme hata oranlarının değişmesine etkisi nasıldır?

•BYT'ye göre tasarlanan dinamik geometri öğrenme ortamının uzamsal görevlerin öğretmen adayları tarafından algılanan zorluğuna, etkisi nasıldır?

1.6. Araştırmanın Önemi ve Gereksinim

Öğretmen adaylarının yetiştirilmesinde öğretmen yetiştirme programları adaylarda iki yönü geliştirmeyi amaçlamaktadırlar (Hiebert, Morris ve Glass, 2003, s. 203-204). Bunlardan ilki adayların matematiksel olarak yeterli olmaları, diğeri öğrencilere matematiği öğretebilmeye hazır olmalarıdır. Öğretme ve öğrenmede ilerleme için öğretmenlerin sahip olduğu 'içerik bilgisi (content knowledge)' son derece önemlidir (Ball, Hoover ve Phelps, 2008, s. 404). Öğretmenlerin sahip olduğu geometri içerik bilgisinin öğrencilerin geometri öğrenmelerine katkı sağlayacağını düşünmek doğaldır. Eğer matematik öğretmenleri geometriyi öğrencilerine iyi bir şekilde öğreteceklerse, okul matematiği için uygun, derin bir geometri anlayışına sahip olmaları gerekmektedir (Jones, 2000, s.112). Matematik öğretmenlerinin geometri konuları ile ilgili sahip oldukları içerik bilgileri ne kadar az olursa öğrencilerine geometriyi öğretmede o kadar az başarılı olacaklardır. Butterfied ve Chinnappan (2010, s.109) bunu, 'matematik öğretme, matematik öğretmenlerinin niteliğine bağlıdır' şeklinde özetlemektedirler. Öğretmen bilgisi ve öğrenci başarısı birbiri ile bağlantılıdır (örneğin, Ball, Hill ve Bass, 2005; Begle, 1972, 1979; Eisenberg, 1977). Öğretmenlerin matematik içerik bilgisi ve onların sınıflarda iyi bir şekilde öğretebilme yetenekleri arasında ilişki üzerine deliller mevcuttur (örneğin, Ball, Hill ve Bass, 2005; Chapman, 2005; Hine, 2015). Matematik öğretiminin niteliği şüphesiz öğretmenlerin içerik bilgisine bağlıdır (örneğin, Ball, Hill ve Bass, 2005). Fakat çeşitli araştırmalar matematik öğretmen adaylarının geometri alanındaki bazı konularda kavram yanılgılarına sahip olduklarını ve geometri alanında gerekli yeterliliğe sahip olmadıklarını göstermektedir (örneğin, Mason ve Schell, 1988;

Gutierrez ve Jaime, 1999; Fujita ve Jones, 2007; Okazaki ve Fujita, 2007; Fujita, 2012; Marchis, 2012; Ozdemir-Erdogan ve Dur, 2014; Türnüklü, Akkaş ve Gündoğdu-Alaylı, 2013). Oysa bireylerin geometri performansları ile uzamsal yetenekleri arasında sıkı bir ilişki söz konusudur (örneğin, Battista, 1990; Bishop, 1983; Clements ve Battista, 1992; Kospentaris ve Spyrou, 2010; Panaoura, Gagatis ve Lemonides, tarihsiz; Reiss, 1999). Geometri, içerisinde uzamsal ilişkileri ve uzamsal muhakemeyi barındıran bir alandır. Geometri alanında mesleki ve pedagojik olarak yeterli öğretmenlerin yetişebilmesi için adayların geometrik kavram bilgilerinin yanı sıra uzamsal yeteneklerinin de gelişmiş olması beklenmektedir. Fakat çeşitli çalışmalar matematik öğretmen adaylarının uzamsal yeteneklerinin de yeterli düzeyde olmadığına işaret etmektedir (örneğin, Güven ve Kosa, 2008; Turgut ve Yılmaz, 2012). Her ne kadar çeşitli araştırmalar matematik öğretmen adaylarının uzamsal yeteneklerinin yeterli seviyede olmadığına yönelik deliller sunsa da, eğitim yoluyla uzamsal becerilerin kazanılabileceği ya da uzamsal yeteneklerin geliştirilebileceği ile ilgili bir çok çalışma literatürde yer almaktadır (örneğin, Contero vd., 2006; Ferguson vd., 2008; Martin-Dorta, Saorin ve Contero, 2008; Metz, Donohue ve Moore, 2012; Onyancha, Derov ve Kinsey, 2009; Onyancha, Towle ve Kinsey, 2007).

'Uzamsal yetenek eğitim yoluyla geliştirilebilir' vurgusunu yapan araştırmaların çoğu dikkatleri somut manipülatifler kullanma (örneğin, Bakker, 2008; Maiorana; 2014; Olkun ve Sinoplu, 2008; Risma, Putri ve Hartono, 2013), dinamik geometri yazılımlarından yararlanma (örneğin, Güven ve Kosa, 2008; Samsudin, Rafi ve Hanif, 2011; Parmak, 2016), somut manüpülatiflere ve dinamik geometri yazılımlarına birlikte başvurma (örneğin, Baki, Kosa ve Güven, 2011; Koch ve Sanders, 2011; Yurt ve Sünbül, 2012; Erkoç, Gecü ve Erkoç, 2013; Yaman ve Şahin, 2014; Yolcu ve Kurtuluş, 2010; Youssef ve Berry, 2012), sayfa üzerine ya da elektronik ortamda (teknik çizim ve mühendislik çizimi gibi) çizimler yapma (örneğin, Adanez ve Velasco, 2004; Fleisig, Robertson ve Spence, 2004; Mohler ve Miller, 2008; Rafi, Samsudin ve Ismail, 2006), manipülatif ve çizim etkinliklerine birlikte başvurma (örneğin, Karakuş ve Peker, 2015; Ferguson vd., 2008) ve bunlara benzer durumlar üzerine çekmektedir. Bu tür araştırmaların amacı uzamsal yeteneğin geliştirilmesinde manipülatiflerin, dinamik geometri yazılımlarının, çizimlerin ya da bunlardan birkaçını birlikte kullanmanın etkililiğini test etmek ya da birbiri ile karşılaştırmak olduğu için, çalışmaların çoğunda katılımcılar uzamsal yetenekleri zayıf ya da gelişmiş olarak etiketlendirilirken, sadece çeşitli uzamsal yetenek testlerine ait puanları dikkate alınmıştır (örneğin, Adanez ve

Velasco, 2004; Fleisig, Robertson ve Spence, 2004; Güven ve Kosa, 2008; Akayuure, Asiedu-Addo ve Alebna, 2016; Uygan ve Kurtuluş, 2016). Çok az çalışmada uzamsal yeteneğin çeşitli bileşenleri (örneğin, yönelim) ile ilgili görevler (örneğin, bir yapının farklı yönlerden görünüşü) boyunca katılımcıların uzamsal zorlukları nitel olarak ele alınmıştır (örneğin, Risma, Putri ve Hartono, 2013; Parmak, 2016). Halbuki öğrenen zorluklarını ve hatalarını tespit etme, etkili bir öğretim için yol göstericidir. Öğrenci hatalarını analiz etmek, hatalı problem çözme sürecini gösterebilir ve matematiksel problemlere yönelik anlayış ve tutumlar hakkında bilgi verir (Radatz, 1980, s.16). Bu nedenle bu çalışmada katılımcıların uzamsal yeteneklerini değerlendirebilmek için, Purdue uzamsal görselleştirme testinin yanısıra, testin her bir bölümü (açınım, döndürme ve yönelim) ile ilgili bilişsel yük miktarı farklı açık uçlu uzamsal görevler hazırlanmış, bu görevlerle katılımcı zorluklarının altında yatan nedenlerin belirgin hale getirilmesi hedeflenmiştir.

Materyal, teknoloji ve çizime dayalı yukarıda bahsi geçen araştırmaların, öğrenenlerin uzamsal yeteneklerini geliştirmede takip ettikleri öğretim programlarının birbirinden farklı olabildiği gözlenmiştir. Uzamsal yetenekleri geliştirmek için tasarlanan öğretim programları temel geometri konularına, uzamsal yeteneğin bileşenlerini değerlendirmede kullanılan bir ya da birkaç görev türüne ya da mühendislik çizimi (ya da teknik çizim) ders içeriklerine başvurabilmektedir. Örneğin, Karakuş ve Peker (2015), çalışmalarında, uzayda nokta, doğru ve düzlemlerin birbiri ile ilişkileri, bir üçgenin açı ortayı, ağırlık merkezi ve yüksekliği ve bunlara benzer konuları içeren bir öğretim içeriğini takip etmişlerdir. Yurt ve Sünbül (2012), katılımcıların farklı yönlerden iki boyutlu temsilleri verilen 3B'li modelleri sanal ortam ve somut manipülatifler kullanarak inşa etmelerini gerektiren etkinliklere dayalı bir öğretim tasarımı uygulamışlardır. Adanez ve Velasco ise (2004), teknik çizim derslerinden önce ve sonra uzamsal yetenek testini uygulamışlar ve bu dersin uzamsal yeteneğin gelişmesine etkisini incelemişlerdir (Ders ortografik ve resimsel görünüşleri yorumlama ve yapma, nesnelerin kesitlerini ve detaylarını hayal etme ve bunlara benzer etkinlikleri içeriyordu). Bu araştırmalar doğrultusunda, takip edilen öğretim programlarından hangisi (ya da hangilerini takip etmek), uzamsal yeteneği geliştirmede (diğeri ya da) diğerlerinden daha avantajlıdır? sorusu akla gelmektedir. MEB ve NCTM gibi kuruluşlar ilkokul, ortaokul ve lise matematik dersi öğretim programlarının belirli standartlara sahip olması gerektiğini ön görmektedir. Bu öğretim programlarında herhangi bir geometri konusu için geometrik

kazanımlar yer almaktadır ve öğretimde, öğrenenlerin bu kazanımları edinmeleri amaçlanmaktadır. Uzamsal yeteneği geliştirmede tasarlanacak öğretim programları için de durumun benzer olması gerektiği düşünülmektedir. Uzamsal yetenek ve 3B'li geometri içindeki muhakeme türleri arasında bir ilişki söz konusudur (Pittalis ve Christou, 2010, s.207), uzamsal görevler de çeşitli geometrik yönlere sahiptir (örneğin, kâğıt katlama uzamsal görevi ile simetri kavramı birbiri ile bağlantılıdır). Bu nedenle uzamsal yeteneğin bileşenlerini değerlendirmede kullanılan görevlerin geometrik yönlerini ve bu yönlere dayalı geometrik kazanımları dikkate alan bir öğretim yaklaşımının, uzamsal yeteneği geliştirmede takip edilen diğer öğretim programları ile karşılaştırıldığında daha avantajlı olacağını düşünmek kaçınılmazdır. Bu doğrultuda bu çalışmada, uzamsal görevler ile onların geometrik yönleri arasında bağlantı kurularak bir öğretim programı tasarlanmıştır. Örneğin, bu çalışmada BYT'ye dayalı açınım öğretim seansları planlanırken katılımcıların Cabri3D cisimlerinin yüzlerini belirleme, yüzlerin geometrik özelliklerini anlatma gibi geometrik yönlere odaklanmalarını sağlayacak yönlendirmeler yapılması gerektiği öngörülmüştür.

Geometri anlama hiyerarşik olarak ilerleyen belirli evrelerden geçmektedir ve öğrenenlerin geometri anlama düzeyleri birbirinden farklı olabilir. Öğrenenlerin geometri anlama düzeylerini belirleme ve birbiri ile karşılaştırmada Van Hiele teorik çerçevesine başvurulmaktadır (örneğin, Gutierrez ve Jaime, 1998; Bulut ve Bulut, 2012; Couto ve Vale, 2014). Literatürde öğrenenlerin (Van Hiele) geometri anlama düzeylerini geliştirmek için dinamik geometri öğrenme ortamlarını kullanan birçok çalışma bulunmaktadır (örneğin, Abdullah ve Zakaria, 2011, 2013; Idris, 2009; Serow, 2008; Stols, 2012; Tieng ve Eu, 2013, 2014). Fakat uzamsal yeteneğin belirli bileşenleri ile ilgili görevlere öğrenenlerin verdikleri cevaplardan yararlanarak, onların uzamsal beceri düzeylerini nitel olarak karakterize eden ve birbiri ile karşılaştıran çok az çalışma olduğu görülmektedir (Örneğin, Özdemir ve Göktepe Yıldız, 2015). Benzer şekilde literatürde öğrenenlerin bilişsel ya da gelişimsel seviyelerini dikkate alarak uzamsal becerilerini teknoloji ortamında sistemli bir şekilde geliştirmeyi amaç edinen de çok az çalışma yer almaktadır (Örneğin, Woolf vd., 2003). Bu çalışmada önce uzamsal yeteneğin belirli bileşenleri ile ilgili bilişsel yük miktarları farklı görevlerle öğrenenlerin uzamsal becerileri karakterize edilmeye, sonra dinamik geometri öğrenme ortamından yararlanılarak onların uzamsal becerileri sistemli bir şekilde geliştirilmeye çalışılmıştır.

Van Hiele teorik çerçevesini kullanarak öğrenenlerin geometrik düşünme düzeylerini dinamik geometri ortamında geliştirme ile ilgili çalışmalarda teknoloji ile içerik, öğrenenlerin bilişsel özellikleri, teorik çerçeve, öğrenme materyalleri ve öğretimin nasıl bütünleştirileceği belirsizdir. Fakat Bilişsel Yük Teorisi matematik eğitimcilerini bu belirsizlikten kurtarmaktadır. BYT insanın çalışan belleğinin sınırlarını göz önünde bulundurarak öğretimin tasarlanması üzerine odaklanmaktadır. Teknolojinin uygun olmayan şekilde kullanılması çalışan belleğe gereksiz yük empoze edilmesine neden olabilir, bu nedenle teknoloji uygun bir yol içerisinde kullanılmalıdır (Liu, Paas ve Kalyuga, tarihsiz, s.2). Bilişsel yüke, (1) Öğrenme materyallerinin tasarımına, (2) öğrenme içeriğinin düzenlenmesine ve (3) öğrenme etkinlikleri boyunca öğrenenlere sunulacak yönergeler aracılığı ile müdahale edilebilir. Bunun için bilgisayar tabanlı öğrenme aktiviteleri içinde bilişsel yükün yönetilmesinde, içeriğin basitten karmaşığa doğru düzenlenmesi, çözülmüş örneklerden yararlanma, bilginin dikkat kaymasına izin vermeyecek bir şekilde sunulması, zihinde canlandırma gibi stratejiler kullanılabilmektedir. Kalyuga ve Liu'a (2015, s.3) göre, önemli olan teknolojinin kendisi değildir, önemli olan bilginin daha iyi ve daha kalıcı inşasına neden olan öğrenen aktiviteleri ve bilişsel süreçlerini ortaya çıkarmada teknolojinin nasıl kullanılabileceğidir. Kalyuga ve Liu'a göre bu anlayış araştırmaları kaçınılmaz olarak insanın bilişsel mimarisine ve herhangi teknolojik bir yeniliğin öğretimde etkililiğini sağlamak için kritik faktörler olarak insanın bilişsel mimarisinin özelliklerine taşımaktadır. Onlara göre bu faktörleri ve öğrenenlerin bilişsel süreçlerini göz ardı etmek devam eden hayal kırıklıkları ile sonuçlanabilir (2015, s.3). Öğrenenlerin uzamsal becerilerini geliştirmede etkili olacağı düşünülen bir öğretim tasarımının insanın bilişsel mimarisini göz önünde bulundurması gerekmektedir. Teknoloji destekli ortamlarda, bu ise ancak öğrenme aktiviteleri boyunca öğrenenlerin çalışan belleklerindeki asıl, konu dışı ve etkili bilişsel yükü yönetip, onların uzamsal görselleştirme becerilerini geliştiren şemalar edinmeleri ve bu şemalarda otomatikleşmelerini sağlayarak başarılabilir. Bu nedenle bu çalışmanın görüşme soruları, öğretim seansları boyunca kullanılacak Cabri3D öğrenme materyalleri, görevleri ve yönergeleri hazırlanırken ve öğretim planlanıp yürütülürken Bilişsel Yük Teorisi referans çerçeve olarak alınmıştır. Çünkü öğrenenlerin bilişsel yüklerini dikkate alan bir öğretim yaklaşımının, teknoloji tabanlı diğer yaklaşımlara göre uzamsal yeteneğin geliştirilmesinde daha etkili olacağı düşünülmektedir.

Fen, teknoloji, mühendislik ve matematik (FTMM) alanlarının çoğu, büyük oranda uzamsal muhakemeye dayanmaktadır, örneğin, jeoloji, zaman ve mekân boyunca fiziksel yapıların dönüşümleri hakkında düşünmeyi gerektirmektedir (Uttal ve Cohen, 2012, s.157-158). Görsel-uzamsal beceriler FTMM alanları içinde başarı için gerekli ve çok önemlidir (örneğin, Hsi, Linn ve Bell, 1997; Metz, Donohue ve Moore, 2012; Miller ve Bertoline, 1991; Sorby ve Baartmans, 2000; Sorby, Nevin, Mageean, Sheridan ve Behan, 2014; Wai, Lubinski ve Benbow, 2009). Amerika'da FTMM alanlarında uzamsal becerileri talep eden işlerin yürütülebilmesi için vatandaşların gelişimi ve eğitimiyle ilgili ciddi ve artan sorunlara vurgu yapan Uttal ve Cohen (2012), yakın gelecekte yeterli uzamsal yeteneğe sahip olmayan iş gücünün meydana getireceği olası problemlere dikkat çekmektedir (s.148). Ülkemiz ortaöğretim matematik dersi öğretim programının genel amaçları içinde öğrencilerin geometri dahil çeşitli öğrenme alanlarında temel matematiksel bilgi ve becerilerle donatılarak, sosyal ve mesleki alanlara hazırlanmalarının gerekliliği yer almaktadır (MEB, 2013, s.I). Geometri kazanımları ve uzamsal düşünme arasında sıkı bir ilişki söz konusudur ve lise, ön lisans ve lisans sonrası iş gücü olarak istihdam edilecek bireylerin belirli uzamsal becerilere sahip olmaları gerekmektedir. Bu ise zorunlu eğitim boyunca ve sonrasında bireylerin uzamsal yeteneklerini geliştirmeleri için düzenlenecek seçmeli dersler, kurslar, seminerler gibi faaliyetlerle sağlanabilir.

Matematik eğitim araştırmacıları çeşitli seviyelerde (ortaokul, lise gibi) öğrenenlerin uzamsal becerilerini geliştirmede takip edebilecek yollar ya da uzamsal becerileri zayıf bireyler için tedavi yöntemleri sunmaktadırlar. Biz diğer çalışmalardan farklı olarak, öğrenenlerin bilişsel yüklerini dikkate alarak, her aşaması planlı bir öğretim tasarımı ile uzamsal becerilerin daha etkili bir şekilde geliştirilebileceğini iddia ediyoruz. Bu çalışma ilerde uzamsal becerilerin geliştirilmesine yönelik BYT'ye dayalı öğrenme ortamlarının tasarlanmasına rehberlik edebilir.

1.7. Araştırmanın Sınırlılıkları

- Araştırmanın katılımcıları İç Anadolu Bölgesi'ndeki bir devlet üniversitesinin Eğitim Fakültesine bağlı Matematik ve Fen Bilimleri Eğitimi Bölümü, Matematik Eğitimi Anabilim Dalı İlköğretim Matematik Öğretmenliği Programında öğrenim gören dört ikinci sınıf kız öğretmen adayı ile sınırlıdır.

- Öğretmen adayların uzamsal görselleştirme becerilerinin değerlendirilmesinde kullanılan görevler 3B'li cisimlerin yüzey açınımları, 3B'li cisimlerin dönme hareketleri, 3B'li bir yapıyada ön/arka, sağ/sol ve üst/alt taraflarından bakma ve küpün ortasında bulunan bir cisme küpün köşe noktalarından bakma ile sınırlı kalmıştır.
- Görevlerin katılımcılar üzerinde yarattığı bilişsel yüklerin ölçümü performansa dayalı (görevin karmaşıklığı, katılımcı hata oranları, öğrenme çıktıları) ve öznel teknikler (görevin algılanan zorluğu) ile sınırlı kalmıştır.
- Çalışmaya ayrılan süre her bir uzamsal görselleştirme bileşenine (açınım, döndürme ve yönelim) dörder hafta (haftada birer seans olmak üzere dörder seans) olmak üzere, toplam 12 hafta (üç ay) ile sınırlı kalmıştır.
- Çalışma kapsamındaki uygulamalar Cabri3D materyalleri ve çizim etkinlikleri ile sınırlı kalmıştır.

1.8. Yapılan Çalışmalar

Alan yazın incelendiğinde uzamsal yetenekle ilgili bir çok araştırmanın yapıldığı görülmektedir. Bunlar, farklı meslek gruplarında (örneğin, münendis, astronot gibi) uzamsal yeteneğin rolü (örneğin, Liu vd., 2013), cinsiyetin uzamsal yeteneğe etkisi (örneğin, Parsons vd., 2004), Fen, Teknoloji, Mühendislik ve Matematik alanlarında uzamsal yeteneğin önemi (örneğin, Wai, Lubinski ve Benbow, 2009), uzamsal yeteneği somut manipülatifler kullanarak (örneğin, Bakker, 2008), bilgisayar oyunları yoluyla (örneğin, David, 2012a) ve dinamik geometri öğrenme ortamlarından yararlanarak (örneğin, Güven ve Kosa, 2008) geliştirmeye çalışma ve uzamsal yeteneği geliştirmek için geometri ders programı içeriğinden (örneğin, Karakuş ve Peker, 2015) ya da mühendislik çizimlerine yönelik etkinliklerden (örneğin, Rafi, Samsudun ve Ismail, 2006) yararlanma şeklinde artırılabilir. Öğrenenlerin bilişsel mimarilerini göz önünde bulundurarak öğretimi tasarlama düşüncesi Bilişsel Yük Teorisi ile kendisini bulmuştur. Literatürde öğrenenlerin bilişsel yüklerini göz önünde bulundurarak uzamsal görselleştirme becerilerini geliştirmeye yönelik çok az çalışma yer almaktadır. Belirtilen çalışmalarda ise ya uzamsal becerilerin bileşenlerinden birine odaklanılmakta ya da geometri öğrenme etkinlikleri üzerinde durulmaktadır. Uzamsal yeteneği geliştirme, matematik ve geometri öğrenme görevleri boyunca öğrenenlerin bilişsel yüklerini yönelik çalışmalarda ise genellikle nicel ölçme tekniklerinden yararlanılmıştır. Aşağıda önce

uzamsal görselleştirme becerilerinin geliştirilmesinde dinamik geometri öğrenme ortamlarının rolü üzerine yapılmış çalışmalara, sonra matematik, geometri ve uzamsal yetenek alanlarına yönelik bilişsel yük ile ilgili yapılmış çalışmalara yer verilmiştir.

1.8.1. Dinamik geometri öğrenme ortamlarında uzamsal becerilerin geliştirilmesi ile ilgili yapılmış çalışmalar

Akasah ve Alias (2010), bilgisayar destekli bütünden parçaya doğru öğrenme yaklaşımının acemi ve uzman öğrenenler arasındaki uçurumu kaldırmada etkili olma durumunu test etmiştir. Araştırmanın katılımcılarını 29 inşaat mühendisliği birinci sınıf öğrencisi oluşturmuştur. İnşaat mühendisliği 1. sınıf öğrencilerini, ortaöğretimde teknik resim dersi görmüş olma durumlarına göre acemi ve uzmanlar olarak iki alt gruba ayırmışlardır. Bu dersi almayan ve acemiler olarak nitelendirilen 13 öğrenci bilgisayar destekli bütünden parçaya yaklaşımına dayalı, bu dersi önceden alan ve uzmanlar olarak nitelendirilen 16 öğrenci ise geleneksel parçadan bütüne yaklaşımına dayalı bir öğretime tabi tutulmuştur. Parçadan bütüne doğru öğretim yaklaşımında öğretim örneğin, nokta çiziminden başlamakta, bunu sırayla bir boyutlu (doğru) ve iki boyutlu şekiller ile üç boyutlu cisim çizimleri takip etmektedir. İkinci yaklaşımda ise ilk olarak üç boyutlu nesne çiziminden başlanmakta, sonra düzlemde detaylı çizimler yapılabilmektedir. Altı haftalık bir öğretim süresi sonunda bilgisayar destekli olarak sunulan bütünden parçaya öğretim yaklaşımının Teknik Resim dersine acemi olan öğrencilerin performanslarını yüksek bir oranda artırdığı gözlenmiştir. Benzer biçimde önceden Teknik Resim dersini alan ve altı hafta boyunca parçadan bütüne geleneksel öğretim yöntemi ile öğrenim gören öğrencilerin performansları da artmıştır. Fakat çalışmada bilgisayarlı öğretim etkinliklerinin acemi ve uzmanlar arasındaki uçurumun kapanmasında katkı sağladığı sonucuna ulaşılmıştır.

Kurtuluş ve Uygan (2010), SketchUp destekli geometri aktivitelerinin matematik öğretmenliği lisans programındaki öğrencilerin uzamsal görselleştirme yetenekleri üzerine etkisini araştırmışlardır. Deneysel çalışmada, ön test, son test ve kontrol grubu modeli kullanılmıştır. Deney grubu (24 kişi), bilgisayarlı manipülatiflerle ilişkili problem temelli aktiviteleri yürütmüş ve SketchUp ortamında bir proje tasarlamıştır. SketchUp aktivitelerinde öğrencilere çizimler yapma, döndürme ve katı nesneleri kesme gibi fırsatlar tanınmıştır. Kontrol grubu (24 kişi) kağıt ve kalem kullanarak geleneksel geometri etkinliklerini yürütmüştür. Kontrol grubu, deney grubuna sorulan soruları

bilgisayar ve herhangi dinamik bir materyal olmaksızın kağıt kalem kullanarak çözmeye çalışmıştır. Verilerin elde edilmesinde, Santa Barbara Katı Cisimler Testi (Cohen ve Hegarty, 2007) kullanılmıştır. Bu test 3B'li cisimlerin 2B'li kesitleri ile ilgilidir. Çalışmada iki grubun ön testleri arasında anlamlı bir fark bulunmamasına rağmen, deney sonrası puanlar arasındaki farkın deney grubu lehine olduğu belirlenmiştir. Bu durum dinamik geometri ortamı ve projenin deney grubu öğrencilerinin uzamsal görselleştirme yeteneklerini olumlu bir şekilde etkilediğine işaret etmektedir. Oysa 2B'li statik resimler kullanma ve kâğıt-kaleme dayalı öğretimin ise kontrol grubu öğrencilerinin uzamsal görselleştirme yetenekleri üzerinde önemli bir etki yaratmamıştır.

Martin-Gutierrez ve diğerleri (2010), geleneksel olarak öğretilen 'Betimsel Geometri' dersleri ve 3B'li dinamik araç kullanılarak sağlanan öğretimin, birinci sınıf mimarlık öğrencilerinin uzamsal yeteneklerinin geliştirilmesi üzerine etkisini analiz etmiş ve araştırmışlardır. Araştırmanın örneklemini geleneksel yöntemle derslerine devam eden 21 öğrenci, 3B'li dinamik geometri ortamının sağladığı olanaklardan faydalanan 19 öğrenci ve kontrol grubu olarak belirlenen 25 öğrenci oluşturmuştur. Araştırmaya başlamadan önce ve onlar eğitimlerini tamamladıktan sonra katılımcılara uzamsal görselleştirme testi uygulanmıştır. Geleneksel Betimsel Geometri derslerine tabi tutulan sınıfta öğretmen tahtayı kullanarak bir anlatım gerçekleştirmiştir. Diğer grupta öğretmen tahtaya konuyla ilgili açıklamalar yaptıktan sonra, öğrenci öğrenmeleri 'Diedro-3D' bilgisayar yazılımı ile desteklenmiştir. Kurslarda noktaların, doğruların ve düzlemlerin yansıtılması, düzlemde yer alan nokta ve doğruların birbiri ile ilişkisi (örneğin, paralellik ve diklik), küp ve prizmaların düzlem üzerine yansıtılmaları gibi konulara yer verilmiştir. Betimleyici geometri öğretim içeriği üzerine 9 saatlik bir uygulama gerçekleştirilmiştir. Araştırmada iki kursta yer alan öğrencilerin de uzamsal becerilerinin geliştiği gözlenmiştir. Fakat, dinamik geometri yazılımını kullanan grubun uzamsal beceri sonuçlarının diğer gruplardan daha iyi olduğu belirlenmiştir. Bilgisayar ortamındaki grup betimleyici geometri ile ilgili olarak sunulan içeriği de diğer gruptan daha iyi anlamıştır. Buradan 3B'li dinamik görüntüleyicilerin öğrencilerin teorik içeriği anlamalarında ve uzamsal yeteneklerini geliştirmelerine yardımcı olduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca teknoloji ortamındaki öğrenciler öğretmen açıklamalarına olan bağımlılığı azaltmıştır ve onların kendi kendilerine öğrenmelerine yardımcı olmuştur. Teknoloji öğrencilerin dikkatini çekerek, öğrenmeye daha fazla motive olmalarını sağlamıştır.

Kurtuluş (2011), bilgisayar destekli perspektif çizimlerinin sekizinci sınıf öğrencilerinin uzamsal yönelim ve perspektif çizim başarılarına etkisini incelemiştir. Çalışmada ön test, son test ve kontrol grubu deneysel tasarımı kullanılmıştır. Deney ve kontrol grubunda 15'er öğrenci yer almıştır. Kontrol grubu öğrencileri ile dersler tahta ve kâğıt kullanılarak gerçekleştirilen aktiviteler şeklinde yürütülmüştür (8 ders saati). Deney grubu ile dersler bilgisayar destekli perspektif çizim uygulamaları yapılarak gerçekleştirilmiştir (10 ders saati). Çalışmada öğrencilerin uzamsal yönelim başarılarını izlemek için bir uzamsal yönelim testi, perspektif çizim başarılarını değerlendirmek için bir perspektif çizim testi kullanılmıştır. Etkinlikler sonrası toplanan öğrenci veri analizlerinden deney ve kontrol grubunun ikisinin de uzamsal yönelim ve perspektif çizim başarı seviyelerinin önemli ölçüde arttığı sonucuna varılmıştır. Fakat deney ve kontrol grubunun puanları arasında anlamlı bir fark tespit edilmemiştir. Son test öğrenci sıralama puanlarına bakıldığında ise bilgisayar ortamında bulunan öğrenciler lehine istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık bulunmuştur. Bu durum deney grubu öğrencilerinin perspektif çizim ve uzamsal yönelim başarılarının kontrol grubuna göre daha fazla arttığı şeklinde yorumlanabilir.

Samsudin, Rafi ve Hanif (2011), zihinde döndürme ve uzamsal görselleştirmeye dayalı eğitimin, lise öğrencilerinin uzamsal becerilerine ve ortografik çizim performanslarına etkisini incelemişlerdir. Araştırma ön ve son teste dayalı deneysel bir çalışma olarak planlanmıştır. Araştırmanın örneklemini 98 lise öğrencisi oluşturmuştur. Araştırmada öğrenciler iki deney bir kontrol grubu olarak rastgele atanmışlardır. İlk deney grubundaki öğrenciler (33 kişi) sanal nesneleri inceleyebilmiş, bu nesnelerin olduğu ortamda gezinebilmiş, onlarla etkileşim halinde bulunabilmiş ve kendilerine sunulan soruların cevaplarına geri bildirim alabilmişlerdir. İkinci deney grubundaki öğrencilere (33 kişi), sanal nesne animasyonları sunulmuş ve birinci grupla benzer şekilde kendilerine sorulan sorulara verdikleri cevaplardan geri dönüt alabilmişlerdir. Kontrol grubu öğrencilerinin (32 kişi) ise benzer etkinlikleri basılı materyallerle gerçekleştirmeleri sağlanmıştır. Ön ve son testteki zihinde döndürme ve uzamsal görselleştirme sorularını katılımcılar online olarak cevaplamışlardır. Öğrencilerin çoklu ortografik çizim performansları için ise bir temel mühendislik grafik görevi kullanılmıştır. Yapılan etkinlikler sonunda teknoloji tabanlı eğitim yöntemlerinin daha verimli olduğu gözlenmiştir, çünkü her iki deney grubu da zihinde döndürme sorularında kontrol grubuna göre çok iyi performans sergilemişlerdir. Ayrıca sanal

nesnelerle etkileşim halinde bulunabilen birinci deney grubunun uzamsal görselleştirme sorularında daha yüksek puan aldıkları ve ortagrafik çizim görevlerini yapmada diğer iki gruba göre daha iyi performans sergiledikleri belirlenmiştir. Buradan uzamsal görselleştirme başarısı ile ortagrafik çizim görevlerinde sergilenen performans arasında anlamlı bir ilişki olduğu sonucuna varılmıştır.

David (2012b), başlangıçta iyi seviyede ve zayıf seviyede uzamsal yeteneğe sahip olan öğrencilerin, uzamsal yetenekle ilgili olarak yapılan eğitim sonrasındaki durumlarını karşılaştırarak, eğitimin hangi gruba daha çok fayda sağladığını belirlemeyi amaçlayan bir araştırma yapmıştır. Araştırmanın katılımcılarını ortalama 15 yaşında 178 öğrenci oluşturmuştur. Katılımcılar uzamsal yetenek ön sonuçlarına göre kötü, orta ve iyi seviyede olmak üzere üç gruba ayrılmışlardır. Üç gruba da video oyunları kullanılarak sağlanan bir eğitim uygulanmıştır. Yürütülen eğitimde video oyunları 'iki boyutlu ve üç boyutlu şekillerin zihinde döndürme, uzamsal görselleştirme, örüntü analizleri, zihinsel dönüşümlerin sonuçlarını tahmin etme ve uzamsal ilişkilerin stratejik planlanmasını' içermiştir. Eğitim öncesi ve sonrası katılımcı puanları karşılaştırılmıştır. Çalışmada düşük uzamsal beceriye sahip öğrencilerin, daha iyi uzamsal becerilere sahip olanlara göre daha çok gelişim gösterdikleri bulunmuştur. Öğrencilerin başlangıç seviyeleri ne kadar düşükse o kadar yüksek oranda gelişim gösterdikleri belirlenmiştir. Buradan eğitimin öğrencilerin uzamsal yetenek puanlarının artmasına katkıda bulunduğu fakat, yüksek uzamsal becerilere sahip olanlarla düşük uzamsal becerilere sahip olanlar arasındaki boşluğu örtbas edemediği sonucuna ulaşılmıştır.

Erkoç, Gecü ve Erkoç (2013), bilgisayar destekli tasarım yazılımı olan Google SketchUp'un 8. sınıf öğrencilerinin zihinde döndürme becerileri üzerine etkisini araştırmışlardır. Deney ve kontrol grubundan oluşan çalışmada, ön test ve son test olarak Vandenberg zihinde döndürme testi kullanılmıştır. Dört hafta boyunca kontrol grubu (31 öğrenci) araştırmacılar tarafından geliştirilen birim küp modellerinin farklı yönlerden görünüşünü izometrik kağıda çizmeye çalışmışlardır. Aynı zaman diliminde, deney grubu (31 öğrenci) Google SketchUp programını kullanarak aynı modelleri inşa etmeye çalışmıştır. Dört haftanın sonunda zihinde döndürme testi katılımcılara tekrar uygulandığında her iki grubun zihinde döndürme beceri puanları artmıştır. Gruplar birbirleri ile karşılaştırıldığında ise aralarında anlamlı bir fark gözlemlenememiştir.

Cohen ve Hegarty (2014), sanal 3B'li geometrik cisimlerin bir düzlemle kesilmesi sonucu oluşan kesitleri hakkında muhakeme etmeyi sağlayan etkileşimli animasyon

etkinlikleriyle yapılan eğitimin etkililiğini araştırmışlardır. Araştırmanın katılımcılarını düşük uzamsal yeteneğe sahip 20 lisans öğrencisi oluşturmuştur. Katılımcıların 10'u deney, 10'u kontrol grubuna rastgele atanmıştır. Deney grubu öğrencileri 3B'li cisimlerin bir düzlemle kesilmesine yönelik etkileşimli animasyon etkinliklerini gerçekleştirmişlerdir. Deney grubunda, katılımcılardan basit ya da kompleks bir cismin bir düzlem ile kesilmesi sonucunda elde edilecek iki boyutu kesiti tahmin etmeleri istenmiştir. Deney grubu öğrencileri öğretim etkinlikleri boyunca üç tür cisimle meşgul olmuşlardır: Önceden karşılaştıkları basit katılar, bu katıların kombine edilmesiyle oluşanlar ve bu katılardan farklı iki katı cismin kombine edilmesiyle oluşanlar. Grupların ön ve son testleri karşılaştırıldığında, animasyonlu aktivitelerle meşgul olan grubun genel olarak üç görev türünde de önemli ölçüde gelişim gösterdiği saptanmıştır. Deney grubundaki katılımcıların eğitim sırasında görülen görevlerde önemli ölçüde gelişim gösterdikleri ve benzer durumlara öğrenmelerini transfer edebildikleri gözlenmiştir. Oysa kontrol grubu öğrencileri basit katıların kombine edilmesiyle oluşan cisimleri, basit cisimlerin parçaları olarak saptayabilmişlerdir.

Lin, Chen ve Lou (2014), öğrenenlerin uzamsal yönelim becerilerini ve uzamsal belleklerini geliştirmeye yönelik olarak tasarladıkları uzamsal hazine avı oyununun, öğrencilerin uzamsal beceri ve hafızaları üzerine etkisini test etmek için deneysel bir çalışma tasarlamışlardır. Araştırmacılar tasarladıkları oyunun, öğrencilerin uzamsal beceri ve belleklerini kısa sürede geliştireceğini iddia etmişlerdir. Bilgisayar oyununun deney grubu üzerine etkisi ölçüldükten sonra, kontrol grubu üzerinde etkisi de ölçülmüştür. Katılımcılara ön test olarak iki uzamsal yönelim ve iki uzamsal hafıza testi uygulanmıştır. 55 altıncı sınıf öğrencisi, deney (28 öğrenci) ve kontrol grubu (27 öğrenci) olarak rastgele iki gruba ayrılmıştır. Katılımcılar ön test sorularını cevaplandırdıktan beş dakika sonra, 45-55 dakika aralığında değişen sürelerde tasarlanan bilgisayar oyununu oynamışlardır. Oyunu oynadıktan 10 dakika sonra, katılımcılar aynı test sorularını tekrar cevaplandırmışlardır. Ön ve son test sonuçlarının karşılaştırılması sonucunda, bilgisayar oyununun kısa bir zaman aralığında öğrencilerin uzamsal yönelim ve belleklerini artırdığı belirlenmiştir.

Pedrosa, Barbero ve Miguel (2014), grafik mühendisliği öğrencileri için geliştirilen Web tabanlı bir öğrenme aracı (ILMAGE_SV) kullanılarak sağlanan öğretimin endüstri mühendisliğinden mezun grafik öğrencilerinin uzamsal görselleştirme becerileri üzerine etkisini araştırmışlardır. Web tabanlı öğrenme aracı, öğrenenlerin nesneleri manipüle

etmesine, sürekli olarak değerlendirilmelerine ve öz değerlendirme yapabilmelerine olanak tanıyacak şekilde geliştirilmiştir. Araç sayesinde öğretmen, öğrenci öğrenmelerini izleyebilmiştir. Ek olarak araç, öğrencilerin hatalarını düzeltmelerini ve puanlarını otomatik olarak görmelerini sağlamıştır. Araştırmanın deney grubunda 132, kontrol grubunda 112 öğrenci yer almıştır. Çalışma üç hafta sürmüştür. Deney grubu Web tabanlı uygulama ile çalışırken, kontrol grubundaki öğretim geleneksel yöntemler kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çalışma her iki metodunda uzamsal görselleştirmeyi geliştirmede aynı oranda etkili olduğunu göstermiştir. Bununla birlikte Web tabanlı uygulama uzamsal görselleştirmede büyük zorluklar yaşayanlar ve teknik çizimle ilgili hiçbir ön bilgisi olmayanlar üzerinde daha çok etkili olmuştur.

Motamedi ve Yaghoubi (2015), lise öğrencilerinin bilgisayar oyunu kullanmaları ve uzamsal yetenekleri arasında anlamlı bir ilişki olup olmadığını araştırmışlardır. Araştırmanın örneklemini 300 lise öğrencisi oluşturmuştur. Örneklemin belirlenmesinde küme örneklemesi yöntemi kullanılmıştır. Önce bir şehirdeki 30 liseden üçünün öğrencileri, sonra bu üç okulun sekizinci sınıfında okuyan 300 öğrenci örneklem olarak alınmıştır. Katılımcılara araştırmacı tarafından yapılan bir anket ve bir uzamsal yetenek testi (Newton ve Bristol uzamsal yetenek testi) uygulanmıştır. Ankette öğrencilerden bilgisayar kullanımları hakkında bilgi istenmiştir. Ankette öğrencilere ne kadar sıklıkta bilgisayar kullandıkları ve ne tür bilgisayar oyunları oynadıkları gibi sorular sorulmuştur. Sonuçlar bilgisayar oyunları ile uzamsal yetenek arasında anlamlı bir ilişki olduğunu göstermiştir. Çalışma ayrıca bilgisayar oyunlarını kullanma ve uzamsal yeteneğin alt faktörleri olan uzamsal algı, zihinde döndürme ve uzamsal görselleştirme arasındaki anlamlı ilişkiye işaret etmiştir. Çalışmada bilgisayar oyunlarının görsel belleği ve algı hızını güçlendirdiği sonucuna varılmıştır.

Schute, Ventura ve Ke (2015), video oyunlarının lisans öğrencilerinin problem çözme, uzamsal beceri ve kalıcılık üzerine etkisini araştırmıştır. Çalışmanın katılımcılarını 77 lisans öğrencisi oluşturmuştur. Katılımcılar rastgele iki gruba ayrılmıştır. İlk grubun katılımcılar 8'er saat boyunca popüler bir video oyunu oynarken, ikinci grup aynı sürede popüler bir beyin geliştirme oyunu oynamıştır. İlk grubun oynadığı video oyunu, 3B'li gerçekliği yansıtan sanal bir ortamda sağlamaktadır. Video oyununu oynayan katılımcıların oyun karakterinin yerine geçerek 3B'li ortamda hareket etmeleri gerekmiştir. İkinci grubun oynadığı beyin geliştirme oyununda, katılımcıların nesne ya da örüntüleri tanımalarını, görsel ve sözel bilgiyi hatırlamalarını ve

eşleştirmelerini, nesne sıralamada gizli ve değişen kuralları tanımalarını içeren zihinsel süreçlere başvurmaları gerekmiştir. Oyunlardan önce ve sonra katılımcılardan problem çözme, uzamsal becerileri ve kalıcılıkla ilgili online testleri tamamlamaları istenmiştir. Sonuçlar, ilk grubun ön ve son test sonuçları arasında anlamlı bir fark olduğu belirlenirken, ikinci grubun ön ve son testleri arasında anlamlı bir fark olmadığı tespit edilmiştir. Yani video oyunu oynayan birinci grubun problem çözme, uzamsal beceri ve kalıcılık ile ilgili derecelendirme puanlarında belirgin bir artış gözlenmiştir. Bu durum video oyununun bilişsel ve bilişsel olmayan becerilere olumlu etkisinin olduğu biçimde yorumlanmıştır.

Cole (2016), yüksek öğretim kurumlarında öğrenim gören fen, teknoloji, mühendislik ve matematik disiplinlerindeki öğrencilerin uzamsal becerilerini geliştirmek üzere tasarlanan bir bilgisayar yazılımının etkililiğini araştırmıştır. Modül öğrencilerin zihinde döndürme becerilerini geliştirmeye yönelik olarak tasarlanmıştır. Modül beş bölümden oluşmuştur. Bunlar; başlangıç (dönme eksenlerini tanımayı içermiştir), dönme eşleştirme (bir cisim ve döndürülmüş halini gören katılımcıdan başka bir cismi aynı dönme hareketine göre çevirmesi istenmiştir, onlar modülde belirli bir eksen, yön ve açı ölçülerine göre cismi çevirebiliyorlardı, örneğin, x ekseni, saat yönü, 90 derece gibi), aşamalı olarak zorlaştırılmış dönme eşleştirme (bir önceki bölümden farklı olarak modülde katılımcılar önce karşılaşacakları soruların zorluk derecesini seçebilmiştir: Basit, orta ve zor olmak üzere), dönmenin analoji yoluyla eşleştirilmesi (bir cisim ve döndürülmüş hali gösterilmiş, katılımcılardan başka bir cisim bu şekilde döndürülseydi nasıl bir görüntü elde edileceğini beş farklı görüntü içerisinden seçmeleri istenmiştir) ve aşamalı olarak zorlaştırılmış dönme analoji (bölümde bir önceki bölümle aynı tarz sorulara yer verilmiş, katılımcılar soruların zorluk seviyesini seçebilmişlerdir: Basit, orta ve zor olmak üzere) bölümleri şeklindedir. Araştırma ön test, son test ve karşılaştırma modeline dayalıdır. Deney grubunda 94, kontrol grubunda 163 katılımcı yer almıştır. Katılımcılar ön ve son test olarak uzamsal döndürme testini cevaplandırmışlardır. Bu çalışma yazılım tabanlı müdahalelerin öğrencilerin uzamsal becerilerini geliştirdiğini ve bu yazılımların uzamsal becerilerin öğretilmesine yardım etmede kullanılabileceğini göstermiştir.

Kösa (2016), dinamik geometri yazılımının matematik öğretmen adaylarının uzamsal görselleştirme becerileri üzerine etkisini araştırmış ve bu becerilerin uzay analitik geometrisini öğrenme başarılarının bir öncüsü olup olmadığını belirlemeye

çalışmıştır. Bunun için bir deney ve bir kontrol grubunu içeren yarı deneysel bir çalışma yürütmüştür. Deney grubunda 46, kontrol grubunda 48 öğrenci yer almıştır. Çalışmanın başında ve sonunda her iki öğrenci grubu da uzamsal becerilerini değerlendirmek için PSVT ve analitik geometri bilgi seviyelerini ölçmek için ön bilgi testini cevaplandırmışlardır. Ön testleri takiben, deney grubu bir bilgisayar laboratuvarında öğretim görmüştür. Tedavi sürecine başlamadan önce, deney grubu öğrencileri GeoGebra'nın temel komutları ve menüde yer alan işlevleri kullanmayı içeren 3 saatlik bir eğitim almışlardır. Kurs, haftada üç saat olmak üzere 10 hafta devam etmiştir. Kontrol ve deney grubunun dersleri aynı öğretmen tarafından gerçekleştirilmiştir. Derslerin konularını, uzay içinde koordinat sistemleri, uzay içinde vektörler ve vektörlerle ilgili işlemler, doğru denklemleri, iki doğru arasındaki açı vb. oluşturmuştur. Deney grubu öğrencileri ders eğitmeninin rehberliğinde GeoGebra programının kullanıldığı uzay analitik geometrisi üzerine çalışmışlardır. Tedavi sürecinde öğrenciler bilgisayar kullanarak bazı temel geometrik formlar inşa etmişler ve onlar ile ilgili gözlemler yapmışlardır. Kontrol grubunda dersler öğretmen merkezli olarak gerçekleştirilmiştir. Öğretmen uzay geometrisi ile ilgili figürleri tahtaya inşa etmiş ve bazen onlar hakkında açıklamalar yapmıştır. Tedavi sürecinden sonra her iki grupta akademik başarı testine ve PSVT testine tabi tutulmuştur. Araştırmada dinamik geometri yazılımının öğrencilerin uzamsal görselleştirme becerilerini geliştirmede etkili olduğu gözlenmiştir. Ayrıca uzay analitik geometri başarısında katılımcı ön bilgilerinin ve uzamsal görselleştirme becerilerinin etkili olduğu belirlenmiştir.

Parmak (2016), Cabri3D öğrenme ortamının mesleki eğitim merkezinde öğrenim gören öğrencilerin uzamsal zorluklarının giderilmesine etkisini incelemiştir. Bunun için önce bir mesleki eğitim merkezinde öğrenim gören öğrencilerin (n=30) uzamsal görselleştirme becerileri değerlendirilmiş ve onların uzamsal görselleştirmede (açınım, döndürme ve görünüş bileşenleri kapsamında) ne tür zorluklar yaşadıkları tespit edilmiştir. Bu öğrencilerden uzamsal görselleştirmede çeşitli zorluklar yaşayan sekizi ile Cabri 3D geometri yazılımı temelli yürütülen bir eğitim gerçekleştirilmiştir. Eğitim sırasında bu öğrencilerden dördü üzerine odaklanılmıştır. Araştırmada öğrencilerin cisimlerin yüzey açınımını yapmada, bir cismin belirli bir yönden görünüşünü çizmede ve verilen bir cismi belirli bir eksen, yön ve açıda döndürmede zorlandıkları belirlenmiştir. Fakat Cabri3D öğrenme ortamının, katılımcıların cisimlerin açınımlarını

ve farklı yönlerden görünüşlerini inceleme imkânı sağlayarak, uzamsal görselleştirme zorluklarının azaltılmasında etkili olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Yukarıda bahsi geçen çalışmalar bilgisayarlı öğrenme ortamlarında öğrenenlerin uzamsal becerilerinin gelişimini inceleme ile ilgilidir, fakat onların hiç biri BYT'ye dayalı bir öğretimin etkilerini incelememiştir. Literatürde BYT ile uzamsal yeteneği birleştiren çok az çalışmanın, BYT ile geometriyi birleştiren ise daha çok çalışmanın olduğu belirlenmiştir. Aşağıda BYT ile uzamsal yetenek, geometri ve matematiği birleştiren çeşitli çalışmalar özetlenmiştir.

1.8.2. Bilişsel yük teorisi ile ilgili yapılmış çalışmalar

Van Loon-Hillen, Van Gog ve Brand-Gruwel (2010), mevcut İlköğretim Matematik Öğretim Programı'nda öğrencilerin bilişsel yüklerini azaltmak için çalışılmış örneklerin bulunduğu etkinliklere ağırlık vermenin etkilerini incelemişlerdir. Araştırma 45 dördüncü sınıf öğrencisi ile gerçekleştirilmiştir. Çalışma üç hafta (12 ders saati) sürmüştür. Sınıflardan biri deney grubu (23 öğrenci), diğeri kontrol grubu (22 öğrenci) olarak kullanılmıştır. Kontrol grubu ödünç alarak çıkarma ile ilgili normal eğitimlerine devam ederken, gerçekçi matematik öğretiminde kullanılan blok materyalleri ile de bireysel olarak çalışmışlardır. Deney grubu kontrol grubunun takip ettiği etkinliklerinin yanı sıra ödünç alarak çıkarma ile ilgili iki çözülmüş problem (problemler öğretmen tarafından derste öğrencilerin anlayacağı şekilde anlatılmıştır) üzerine çalışmıştır. Ön ve son test için 10'luk ve 100'lük alarak çıkarma işlemi ile ilgili katılımcılara 20 soru sorulmuştur. Onların bilişsel yüklerini ölçmek için derecelendirme ölçekleri ile görevleri tamamlama süreleri ölçülmüştür. Ayrıca deney grubundaki öğrencilere çalışılmış problemleri anlayıp anlamadıkları, bu çözülmüş problemleri kullanmanın problem çözmeyi kolaylaştırıp kolaylaştırılmadığı şeklinde soruları içeren bir anket uygulanmıştır. Ön test ve son test sonuçlarında, deney ve kontrol grubunun hata oranlarında ve bilişsel yük ile ilgili derecelendirme puanlarında azalma meydana geldiği gözlenmiştir. Fakat deney ve kontrol grubunun performans ve derecelendirme puanları arasında anlamlı bir fark belirlenememiştir. Araştırmada deney grubunun kazanım süresinin, kontrol grubundan daha kısa olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca yapılan anket, çalışılmış örneklerle problemlerin daha anlaşılır ve daha kolay geldiğini göstermiştir.

Jang, Schunn ve Nokes (2011), uzamsal olarak ekran üzerine dağıtılmış (aynı ekranda farklı sunular yerleştirilmiştir) ve uzamsal olarak yığılmış (sadece en üstteki sunu

gözükecek biçimde sunular üst üste yerleştirilmiştir) materyallerin performans ve öğrenmeye etkisini araştırmışlardır. 106 üniversite öğrencisi ile yürütülen bu çalışma iki bölümden oluşmuştur. İlk bölümde 56, ikinci bölümde 50 katılımcı yer almıştır. İlk bölümde ekran üzerine yayılmış (birinci format) ve üst üste yerleştirilmiş (ikinci format) sunularda katılımcıların geçmiş bilgi ve deneyimlerine dayalı bir içerik, ikinci bölümde onların yabancı olduğu bir içerik kullanılmıştır. İlk ve ikinci bölümde üç aşama takip edilmiştir: (1) İçeriğin hazırlanması (iki format için de aynı içerik bilgisine sahip materyaller tasarlanmıştır), (2) Uygulama (katılımcıların farklı formattaki tasarlanmış materyallere çalışmışlardır) ve (3) Test etme (içeriğin öğrenilme durumu belirlenmiştir). Test aşamasında elde edilen veriler, katılımcıların görevleri tamamlama süreleri, görevleri doğru yapma yüzdeleri ve genel öğrenme çıktıları ile ilgili bilgiler sağlamıştır. İlk bölümle ilgili çalışma sonunda, birinci formatı kullanan katılımcıların, ikinci formatı kullananlardan daha kısa sürede görevleri tamamladıkları, doğru oranlarının daha fazla olduğu ve içeriği daha iyi öğrendiklerine işaret etmiştir. İkinci bölüm sonuçları ile birinci bölüm sonuçlarının benzer olduğu görülmüştür. İkinci bölümde birinci bölümden farklı olarak bilişsel yükü ölçmek için bireysel puanlama ölçekleri kullanılmıştır. Ölçeklerden ise ikinci formatı kullanan öğrencilerin bilişsel yükünün birinci formatı kullananlardan daha fazla olduğu bulunmuştur.

Schwonke, Renkl, Salden ve Aleven (2011), farklı oranlarda çözüm adımları verilmiş (dört çözüm adımından hiçbirinin verilmediği, birinin verildiği, …, dördünün de verildiği) problemlere çalışmanın geometri ile ilgili bilişsel becerileri kazanma üzerine etkisini incelemişlerdir. Çalışmanın katılımcılarını 125 dokuzuncu sınıf öğrencisi oluşturmuştur. Onlar beş farklı oranda yardım sağlayan Cognitive Tutor programıyla çalışmışlardır. Katılımcıların çember geometrideki majör-minör yay, iç açı ve dış açı konu alanlarındaki ön bilgileri ile ilgili yapılan değerlendirmelerde dış açı zor, majör-minör yay kolay konu alanı olarak belirlenmiştir. Öğretimden sonraki son testte, kolay konu alanında işlemsel bilgi gerektiren problemlerde Cognitive Tutor'da hiçbir çözüm adımına başvurmama oranının, herhangi bir çözüm adımına başvurma oranından yüksek olduğu belirlenmiştir. Bu durum aşina olunan bir konu alanında çözüm adımlarının gereksiz hale gelmesi ile açıklanmıştır. Kolay konu alanında kavramsal bilgi gerektiren ve zor konu alanında işlemsel ve kavramsal bilgi gerektiren problemde Cognitive Tutor'daki çözüm adımlarına başvurma arasında anlamlı bir fark belirlenememiştir.

Kolay ya da zor konu alanlarında çözüm adımlarından faydalanma oranı arttıkça, dış yükün azaldığı belirlenmiştir.

Widder ve Gorsky (2013), lise öğrencilerinin üç boyutlu geometri problemleriyle başa çıkmada üç boyutlu dinamik geometri yazılımını (Cabri3D) ne amaçla ve ne sıklıkla kullandıklarını incelemişlerdir. Çalışma ön test, çalışma bölümleri ve öğrenci davranışları şeklinde üç bölümden oluşmuştur. Çalışmanın katılımcılarını matematik başarısı iyi, düzlemsel ve uzamsal geometri bilgisine sahip 13 lise son sınıf öğrencisi oluşturmuştur. Ön test kapsamında katılımcılara sözel bilgiyi anlama ve matematiksel analitik düşünme ile ilgili a-tipi (düzlemsel ve uzamsal geometri bilgisi) ve verilen geometrik konfigürasyonun zihinsel manipülasyonu ile ilgili b-tipi (uzamsal yetenek) sorular sorulmuştur. Katılımcılar a tipi sorularda oldukça yüksek puan almışlardır. Onlar b-tipi sorulardaki puanlarına göre düşük uzamsal yeteneğe (25-67 puan arası) ve yüksek uzamsal yeteneğe (81-95 puan arası) sahip olanlar olmak üzere iki gruba ayrılmışlardır. Çalışma bölümlerinde katılımcılar dört Cabri3D geometri problemini çözmeye 1.25-2.50 saat süre ayırmışlardır. Öğrenme bölümlerinde katılımcıların konu dışı yüklerini azaltmak için Cabri3D'e ölçme, çevirme, inşa etme ve boyama işlemi için başvurdukları gözlenmiştir. Düşük uzamsal beceriye sahip olan öğrencilerin Cabri3D'de bu işlemlere, yüksek beceriye sahip olanların iki katı kadar başvurdukları belirlenmiştir. Düşük uzamsal yetenekli öğrenciler ölçme işlemi için diğerlerinin yaklaşık 3 katı, çevirme için diğerlerinin yaklaşık 1.5 katı kadar Cabri3D'e başvurdukları gözlenmiştir. Oysa yüksek uzamsal yetenekli öğrenciler diğerlerinin yaklaşık 1.5 katı, Cabri'e inşa etme işlemi için başvurdukları tespit edilmiştir. Düşük uzamsal beceriye sahip olanlar oldukça düşük oranda Cabri'e başvururken, yüksek uzamsal beceriye sahip olanlar bu işleme hiç başvurmamışlardır.

Bokosmaty, Sweller ve Kalyuga (2014), çalışmaları kapsamında doğruda açılar ile ilgili problemler çözmeyi içeren üç ayrı öğretim formatının öğrenci öğrenmeleri üzerine etkilerini incelemişlerdir. Formatların ilkinde teorem ve adım adım yönlendirmelere dayalı öğretim, ikincisinde sadece adım adım yönlendirmelere dayalı öğretim uygulamalarına yer verilmiştir. Üçüncü formatta ise hiçbir yönlendirme yapılmaksızın öğrencilerden problemleri çözmeleri istenmiştir. 8. sınıf (n=180) ve 9. sınıf (n=180) öğrencileri ile uygulamalar yapmayı içeren çalışmada, her bir sınıftaki öğrenciler 60'ar öğrenciden oluşan oluşan üç gruba ayrılmıştır. 8. sınıftaki üç öğrenci grubu (az deneyime sahip) ve benzer şekilde 9. sınıftaki üç öğrenci grubu (tecrübeli) bahsi geçen üç farklı

problem çözme formatında çalışmışlardır. Araştırmada tecrübeli öğrenenler adım adım yönlendirmelerin olduğu formatta daha iyi öğrenirlerken, daha az deneyime sahip öğrenenlerin daha fazla bilgi sahibi olmak için teorem ve adım adım yönlendirmeye gereksinim duydukları belirlenmiştir. Araştırmacılar buradan öğrenci uzmanlık seviyeleri ve öğretim formatları arasında anlamlı bir ilişkinin olduğu sonucuna ulaşılmışlardır.

Chen ve Yang (2014), öğrencilerin uzamsal problemleri çözerken ki bilişsel aktiviteleri ile uzamsal yetenek ve fen kavramlarını öğrenmeleri arasında bir ilişki olup olmadığını araştırmıştır. Çalışma 20 üniversite öğrencisi ile yürütülmüştür. Katılımcıların uzamsal yeteneklerini değerlendirmede Purdue Görselleştirme Döndürme Testi (PVRT: R) kullanılmıştır. Döndürme testindeki sorular dönme açıları (bir eksen etrafında 90 derece döndürme, bir eksen etrafında 180 derece döndürme, bir eksen etrafında 90 derece döndürüldükten sonra başka bir eksen etrafında da 90 derece döndürme ve bir eksen etrafında 90 derece döndürüldükten sonra başka bir eksen etrafında 180 derece döndürme) ve görünmezlik seviyelerine (Bir nesnenin başlangıç pozisyonuna göre görünen taraflarının sayısını belirlenmiştir: Hiçbir tarafı görünmeyen, bir tarafı görünen, iki tarafı görünen ve tüm tarafları da görünen şeklinde.) göre kategorilere ayrılmıştır. Katılımcılar 20 döndürme sorusunu çözerken onların göz hareketleri kaydedilmiştir ve onlar soruları çözdükten sonra 16 tanesi ile klinik görüşmeler yapılmıştır. Katılımcıların kavramsal bilgilerini değerlendirmek için sera etkisi ve küresel ısınmayla ilgili bir fen raporunu okumaları istenmiş, onlar fen raporunu okuduktan 5 dakika sonra, raporda hatırladıkları kavramları yazmaları istenmiştir. Öğrenci cevaplarından onların kavramsal bilgileri ile ilgili değerlendirmeler yapılmıştır. Döndürme testi ve kavramsal bilgi ile ilgili verilerin analizlerinden şu sonuçlara varılmıştır: Görüşme analizleri farklı zihinde döndürme performansına sahip öğrencilerin farklı problem çözme stratejileri kullandıklarını göstermiştir. Test sorularındaki dönme açıları ve görünmezlik seviyeleri, katılımcıların uzamsal performanslarında etkili olmuştur. Döndürme performansı ve göz hareket örüntüleri arasında anlamlı bir ilişki bulunmuştur. Katılımcıların kavram performansları ile döndürme performansları arasında bir ilişki bulunamamıştır, fakat kavramsal performans ile uzamsal bellek ve problem çözme stratejileri arasında ilişki olduğu belirlenmiştir.

Lin ve Lin (2014a), çeşitli seviyelerde konfigürasyona sahip geometri problemleri çözüldüğü zaman algılanan bilişsel yükün farklı olup olmadığını ve geometri problemlerini anlamada göz hareketlerinin bilişsel yükün kaynaklarını gösterip

göstermediği araştırmışlardır. Çalışmanın ilk bölümü 311, dokuzuncu sınıf öğrencisi ile gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada, katılımcılar bilgisayar destekli bir ortamda çeşitli seviyelerde konfigürasyona sahip üçgenlerde benzerlik ile ilgili beş geometri problemini çözmüşlerdir. Araştırmada, problemlerin her birinde katılımcı başarı oranlarının farklılık gösterdiği ve problemlerin her birinin katılımcılar tarafından algılanan bilişsel yükünün birbirinden farklı olduğu bulunmuştur. Çalışmanın ikinci bölümünde aynı problemleri çözen 63 katılımcının göz hareketleri kaydedilmiştir. Araştırmada başarılı çözücülerin, başarısız olanlara göre örüntüleri tanımada ve görsel entegrasyonda çok hızlı oldukları tespit edilmiştir. Katılımcıların zor konfigürasyon içeren problemleri okumaya, kolay ya da orta konfigürasyon içerenlere göre daha fazla zaman harcadıkları ve gözlerinin sabitlenme sayılarının (dikkatin göstergesi olarak) fazla olduğu belirlenmiştir.

Lin ve Lin (2014b), göz hareketlerinin başarılı ve başarısız problem çözücülerle ilgili delil sağlayıp sağlamadığını, problemin algılanan zorluğu ve göz hareket ölçümlerinden elde edilen veriler arasında anlamlı bir ilişki olup olmadığını ve problemleri çözerken çeşitli dikkat alanlarında göz hareketlerinin farklılaşıp farklılaşmadığını araştırmışlardır. Araştırma lise üçüncü sınıfta öğrenim (11. Sınıf) gören 63 öğrenci ile yürütülmüştür. Katılımcılar üçgenlerde benzerlik ile ilgili beş geometri problemini çözmüşlerdir. Araştırmayla ilgili olarak şu sonuçlara varılmıştır: Başarısız çözücülerin gözlerini problem alanına daha fazla sabitledikleri (fixation counts), onların gözlerini daha fazla gezdirdikleri (run counts) ve problemin yer aldığı alanda daha uzun süre gözlerini beklettikleri (dwell time) gözlenmiştir. Başarılı çözücülerin ise problemleri çözerken daha çok hesaplama alanına odaklandıkları belirlenmiştir. Problemin algılanan zorluğu ve katılımcı göz hareketleri (gözün belirli bir problem alanlarında sabitlenme sayıları ve belirli problem alanlarında gözlerini bekletme süreleri gibi) anlamlı bir ilişki olduğu gözlenmiştir. Araştırmadan elde edilen bulgular, göz hareketlerinin başarılı ve başarısız problem çözücüleri birbirinden ayrıştırmak için kullanılabileceğini göstermiştir. Çalışmada ayrıca bazı göz hareketlerinin (gözün bekleme süresi, gözlerin sabitlenme sayısı, göz gezdirme sayısı) farklı problemler çözüldükçe üç dikkat alanında (soru metni, geometrik şekil ve sorunun çözümünün yapıldığı alan) önemli ölçüde farklılık gösterdiği belirlenmiştir.

Tai, Leou ve Hung (2015), örnek tabanlı bir bilişsel yük öğretim yönteminin öğrencilerin matematik başarısı, tutumları ve ilgileri üzerine etkisini incelemişlerdir. Çalışmada bir lisedeki on birinci sınıfların birinde yer alan öğrenciler (21 kişi) deney

grubunu, diğerinde yer alan öğrenciler (35 kişi) kontrol grubunu oluşturmuştur. Çalışmaya başlamadan önce her iki grupta yer alan öğrencilerin matematik başarıları, ilgi ve tutumları ölçülmüştür. Deney grubunda 8 oturum boyunca permütasyon ve kombinasyon konularını içeren BYT'ye dayalı örnek tabanlı bir öğretim gerçekleştirilirken, kontrol grubunda geleneksel örnek tabanlı ders kitabına dayalı bir öğretim yürütülmüştür. Deney grubunda öğretmen BYT'ye paralel olarak hareket etmiştir ve öğrenciler problemler çözerken kendi bilişsel yüklerini izlemelerini öğretmiştir, örneğin, gereksiz bilgileri silmeleri, öge etkileşimlerini izole etme gibi. Ayrıca öğretmen öğretim bölümlerinde, öğrencilerini problem çözerken yol bulma, çözüm için plan yapma, çözümlerini kontrol etme, izleme, değerlendirme ve bilişsel stratejilerini düzeltme için istekli hale getirmeye çalışmıştır. Öğretim sonunda gerçekleştirilen testlerde, bilişsel yüke dayalı öğretimin gerçekleştirildiği grubun başarısının, kontrol grubunu önemli oranda aştığı belirlenmiştir. Bilişsel yüke dayalı öğretimin öğrenci tutum ve ilgileri üzerine önemli bir etkisi olmamıştır.

Tindall-Ford ve diğerleri (2015), öğrenciler tarafından dış yükün yönetilebilmesini sağlayan materyallerin öğrenme üzerine etkisi incelenmiştir. Konu alanı olarak paralel doğrulardaki açıların hesaplanması belirlenmiştir. Çalışma 48 yedinci sınıf öğrencisi ile gerçekleştirilmiştir. Katılımcıların her biri 45 (öğrenme aşaması) ve 50 (transfer testi aşaması) dakikalık iki oturumda yer almışlardır. Katılımcılar üç gruba ayrılmışlardır. Birinci grup, 'Bölünmüş dikkat etkisi yaratılarak dış yükün artırıldığı materyallerle (geometrik şekil sorusu ve bu onun çözüm adımlarının bulunduğu metin aynı sayfa düzeninde farklı alanlarda bulundurulmuştur)', ikinci grup, 'dış yükün azaltıldığı materyallerle (geometrik şekil sorusu ve onun çözüm adımları ile ilgili metin iç içe verilmiştir)' ve üçüncü grup, 'dış yükün öğrenenler tarafından yönetilebildiği materyallerle (geometrik şekil sorusu üzerine çözüm adımlarının her birinin taşınmasını öğrenen bir tuşla yönetebilmiştir)' meşgul olmuşlardır. Çalışma sonunda birinci grubun transfer test puanının ikinci ve üçüncü gruptan düşük, bu iki grubun puanlarının ise birbirine yakın olduğu gözlenmiştir. Üç grubun öğrenme ve test aşamasındaki bilişsel yükleri ile ilgili zihinsel çabalarının birbirine yakın olduğu ve aralarında anlamlı bir fark olmadığı bulunmuştur. İkinci ve üçüncü grubun kullandığı materyaller, birinci grubun kullandığı materyallere göre daha iyi öğrenme fırsatları sağladığı gözlenmiştir.

BYT ile ilgili yukarıda bahsi geçen çalışmaların genellikle, (1) materyal tasarımı katılımcıların bilişsel yüklerini nasıl etkiler ve hangi materyaller daha iyi öğrenme sağlar?

, (2) çeşitli teknikler öğrenenlerin bilişsel yüklerini belirleyerek başarılı ve başarısız katılımcıların özelliklerini ayırt etme ve belirlemede ne ölçüde başarılıdır? , (3) çeşitli öğrenme materyallerinin uzman (tecrübeli) ve acemi (daha az deneyime sahip) öğrenenler üzerinde yarattığı yük miktarları arasında fark var mıdır?, (4) farklı öğretim tasarımlarının farklı düzeyde öğrenenler üzerine etkisi nasıldır? Sorularına yanıt aradığı belirlenmiştir. Çalışmaların çoğunun bilişsel yük ölçme teknikleri ile elde edilen nicel verilere dayalı olduğu gözlenmiştir. Ayrıca literatürde uzamsal yeteneğin değerlendirilmesinde ve geliştirilmesinde BYT'yi referans çerçevesi olarak alan çok az çalışmaya rastlanmıştır. Bu çalışmalarda ise uzamsal yeteneği değerlendirmede kullanılan görevlerden sadece birine (döndürme) odaklanıldığı belirlenmiştir (örneğin, Chen ve Yang, 2014). Ayrıca BYT ile geometriyi (ya da uzamsal yeteneği) birleştiren araştırmalarda, genellikle çalışma örnekleminin ortaokul ve lise öğrencilerinden oluştuğu gözlenmiştir. Literatürde matematik öğretmen adayları ile BYT ve uzamsal yeteneği birleştiren hiç bir çalışmayla karşılaşılmamıştır. Bu çalışmada diğer çalışmalardan farklı olarak katılımcıların uzamsal zorlukları nicel (hata oranları ve algılanan zorluk) ve nitel olarak (hatalara neden olan katılımcı davranışları) karakterize edilmeye çalışılmıştır. BYT ile ilgili diğer çalışmalardan farklı olarak uzamsal yeteneği değerlendirmede birden fazla görev türüne (açınım, döndürme ve yönelim) başvurulmuştur. BYT'ye dayalı öğretim katılımcıların uzamsal zorlukları dikkate alınarak tasarlanmıştır. Her bir öğretim seansında katılımcılarda oluşabilecek asıl, konu dışı ve etkili yük miktarları göz önünde bulundurulmuştur. Öğretim tasarımında, seans içi ve ardışık seanslar boyunca takip edilecek içerik, kullanılacak Cabri3D materyalleri ve yönergeler sistematik bir sırayı takip edecek şekilde düzenlenmiştir. Seanslar boyunca katılımcı zorlukları, bu zorluklarda meydana gelen değişim ve yeni şema kazanımları nitel olarak ele alınmıştır. Öğretim tasarmının etkisi ise nicel (hata oranları ve algılanan zorlukta meydana gelen değişim) ve nitel (katılımcılar hangi şemaları kazandılar) verilerle karakterize edilmiştir.

2. YÖNTEM

Bu bölümde, araştırmanın deseni, çalışma ortamı ve katılımcılar, veri toplama süreci, veri analizi ile araştırmanın geçerlilik ve güvenilirliği konularına yer verilmiştir.

2.1. Araştırmanın Deseni

Bu çalışma kapsamında öğretmen adaylarının uzamsal görselleştirme becerilerinin teknoloji ortamında gelişimini incelemek için nitel araştırma yöntemlerinden biri olan bireysel öğretim deneyi metodu (Steffe ve Thompson, 2000) kullanılmıştır. Bu metodun temel amacı araştırmacılara birinci elden öğrencilerin matematiksel öğrenme ve muhakemelerini yakından görme ve inceleme olanağı vermesidir. Bu metot araştırmacıya tek bir öğrenciyle bireysel olarak çalışma imkânı verebildiği gibi, birkaç öğrenci ya da bir sınıfla da çalışma imkânı sunabilir.

Öğretim deneyi bir dizi öğretim seansını içerir (Cobb ve Steffe, 1983, s. 83). Bireysel öğretim seansı kapsamında bir öğretim elemanı, bir öğrenci, öğretim seanslarına tanık olan bir gözlemci (meslektaş) bulunur ve öğretim seansında ortaya çıkanları kayıt altına almayı sağlayan bir araç (video kamera gibi) kullanılır (Steffe ve Thompson, 2000, s.274). Bu metotta, öğretim deneyine başlamadan önce, araştırmacı öğrenci seçimine ve araştırma amaçlarına rehberlik eden bir takım temel araştırma hipotezleri formüle edebilir (Steffe ve Thompson, 2000, s.277). Öğretim bölümleri boyunca bu hipotezleri test eden araştırmacı aynı zamanda öğrenenlerin kullandıkları dil ve eylemlerden yola çıkarak onların matematiksel bilgilerinin bir modelini inşa etmeye çalışır (Steffe, 1991, s.177). Fakat öğretim bölümleri boyunca öğrenenlerin tahmin edilenden farklı yolları ve işlemlerinin yanı sıra beklenmeyen hatalar yapmaları ana araştırma hipotezlerinden bazılarının terk edilmesini (Steffe ve Thompson, 2000, s.276) ya da yeniden düzenlenmesini zorunlu kılabilir. Böylesi bir durumda araştırmacı yeni ya da düzenlenmiş hipotezler ürettikten sonra onları takip eden öğretim seanslarında test eder ve yorumlar.

Bu çalışmada öğretim deneyi; Modelleme, öğretim seansları ve bireysel ön ve son görüşmeler olmak üzere üç bileşenden oluşmuştur (Yanık, 2006). Çeşitli uzamsal görevleri içeren ön görüşmelerle katılımcıların başlangıçtaki düşünme yolları, anlayışları ve zorluklarını tespit etmek, BYT'e dayalı olarak tasarlanan dinamik geometri öğrenme ortamında yürütülen öğretim seansları ile katılımcı zorluklarının üstesinden gelmek, onların düşünme yollarını anlayışlarını geliştirmeye çalışmak, son görüşmelerle öğretim

seanslarının düşünme yolları, anlayışları ve uzamsal zorlukları üzerine etkisini gözlemlemek ve modelleme ile katılımcıların gelişimlerinin tutarlı bir resmini oluşturmak amaçlanmıştır. Yapılan öğretim deneyinin amacı öğretmen adaylarının uzamsal görselleştirme becerilerinin zaman içerisindeki değişimi ve bu değişime etki eden olumlu ve olumsuz faktörlerin ortaya çıkartılmasıdır. Araştırmacı her bir öğretim seansı boyunca katılımcıların ne yaptıklarına, nasıl yaptıklarına ve neden yaptıklarına odaklanmıştır. Çalışma süresince araştırmacı, katılımcıların cevaplarının zaman içerisindeki değişimini resmedecek şekilde modellemeye çalışmıştır (Yanık, 2006). Bu konuyla ilgili detaylı bilgilere "Veri Toplama Süreci" bölümünde yer verilmiştir. Araştırmacı çalışma kapsamında araştırmacı kimliğinin yanında öğretmen rolünü de üstlenmiştir. Çalışma boyunca öğretim seanslarını bir meslektaşı ile birlikte tasarlamış, onun gözlemlediği bir ortamda bireysel olarak yürütmüş, kayıt altına almış ve meslektaşı ile birlikte analizini yapmıştır. Her bir öğretim seansının analizi bir sonraki öğretim seansının planlanmasında kullanılmıştır. Bu sürede araştırmacı her bir katılımcının öğretim seansları boyunca verdikleri cevapların analizine göre öngörülerde bulunmuştur. Her bir öğretmen adayının uzamsal problemlere yaklaşımı ve uzamsal düşünmeleri bir sonraki öğretim seansının odağını oluşturmuştur.

Çalışmanın temelini bireysel öğretim deneyi oluştursa da katılımcıların öğretim deneyi öncesi ve sonrası durumlarını resmetmede hem nitel hem nicel veriler toplanmıştır. Başka bir ifadeyle nitel ve nicel veri çeşitlemesinden yararlanılmıştır.

2.2. Çalışma Ortamı ve Katılımcılar

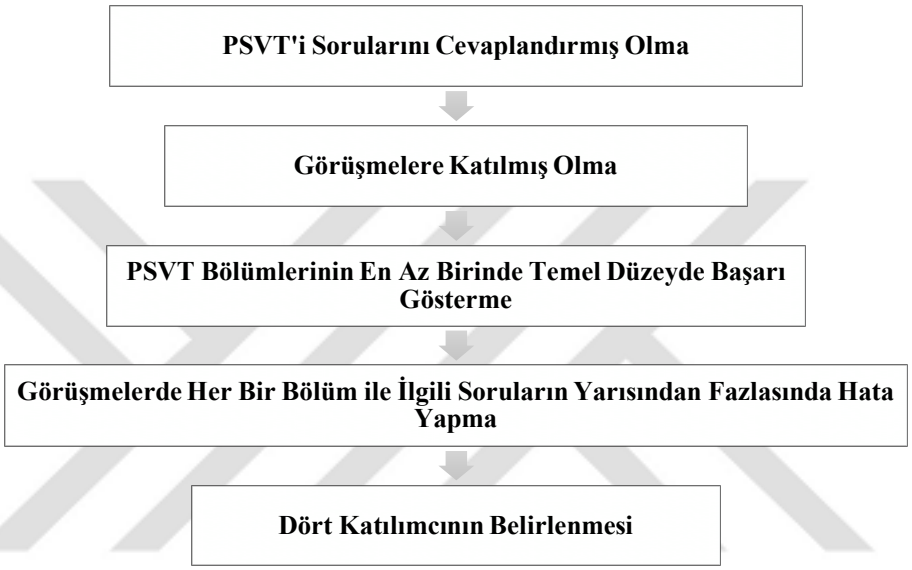
Bu çalışma 2015-2016 öğretim yılı Güz Döneminde İç Anadolu Bölgesi'ndeki bir devlet üniversitesinin Eğitim Fakültesine bağlı Matematik ve Fen Bilimleri Eğitimi Bölümü, Matematik Eğitimi Anabilim Dalı İlköğretim Matematik Öğretmenliği Programında öğrenim gören dört ikinci sınıf öğretmen adayı ile bireysel olarak gerçekleştirilmiştir. Katılımcıların seçiminde amaçlı örnekleme (Creswell, 2013; Palys, 2008; Palinkas vd., 2015; Tashakkori ve Teddlie, 2003) yöntemi kullanılmıştır. Amaçlı örnekleme araştırmacının araştırmasını kiminle, nerede ve nasıl yapacağı ile ilgili bir dizi seçime işaret eder (Palys, 2008, s. 697) ve ilgilenilen olgu ile ilişkili, bilgi açısından zengin durumların belirlenmesi ve seçimini içerir (Palinkas vd., 2015, s. 533). Amaçlı örneklemede, araştırmacıların amaçları ile örneklem seçimleri bağlantılıdır (Palys, 2008, s. 697) ve amaçlı örnekleme nitel araştırmalarda yaygın olarak kullanılan bir tekniktir.

Nicel araştırmalar seçilen örneklemden elde edilen bilginin popülasyonu temsil etmesiyle kısaca bilginin genelleştirilebilmesiyle ilgiliyken (Palinkas vd., 2015, s. 534), nitel araştırma daha az sıklıkta geniş bir grubun merkezi eğilimleri ile ilgilenmektedir (Palys, 2008, s. 697). Amaçlı örneklemede, yapılandırmacı paradigma içinde çalışan araştırmacılar tipik olarak bir durumu derinlemesine çalışmaya müsaade eden bilgi açısından zengin durumların belirlenmesi amacıyla örneklemlerini seçerler (Mertens, 2010, s.321).

Çalışma grubunun belirlenmesinde çekirdek bileşeni nitel olan nitel-nicel örnekleme tasarımı (Morse ve Niehaus, 2016) kullanılmıştır. Nitel çekirdek bileşen, olgunun zengin bir şekilde betimlenmesini sağlayacak amaçlı bir şekilde seçilmiş küçük bir örneklemi gerektirir (Morse ve Niehaus, 2016, s. 67), başka bir şekilde ifade etmek gerekirse çalışmanın altında yatan olgu bu uygun örneklem sayesinde ortaya çıkartılabilmelidir. Morse ve Niehaus'a (2016) göre araştırmacılar olgunun karakteristiklerini ve anlamını tanımlamayla ilgilendikleri için, çalışmada bulunacak en iyi kişiyi ya da kişileri seçmelidirler, bu ise çalışmaya katılacak kişilerin bilgi ve deneyimlerine aşina olmayı gerektirir. Görüşme yapılacak katılımcılar gerekli bilgi ve deneyimlere sahip olmalı, katılmak ve zaman ayırmak için istekli olmalı ve düşüncelerini açık, seçik, açıklayıcı ve yansıtıcı bir şekilde ifade edebilmelidirler (s.63-64). Çekirdek bileşeni nitel olan nitel-nicel tasarımda standartlaştırılmış nicel araç ya da araçlara gereksinim duyulmaktadır. Standartlaştırılmış dış normlara sahip nicel araç, nitel örneklemenin kasıtlı yanlılığının önüne geçmeyi sağlar (Morse ve Niehaus, 2016, s.67).

Bu çalışmada, çalışma grubunu oluşturan dört katılımcı, bir dizi sürecin sonunda amaçlı olarak seçilmiştir (Bkz. Şekil 2.1). Öncelikle, ikinci sınıf öğretmen adaylarına (n=91) PSVT (Guay, 1976) uygulanmış (testin detayları ve güvenirlik katsayıları veri toplama araçları kapsamında anlatılmıştır), ardından onlar içinden gönüllü 44 öğretmen adayı ile görüşmeler gerçekleştirilmiştir. PSVT'nin uygulandığı öğretmen adayları içinden açınım, döndürme ve yönelim bölümü başarı puanlarından en az biri temel düzeyde (örneğin, açınım bölümü puanı %50'nin altında olan, başka bir ifadeyle açınım bölümündeki 12 sorudan 6'sından azına doğru yanıt veren) olanlar ve yazılı değerlendirmenin açınım, döndürme ve yönelim bölümü sorularının (görüşmede açınım bölümü ile ilgili 10, döndürme ile ilgili 10 ve yönelim ile ilgili 10 soru sorulmuştur) yarısından fazlasında hata yapanlar belirlenmiştir. Böylece, PSVT'nin üç bölümünde de temel düzeyin üzerinde başarı gösteren öğretmen adayları elimine edilmiş, kalan adaylar

içinden yazılı değerlendirmenin üç bölümünde de düşük performans sergileyenler belirgin hale getirilmiştir. Bu grup içinden beş öğretmen adayı, derslerine giren öğretim elemanlarının görüşleri alınarak, düşüncelerini açık bir şekilde ifade etme, gönüllülük ilkesi gibi kriterler göz önünde bulundurularak seçilmiştir. Fakat öğretmen adaylarından birinin öğretim seanslarına düzenli bir şekilde katılmaması, öğretim deneyinin dört katılımcı ile tamamlanmasına neden olmuştur.



Şekil 2.1. *Katılımcıların Belirlenme Süreci*

Öğretmen adaylarının profillerini belirleme amacıyla yapılan çalışmalar, eğitim fakültelerinde öğrenim gören kız öğrencilerin sayısının, erkeklerden daha fazla olduğunu göstermektedir (Örneğin, Kiraz vd., 2010; Yüksek Öğretim Kurumu (YÖK), 2015; Bursal, 2016). Çalışmanın gerçekleştirildiği üniversitenin ilköğretim matematik öğretmenliği programında öğrenim gören öğrenciler için de durum benzerdir. İlköğretim matematik öğretmenliği ikinci sınıfta öğrenim gören ve görüşmelere katılan (42'si kız, 2'si erkek) öğrencilerin ağırlıklı olarak kız öğrencilerden oluşması, araştırmanın kız öğretmen adayları ile gerçekleştirilmesine neden olmuştur.

Öğretmen adaylarının yaşları 19 ile 20 arasında değişmektedir. Tuğçe, Melis ve Pınar, Anadolu Öğretmen Lisesi, Özge ise Anadolu Lisesi mezunudur. Üniversite giriş puanı en yüksek olan katılımcı Özge'dir. Tuğçe, Melis ve Pınar'ın üniversite giriş puanları ise birbirine yakındır. Çalışmanın başladığı tarihte dört öğretmen adayının da

ilköğretim matematik öğretmenliği programının ikinci sınıfına yeni başladığı bilinmektedir.

Çalışma sürecini dört katılımcı da düzenli olarak takip etmiştir. Tuğçe ve Pınar, bazı öğretim seanslarına ön görülenden daha fazla süre ayırmış (15-20 dakika), Melis ve Özge ise seansları ön görülen sürede tamamlamışlardır. Tuğçe ve Pınar, süreç boyunca çalışmanın kendilerine eğlenceli geldiğini belirten söylemlerde bulunurken, Melis çalışma sürecini ve sonucunu merak etttiğini ifade etmiştir. Diğer katılımcılardan farklı olarak Özge, son dört seans boyunca seans sayısının fazla olduğundan yakınan cümleler kurmuştur.

Öğretmen adaylarının uzamsal becerileri geliştirdiği ifade edilen belirli etkinliklere olan ilgilerini öğrenebilmek için onlara takip eden sorular sorulmuştur: (1) Resim ya da çizimde kendini yetenekli buluyor musun? (2) Bilgisayar oyunu ya da oyuları oynar mısın? Eğer oynuyorsan ne tür oyunlar oynuyorsun? (3) Öğrenim hayatın boyunca beden eğitimi dersleri dışında katıldığın spor aktivite ya da aktiviteleri oldu mu? Dört öğretmen adayı da resim ya da çizime yetenekli olmadıklarını, bilgisayar oyunu oynamadıklarını ve öğrenim hayatlarında belirli bir spor aktivitesine katılmadıklarını söylemişlerdir. Tuğçe ve Özge diğer iki katılımcıdan farklı olarak bireysel olarak belirli sporları (yüzme ve yürüyüş) yaptıklarını ifade etmişlerdir.

Çalışmanın yapıldığı tarih itibariyle ikinci sınıf öğretmen adaylarının matematik ve geometri alanları ile ilgili almış oldukları dersler Genel Matematik, Soyut Matematik, Geometri dersleri ile sınırlı olup çalışmanın yapıldığı sırada Analiz I, Lineer Cebir ve Metrik Uzaylara Giriş derslerini almaktaydılar. Tablo 2.1'de belirlenen bu dört öğretmen adayının PSVT testinin her bir bölümünden aldıkları puanlar yer almaktadır. Çalışmaya katılan öğretmen adaylarının her biri için bir kod ismi kullanılmıştır.

Tablo 2.1. *Katılımcıların PSVT'nin Açınım, Döndürme ve Yönelim Bölümlerindeki Puanları ve Başarı Yüzdeleri*

Öğretmen Adayları	PSVT (Purdue Uzamsal Görselleştirme Testi)					
	Açınım		Döndürme		Yönelim	
	n=12	%	n=12	%	n=12	%
Tuğçe	4	33	4	33	3	25
Melis	11	91	7	58	3	25
Pınar	2	16	7	58	2	16
Özge	7	58	5	41	4	33
Ortalama	6	50	6	48	3	25

Not: Testin her bir bölümü 12 sorudan oluşmaktadır ve her doğru soru için bir puan verilmiş, yanlış sorulara puan verilmemiştir.

Çalışma Cabri3D dinamik geometri öğrenme ortamında gerçekleştirildiği için öğretim seanslarından önce katılımcılara toplu halde bir ders saati boyunca Cabri3D'nin temel özellikleri anlatılarak onların çalışma kapsamında hazırlanan materyalleri rahatlıkla kullanabilecekleri bir düzeye getirilmiştir.

2.3. Veri Toplama Süreci

Araştırma kapsamında hem nitel hem nicel veriler toplanmış olsa da ağırlıklı olarak nitel verilere odaklanıldığı için çekirdek bileşeni nitel olan nitel-nicel yaklaşımın kullanıldığı söylenebilir. Araştırmada nitel ve nicel veri bulguları birleştirilerek, birtakım çıkarımlarda bulunulmuştur.

Çalışma kapsamında, nicel verileri toplamada, 'Katılımcı Ön-Son Purdue Uzamsal Görselleştirme Testi Cevap Kağıtları, Ön-Son Yazılı Değerlendirme Cevap Kâğıdı ve Ön-Son Yazılı Değerlendirme Sorularının Algılanan Zorluğu ile İlgili Katılımcı Derecelendirme Puanları' kullanılmıştır. Ön PSVT cevapları ile katılımcıların mevcut uzamsal becerilerinin ne düzeyde olduğu, ön görüşme cevap kâğıtları ile katılımcıların seanslar öncesi uzamsal görevlerde ne oranda hatalar yaptıkları ve ön uzamsal zorluk derecelendirme puanları ile başlangıçta katılımcıların görevleri ne derece zor buldukları nicel olarak belirlenmiştir. Son PSVT, son yazılı değerlendirme cevap kâğıdı ve son uzamsal zorluk derecelendirme puanları ile eğitimin katılımcıların sırayla uzamsal becerilerine, hata oranlarına ve son uzamsal zorluk derecelendirme puanlarına etkisi nicel olarak incelenmiştir. Nitel verileri toplamada, Ön-Son Görüşmeler, Öğretim Deneyi Boyunca Yapılan Öğretim Seansları, Öğretim Seanslarındaki Katılımcı Cevap Kâğıtları ve Araştırmacı Günlüğü kullanılmıştır. Ön görüşmelere, katılımcıların seanslar öncesinde uzamsal görevleri zor ya da kolay olarak nitelendirmelerinin altında yatan nedenleri, her bir uzamsal görev türünde katılımcıların ne tür hata profillerini sergiledikleri ve bu hata profillerine neden olan katılımcı davranışlarını belirlemek için, son görüşmelere, öğretim seanslarının görevlerin algılanan zorluğuna etkisini ve katılımcıların uzamsal şemalarında ne tür değişiklikler meydana geldiğini belirlemek için başvurulmuştur.

Çalışmada veri toplamanın merkezini: '(1) Göreve dayalı bireysel ön klinik görüşmeler, (2) Öğretim seansları kapsamında yapılan gözlem ve değerlendirmeler ve (3) Göreve dayalı bireysel son klinik görüşmeler' şeklinde üç aşamalı bir süreç oluşturmaktadır. Matematik öğretmen adaylarının uzamsal görselleştirme becerilerinde gelişim meydana gelip gelmediğini belirleyebilmek için, çalışmanın başında ve sonunda

PSVT sınavı uygulanmıştır. Veri toplama süreci Tablo 2.2'de özetlenmiştir. Tablonun sol sütununda, veri toplama süreci kapsamında yapılan uygulamalara, sağ sütununda ise bu uygulamalar kapsamında yapılan değerlendirmelere yer verilmiştir.

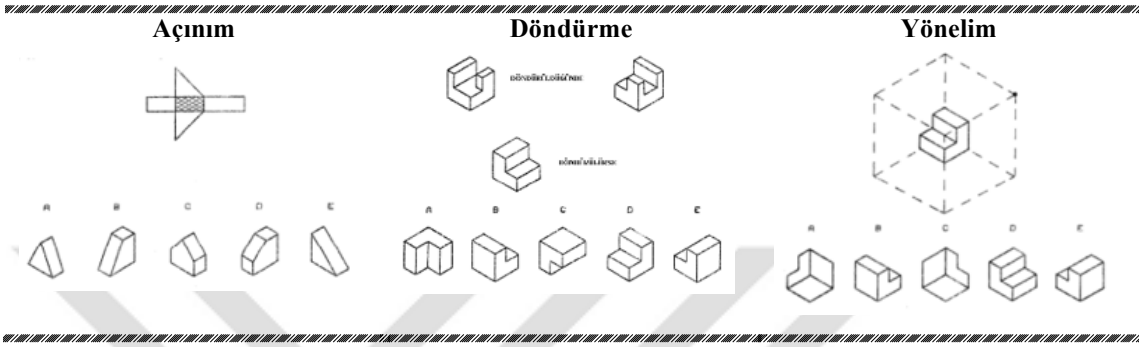
Tablo 2.2. *Verilerin Toplanma Süreci*

Uygulama		Değerlendirme
PSVT	**Ön Değerlendirme**	Katılımcı PSVT Puanları
Yazılı Değerlendirme Görevleri		Katılımcı Hata Profilleri ve Hata Oranları
Yazılı Değerlendirme ile İlgili Olarak Yapılan Görüşmeler		Hatalara Neden Olan Katılımcı Davranışları ve Hataların Altında Yatan Faktörler
Görevlerin Algılanan Zorluğu ile İlgili Anket		Görevlerin Algılanan Zorluğu ile İlgili Katılımcı Derecelendirme Puanları
Görevlerin Algılanan Zorluğu ile İlgili Olarak Yapılan Görüşmeler		Zor ya da Kolay Olarak Nitelendirilen Görevlerle İlgili Katılımcı Görüşleri
⬇		⬇
Açınım Döndürme ve Yönelim Bölümü Seansları	**Öğretim Seansları**	BYT Referans Alınarak Tasarlanmış Cabri3D Öğrenme Ortamında Hata Oranlarını Düşürmeye ve Görevlerin Algılanan Zorluğunu Azaltmaya Yönelik Olarak Yürütülen Etkinliklerin Etkisinin İncelenmesi
⬇		⬇
Yazılı Değerlendirme Görevleri	**Son Değerlendirme**	Ön ve Son Yazılı Değerlendirme Katılımcı Hata Oranlarının Karşılaştırılması
Yazılı Değerlendirme ile İlgili Olarak Yapılan Görüşmeler		Hata Oranlarının Değişiminde Etkili Olan Faktörlerin Belirlenmesi
Görevlerin Algılanan Zorluğu ile İlgili Anket		Ön ve Son Yazılı Değerlendirme Görevlerinin Algılanan Zorluğu ile İlgili Katılımcı Derecelendirme Puanlarının Karşılaştırılması
Görevlerin Algılanan Zorluğu ile İlgili Olarak Yapılan Görüşmeler		Son Yazılı Değerlendirmede Zor ya da Kolay Olarak Nitelendirilen Görevlerle İlgili Katılımcı Görüşlerinin Belirlenmesi
PSVT		Katılımcı Ön ve Son PSVT Puanlarının Karşılaştırılması

2.3.1. Purdue Uzamsal Görselleştirme Testi (PSVT) ön değerlendirmesi

Matematik öğretmen adaylarının uzamsal görselleştirme becerilerini gözlemlemede ön değerlendirme araçlarından biri olarak PSVT'e başvurulmuştur. PSVT Roland Guay (1976) tarafından geliştirilmiş, bireylerin uzamsal görselleştirme becerilerini değerlendirmede kullanılan bir testtir. PSVT'de, açınım, döndürme ve yönelim olmak üzere üç bölüme ait sorular yer almaktadır (Bkz. Şekil 2.2).

Her bir bölümde 12 soru bulunmaktadır ve testin tamamı 36 sorudan oluşmaktadır. Çalışma kapsamında PSVT'e üç durumda başvurulmuştur: (1) Matematik öğretmen adayları içinden çalışma katılımcılarını belirleyebilmek, (2) PSVT'e göre çalışma katılımcılarının başlangıç performanslarını değerlendirebilmek, (3) Son görüşmelerden sonra öğretim seanslarının katılımcıların PSVT puanlarına etkisini inceleyebilmek.



Şekil 2.2. *PSVT (Açınım, Döndürme ve Yönelim Bölümü Soru Örnekleri)*
Kaynak: *Guay, 1976, s.1,10, 19.*

PSVT'nin *Açınım Bölümünde,* geometrik bir cismin iç yüzeyinin taban düzlemine açınımı katılımcılara sunulmakta ve onlardan açınımı zihinlerinde katlayarak kapalı cisim yüzeyini oluşturmaları beklenmektedir. *Döndürme Bölümünde,* katılımcılara bir cisim ve döndürülmüş görüntüsü sunulmakta, onlardan bu cisme uygulanan dönme hareket ya da hareketlerini belirleyip, başka bir cisme uygulamaları istenmektedir. *Yönelim Bölümünde,* katılımcılara saydam bir küpün ortasına konumlandırılmış bir cisim sunulmakta, onlardan küpün köşe noktalarından birinden cisme bakıldığında elde edilecek görüntüyü zihinlerinde canlandırmaları beklenmektedir (Bkz. Şekil 2.2).

2.3.2. Göreve dayalı ön klinik görüşmeler

Araştırmacı her bir katılımcı ile birinci öğretim seansı öncesinde onların uzamsal görselleştirme becerilerini daha detaylı bir şekilde inceleyebilmek amacıyla göreve dayalı bireysel klinik görüşmeler gerçekleştirmiştir. Bu görüşmelerin amacı özellikle her bir katılımcının çalışma öncesindeki mevcut görselleştirme düzeylerini açınım, döndürme ve yönelim bölümleri kapsamında inceleyip bu bölümlere ait görevleri nasıl yaptıkları, nerelerde ve niçin zorlandıkları ile soru yapısının bu süreçteki rolünü anlamaktır.

Görüşme soruları hazırlanırken çeşitli kaynaklardan (Guay, 1976; Parmak, 2016) yararlanılmıştır. Bazı sorular doğrudan alınırken, bazıları düzenlenmiş, bazıları ise araştırmacı tarafından hazırlanmıştır (örnek ön görüşme soruları için EK 8-11'e bakınız). Bu süreçte Bilişsel Yük Teorisi (Sweller, 1994; Paas, Renkl ve Sweller, 2003; Sweller, 2010) rehber olmuştur. Görüşme sorularının tasarlanmasında görevlerin iç bilişsel yüklerini artıran ve azaltan öğe ve etkileşimli öğe miktarı göz önünde bulundurulmuştur. Örneğin, açınım bölümü için yüz sayısı yediden az (yediye eşit de olabilir) ya da yediden fazla olan cisimler, yan yüzleri tabana dik ya da eğik konumda bulunan cisimler, yüzeyinde dış bükey ya da iç bükey geometrik şekle sahip yüz bulunduran cisimler, açınım örüntüsünü kapatmak için ondan az ya da ondan daha fazla (ona eşit de olabilir) ilişkilendirme gerektiren cisimler, aşina olunan, aşina bir cismin bir düzlemle kesilmesi ya da aşina cisimlerin faklı şekillerde kombine edilmesiyle oluşmuş cisimlerin yüzey açınım görevlerine yer verilmiştir.

Öge, öğrenilmeye ihtiyaç duyulan herhangi bir materyal ya da bilgi (Sweller, 1994, s.304-305), ya da bir şemadır (Sweller, Van Merrienboer ve Paas, 1998, s. 259). Öge terimi öğrenilmekte olan bir kavram ya da bir işlem (prosedür) için de kullanılabilmektedir. Bir cismin yüzey açınımı görevinde, bir cismin yüzeyi üzerinde bulunan geometrik bir şeklin geometrik özelliklerini kâğıt düzlemi üzerine birebir yansıtarak çizmek için, önce cisim üzerinde bulunan şeklin kenar uzunluklarını ve açılarını ölçmek, sonra kâğıt üzerine şekli belirli bir köşe noktasından başlayarak inşa etmek gerekmektedir. Burada şeklin inşa edilme prosedürü bir öge olarak kabul edilebilir. Oysa 3B'li bir cismin yüzey açınımını yapma, cisme ait bir yüzün geometrik özelliklerini kâğıt düzlemine yansıtmaktan daha fazlasını gerektirmektedir. Cismi açmak için gerekli eylem zincirini zihinde canlandırma, açınım geometrik örüntüsünde cismin her bir yüzünü zihinde canlandırılan eylem zincirini dikkate alarak doğru bir şekilde konumlandırma, geometrik açınım örüntüsünü oluştururken cismin kapanış sürecini eş zamanlı olarak hafızada bulundurarak açınımın kapanması için birleşmesi gereken kenar çiftlerinin aynı uzunlukta olması gerektiğini hesaba katmayı gerektirmektedir. Başka bir deyişle cismin yüzey açınımını yapma görevinde birden fazla öge etkileşim halindedir. Çalışan bellek içinde aynı anda işlenmesi gereken öge sayısı çalışan bellek yükünü belirler. Çalışan bellek yükü, çalışan bellek içinde eş zamanlı olarak işlenmesi gereken ögelerin miktarına başka bir ifadeyle öge etkileşiminin genişliğine bağlıdır (Sweller, Van Merrienboer ve Paas, 1998, s. 259). Çalışan bellek içinde işlenebilecek öge ya da

etkileşimli öge miktarı, bireyin ön deneyimleri ve sahip olduğu şemalar tarafından belirlenmektedir. Örneğin, aşina cisimlerden olan prizmaların yüzey açınımını yapma görevlerinde uzmanlaşmış bir kişi, bu cisimlerin yüzey açınımlarını yapmak için gerekli şemalara sahiptir ve onlar bu tür görevleri kolay olarak algılamaktadırlar. Oysa aşina cisimlerin yüzey açınımlarında acemi olanlar için aynı durum söz konusu değildir. Acemi olanlar bu tür görevleri yapmak için ön deneyime ve gerekli şemaların hepsine sahip değildirler. Acemi öğrenenler için aşina cisimlerin yüzey açınımlarını yapmak oldukça zordur çünkü onlar bu tür cisimlerin yüzey açınımlarını yapmak için ön deneyime ve gerekli şemaların hepsine sahip değildirler. Başka bir şekilde ifade etmek gerekirse bu tür görevler acemi olanların çalışan bellek kapasitesini aşacak kadar etkileşim halinde ögeye sahiptir. Uzmanlar için bu tür görevler birer ögeyken, acemi olanlar için etkileşim halindeki birçok ögeden oluşmaktadır. Neye öge denileceği, materyali öğrenen kişinin deneyimi ve uzmanlığına bağlı olarak belirlenmektedir (Sweller ve Chandler, 1994, s.190). Döndürme ve yönelim bölümleri için de benzer örnekler bulunabilir.

Ön görüşmeler kapsamında açınım bölümü için iki, döndürme bölümü için iki kategoriden oluşan görevler hazırlanmıştır. Başlangıçta yer alan kategoriye (ya da kategorilere) öge etkileşiminin daha az olduğu karmaşıklık düzeyi az, son kategoriye (ya da kategorilere) öge etkileşiminin fazla olduğu karmaşıklık düzeyi fazla olan görevler yerleştirilmiştir. Açınım bölümü için birinci kategori kapsamında katılımcılara prizma, piramit, kesik prizma gibi cisimler, ikinci kategori kapsamında ise prizma ve kesik prizma gibi cisimlerin iki ya da üçünün kombine edilmesi ile oluşmuş cisimler sunulmuştur (Bkz. Tablo 2.3). Her bir kategoride hazırlanan görevlerin karmaşıklık derecesi aşamalı olarak artırılmıştır. Örneğin, ikinci kategoride önce iki cismin kombine edilmesiyle oluşan cisimlere, sonra üç cismin kombine edilmesiyle oluşan cisimlere yer verilmiştir.

Tablo 2.3. *Açınım Görevlerine Yönelik Kategoriler ve Özellikleri*

Kategori	Açınım Bölümü Ön Görüşme Görevleri
1. Kategori	Üçgen prizma ve piramit gibi aşina, kesik dikdörtgenler prizması gibi modifiye cisimler
2. Kategori	İki cismin ve üç cismin kombine edilmesiyle oluşan cisimler

Görevlerin karmaşıklığından kaynaklanan iç bilişsel yükün ölçülmesinde görev analizlerine ve uzman görüşüne başvurulmuştur. Görev analizleri ile katılımcıların hangi soru türlerinde daha çok hata yaptıkları ve hangi görev türlerinin hangi katılımcılar tarafından algılanan bilişsel yükünün daha fazla olduğu belirlenirken, uzman görüşü ile

bu durumun arkasında yatan nedenler belirlenmiştir. Örneğin, bir katılımcı bir cismin yüzey açınımını yaparken, yüzlerden birini geometrik özelliklerine göre çizmede hata yapmışsa, uzmanlar bu durumun katılımcıların algılarından mı yoksa geometrik şekli inşa etmek için gerekli şemaların eksikliğinden mi kaynaklandığı ile ilgili ön görülerde bulunmuşlardır. Görüşmeler esnasında katılımcılardan önce, verilen cisimlerin yüzey açınımlarını, cisimlerin geometrik özelliklerini göz önünde bulundurarak kareli kâğıtlar üzerine cetvel, gönye, iletki gibi materyallerden yararlanarak inşa etmeleri, sonra yaptıkları çizimleri anlatmaları istenmiştir. Katılımcıların cismin yüzlerinin geometrik özelliklerini belirledikten sonra, cisimlerin yüzey açınımlarını, açınımlarının kapanacağını da düşünerek kareli kâğıt üzerine gerekli materyalleri (cetvel, gönye gibi) kullanarak inşa etmeleri beklenmektedir.

Benzer şekilde zihinde döndürme görevleri de basitten karmaşığa doğru bir sırayı takip edecek şekilde tasarlanmıştır. İlk kategorideki görevler tek eksende, ikinci kategorideki görevler ise iki eksende dönme hareketi ile ilgilidir. İlk kategoride bir cisim ve onun tek eksende döndürülmüş görüntüsü sunularak bu cismin dönme hareketini analitik olarak ifade etme ve/veya tek eksende döndürülmüş bir cisme göre başka bir cismi döndürme görevleri sunulmuştur. İkinci kategori görevler, katılımcıların iki eksende döndürülmüş bir cismin dönme hareketlerini analitik olarak ifade etmeleri ve iki eksende döndürülmüş bir cisme göre başka bir cismi döndürmeyi içermektedir (Bkz. Tablo 2.4).

Tablo 2.4. *Döndürme Görevlerine Yönelik Kategoriler ve Özellikleri*

Kategori	Döndürme Bölümü Ön Görüşme Görevleri
1. Kategori	Tek eksende döndürülmüş cisim nasıl döndürüldüğünü analitik olarak ifade etme ve/veya tek eksende döndürülmüş bir cisme göre başka cismi döndürme
2. Kategori	İki eksende döndürülmüş cisim nasıl döndürüldüğünü analitik olarak ifade etme ve iki eksende döndürülmüş cisme göre başka bir cismi döndürme

Tek eksende döndürülmüş bir cismin dönme hareketinin analitik ifadesi örneğin, ‘x ekseni etrafında saat yönünde 90 derece (x-sy-90) döndürülmüş’ şeklinde, iki eksende döndürülmüş bir cismin dönme hareketinin analitik ifadesi ise ‘önce z ekseni etrafında saat yönünde 180 derece, sonra y ekseni etrafında saat yönü tersinde 90 derece (önce: z-sy-180, sonra: y-syt-90) döndürülmüş’ şeklindedir. Döndürülmüş bir cisme göre başka bir cismi döndürme görevlerinde (ikinci ve dördüncü kategori) ise katılımcılardan hem ilk cismin dönme hareketlerini analitik olarak ifade etmeleri, hem de analitik olarak ifade

ettikleri biçimde ikinci cisme dönme hareketlerini uygulasalardı elde edilecek görüntünün nasıl olacağını anlamlı bir yol içerisinde anlatmaları ve çizim yapabiliyorsa izometrik kâğıt üzerine elde edilecek 3B'li görüntüyü inşa etmeleri beklenmektedir.

Zihinde döndürmeyle ilgili görüşmeler sırasında katılımcıların dönme ekseni (x-, y- ya da z-ekseni), dönme yönü (saat yönü ya da tersi) ve dönme açısı (90^o, 180^o ya da 270^o) ölçüsü gibi bileşenler ile cismin üst/alt, sağ/sol ve ön/arka bileşenlerine odaklanmaları sağlanmıştır. Yapılan görüşmeler sırasında katılımcılara (1) Cisim x-ekseninde saat yönünde 90 derece döndürülürse nasıl bir görüntü oluşur? (2) Cisim x-ekseninde saat yönü tersinde 90 derece döndürülseydi nasıl bir görüntü oluşurdu? (3) Cisim hangi eksen etrafında döndürülmüş? (4) Cisim hangi yönde ve kaç derecelik açıyla döndürülmüş? gibi sorular yöneltilmiştir.

Ön görüşmeler kapsamında uzamsal görselleşmenin yönelim bölümü iki alt bölümde ele alınmıştır. Birinci yönelim bölümü küp içerisinde yer alan bir yapıya altı farklı yönden (ön/arka, sağ/sol ve üst/alt) bakma görevlerini içerirken, ikinci yönelim bölümü küp ortasında yer alan bir cisme küpün köşe noktalarından bakma görevlerini içermiştir (Bkz. Tablo 2.5).

Tablo 2.5. *Yönelim Bölümlerindeki Görevler ve Özellikleri*

Bölümler	Yönelim Bölümü Ön Görüşme Görevleri
Birinci Yönelim Bölümü	Birim küplü bütünleşik ve bütünleşik olmayan yapılar
	Eğik ya da eğrisel yüze sahip orta derecede karmaşık yapılar
	Eğik ve/veya eğrisel yüze sahip karmaşık yapılar
İkinci Yönelim Bölümü	İç bükey prizmaya küpün üst köşe noktalarından birinden bakma
	Kombine cisme küpün üst köşe noktalarından birinden bakma
	İç bükey prizmaya küpün alt köşe noktalarından birinden bakma
	Kombine cisme küpün alt köşe noktalarından birinden bakma

Birinci yönelim bölümü görevlerinin karmaşıklık derecesini aşamalı olarak artırmak için küp içerisinde yer alan yapıların karmaşıklık derecesi aşamalı olarak artırılmıştır. Birinci yönelim bölümü görevlerinde yer alan yapılar karmaşıklık derecesi nispeten daha az olanlardan daha fazla olanlara doğru şu şekilde sıralanabilir: Birim küplü yapılar, birkaç yüzü eğik ya da eğrisel olan orta derece karmaşık yapılar ve eğik ve/veya eğrisel yüzlere sahip karmaşık yapılar. Katılımcılardan küp içerisine yerleştirilen yapılara görevde belirtilen ön/arka, sağ/sol ve üst/alt taraflarından bakıldığında elde edilecek görüntülerin her birini kareli kâğıda çizmeleri istenmiştir. Birinci yönelim bölümündeki görevlerde katılımcılardan 3B'li yapıya belirli bir yönden bakıldığında yapının nasıl

görüneceğini geometrik dili kullanarak tarif etmeleri ve kareli kâğıt üzerine 2B'li görüntüyü yapının geometrik özelliklerine dikkat ederek inşa etmeleri beklenmektedir. Görüşmelerde katılımcılara, ilk olarak oklarla yönlerin (ön/arka, sağ/sol ve üst/alt seklinde) tarif edildiği küpün içinde bulunan 3B'li bir yapı gösterilmiştir (Bkz. Örnek sorular için EK-10). Onlardan (1) Yapıya nerden bakıyorsun gösterir misin? (2) Yapıya belirtilen yönden baktığında yapının hangi kısımlarını görürsün? (3) Nasıl bir görüntü oluşur tarif eder misin? (3) Neler çizdin anlatır mısın? (4) Çizdiğin kısımları yapı üzerinde gösterir misin? gibi sorular yöneltilmiştir.

İkinci yönelim bölümü kapsamındaki görevler küp ortasında yer alan bir cisme, küpün üst köşe noktalarından birinden bakmayı ve küpün alt köşe noktalarından birinden bakmayı gerektirecek şekilde hazırlanmıştır. Görevlerin karmaşıklık derecesini artırmak için, önce küpün içerisine iç bükey prizmalar, sonra kombine cisimler yerleştirilmiştir. İkinci yönelim bölümünde katılımcılardan küpün belirtilen noktasından cisme baktıklarında cismin hangi kısımlarını göreceklerini tarif etmeleri, elde edilecek görüntüyü anlatmaları ve izometrik kâğıda çizmeleri istenmiştir. Görüşmelerde katılımcılara, cisme bakacakları köşe noktası işaretlenerek ve etiketlenerek gösterilmiştir. Onlara küpün belirtilen köşe noktasında bulunsaydın (1) Cismin hangi kısımlarını görürdün? (2) Elde edilecek görüntüyü izometrik kâğıda çizebilir misin? (3) Eğer cismin 3B'li görüntüsünü izometrik kâğıda inşa edemiyorsan, cismin görünecek kısımlarını parça parça çizebilir misin? (4) Nasıl bir görüntü oluşur, tarif eder misin? gibi sorular sorulmuştur.

Katılımcılar her bir bölümde (açınım, döndürme ve yönelim) yer alan görevleri yerine getirdikten sonra, onlardan hangi soruları diğerlerine göre kolay ya da zor bulduklarını nedenleri ile anlatmaları istenmiştir. Ardından katılımcılardan her bir görevi ne derece zor bulduklarını 1'den 9'a kadar değişen değerlerle eşleştirmeleri istenmiştir. Görevlerin algılanan zorluğu ile ilgili derecelendirme ölçeği semantik birimlerden oluşmaktadır. 1 rakamı görevin çok çok basit olarak algılandığına işaret ederken, 9 rakamı görevin çok çok zor olarak algılandığını göstermiştir.

Katılımcılar ön görüşmeler sırasında Cabri3D dinamik geometri programını kullanmamışlar ve görüşme sorularını basılı kâğıtlar üzerinde görmüşlerdir. Basılı olarak sunulan görevler katılımcıların cisim ve yapıları zihinlerinde canlandırmalarını gerektirmektedir; onun için dış bilişsel yükleri oldukça fazladır. Bu şekilde bir sunum katılımcıların cisim ve yapıların görünmeyen yüzeylerinin ne tür geometrik şekillerden

oluştuğu ile ilgili tutarlı tahminlerde bulunmalarını gerektirmektedirler. Ayrıca katılımcıların basılı materyalden cisim ve yapıların geometrik özellikleri (örneğin, cisim ya da yapıda bulunan bir şeklin kenarlarının uzunlukları ve açılarının ölçüleri gibi), kenarlar ve ayrıtların paralellikleri ve orantısal özellikleri hakkında muhakemede bulunmaları gerekmektedir.

Katılımcıların ilgili görevleri cevaplandırmaları esnasında ihtiyaç duymaları halinde kullanabilecekleri kareli ve izometrik kâğıtlar, kurşun kalem, cetvel, gönye, iletki, renkli kalemler gibi materyaller sağlanmıştır. Katılımcılardan önce basılı olarak sunulan görüşme sorularını cevaplandırmaları istenmiştir. Katılımcılara soruları cevaplandırmaları için 90 dakika süre verilmiştir, onların istekleri doğrultusunda bu süre 15 dakika uzatılmıştır. Araştırmacı katılımcıların yazılı ve çizimler yaparak cevaplandırdıkları görüşme sorularındaki düşünme yollarını anlayabilmek için onlarla görüşmeler yapmıştır. Görüşmeler video ile kayıt altına alınmıştır. Her bir görüşme ortalama 1 saat sürmüştür. Görüşmelerde katılımcılardan soruları nasıl cevaplandırdıklarını anlatmaları istenmiştir, araştırmacı, mümkün olduğunca onların verilen soruları çözerken nasıl düşündüklerini anlamaya çalışmıştır. Her bir görüşmenin dökümleri yapıldıktan sonra, analizleri gerçekleştirilerek birinci öğretim seanslarının planlanması yapılmıştır.

2.3.3. Öğretim seansları

Öğretim seanslarının amacı BYT'e dayalı olarak hazırlanmış teknoloji destekli materyallerin kullanıldığı bir öğretim ortamı oluşturarak katılımcıların uzamsal görselleştirme becerilerini geliştirme fırsatları yaratmak ve böylelikle araştırmacının bu süreci yakından incelemesini sağlamaktır. Öğretim seanslarını içeren, araştırma boyunca takip edilen çalışma takvimi Tablo 2.6'da yer almaktadır.

Araştırmacı her bir katılımcı ile haftada bir kere olmak üzere yaklaşık 90 dakika boyunca öğretim seansları kapsamında bir araya gelmiştir. Öğretim seanslarında uzamsal görselleştirmenin sırasıyla açınım, zihinde döndürme ve yönelim bölümlerine odaklanılmıştır. Her bir bölüm için ortalama dörder öğretim seansı yapılmıştır. Öğretim deneyi yaklaşık üç ay sürmüştür.

Öğretim seansları kapsamında araştırmacı her bir katılımcı ile bireysel iletişim kurarak onların açıklamalarını dinlemiş ve yapılan etkinliklerle ilgili sorular yöneltmiştir. Her bir öğretim seansının ardından araştırmacı bir meslektaşı ile bir araya gelerek

katılımcıların uzamsal görselleştirme becerilerini tartışmışlar ve mevcut durumlarını geçmiş öğretim seanslarıyla karşılaştırarak birlikte tekrar analiz etmişlerdir.

Öğretim seanslarının tasarlanmasında katılımcıların ön klinik görüşme sorularına verdikleri cevaplar rehberlik etmiştir. Ön klinik görüşmelerin yapılan analiz sonuçlarına göre öğretim seansları kapsamında test edilmek üzere çeşitli hipotezler oluşturulmuştur.

Tablo 2.6. *Çalışma Takvimi*

		Çalışma Takvimi		**Öğretim Seansları İçeriği**
		Tarih	**Uygulama**	**Açıklama**
Öğretim Seansları		9 Ekim 2015	PSVT	Uzamsal görselleştirme testi
		16 Ekim 2015	Ön Klinik Görüşme	Uzamsal görselleştirmenin açınım, döndürme ve yönelim bölümlerini içeren görüşme
	Açınım	9 Kasım 2015	Seans 1	1. Kategori cisimlerin yüzey açınım aktiviteleri
		16 Kasım 2015	Seans 2	2. Kategori cisimlerin yüzey açınım aktiviteleri
		23 Kasım 2015	Seans 3	3. Kategori cisimlerin yüzey açınım aktiviteleri
		29 Kasım 2015	Seans 4	4. Kategori cisimlerin yüzey açınım aktiviteleri
	Döndürme	6 Aralık 2015	Seans 1	1. Kategori zihinde döndürme aktiviteleri
		12 Aralık 2015	Seans 2	2. Kategori zihinde döndürme aktiviteleri
		15 Aralık 2015	Seans 3	3. Kategori zihinde döndürme aktiviteleri
		20 Aralık 2015	Seans 4	4. Kategori zihinde döndürme aktiviteleri
	Yönelim	26 Aralık 2015	Seans 1	1. Kategori perspektif alma aktiviteleri
		2 Ocak 2016	Seans 2	2. Kategori perspektif alma aktiviteleri
		9 Ocak 2016	Seans 3	3. Kategori perspektif alma aktiviteleri
		12 Ocak 2016	Seans 4	4. Kategori perspektif alma aktiviteleri
		5 Şubat 2016	Son Klinik Görüşme	Uzamsal görselleştirmenin açınım, döndürme ve yönelim bölümlerini içeren görüşme
		7 Şubat 2016	PSVT	Uzamsal görselleştirme testi

Dinamik geometri öğrenme ortamında gerçekleştirilecek öğretim seansları tasarlanırken BYT esas alınmıştır. BYT'e göre öğrenmenin sağlanabilmesi için katılımcıların çalışan belleklerindeki asıl, konu dışı ve etkili yüklerinin toplamının, onların çalışan bellek kapasitelerini geçmemesi gerekmektedir. Asıl yük katılımcıların ön öğrenmeleri ve görevlerdeki etkileşimli öge miktarından, konu dışı yük öğretimde kullanılan materyallerden ve etkili yük öğretim etkinliklerinden kaynaklanmaktadır. Bilişsel yükün azaltılamaz ve oynanamaz bölümü asıl bilişsel yüktür, bu nedenle çoklu

ortam tasarlanırken, öğrencilerin, sunulan bilgileri uzun süreli belleğe aktarmalarını kolaylaştıracak adımlar atmak, böylece konu dışı bilişsel yükü azaltarak etkili bilişsel yükü artırmaya çalışmak (Akbulut, 2014, s.45-46), öğretim tasarımcılarının kontrolü altındadır. Katılımcıların asıl yüklerini optimum düzeyde tutarak, konu dışı yüklerini azaltıcı ve etkili yüklerini artırıcı şekilde bir öğretim tasarımının, onların uzamsal görselleştirmenin açınım, döndürme ve yönelim bölümleri ile ilgili mevcut kavramsal şemalarını geliştireceği ve yeni kavramsal şemalar kazanmalarına katkı sağlayacağı düşünülmüştür. Başka bir ifadeyle katılımcıların bilişsel yükleri dikkate alınarak hazırlanan öğretim tasarımının katılımcıların mevcut şemalarının yetersizliğinden kaynaklanan hata oranlarında ve soruların algılanan zorluğu ile ilgili derecelendirme puanlarında azalma meydana getireceği ön görülmüştür.

Göreve dayalı ön klinik görüşmelerle katılımcıların hangi görev türlerinde ne tür hatalar yaptıkları, bu hatalarının altında yatan nedenler, hangi soruları diğerlerinden kolay ya da zor buldukları ve soruların algılanan zorluğunun altında yatan nedenler belirgin hale getirilmiştir. Başka bir deyişle hangi görevlerin katılımcıların bilişsel yüklerini ne oranda etkilediği ve bunda görevlerin hangi özelliklerinin etkili olduğu göz önünde bulundurularak dinamik geometri öğrenme ortamında gerçekleştirilecek öğretim seansları tasarlanmıştır. Öğretim seansları katılımcıların çalışan bellek kapasitelerini aşmayacak fakat onu maksimum düzeyde kullanmalarını sağlayacak şekilde geliştirilmiştir. Öğretim seansları tasarlanırken katılımcıların öğretme materyal ve ortamından kaynaklı dış bilişsel yükleri, öğrenilecek materyaldeki öge ve etkileşimli öge miktarından kaynaklı iç bilişsel yükleri ve öğrenme etkinliklerinin planlanmasını içeren etkili bilişsel yüklerinin toplamı optimum düzeyde tutacak etkinlik ve aktivitelere yoğunlaşılmıştır. Uzamsal görselleştirmenin açınım, döndürme ve yönelim bilişenlerini geliştirmeye yönelik öğretim seanslarının nasıl tasarlandığı aşağıdaki yer alan üç alt başlık boyunca sunulmaktadır.

2.3.3.1. *Açınım bölümü öğretim seansları*

Açınım bölümü öğretim seansları boyunca öğretmen adaylarından sunulan cisimlerin yüzey açınımlarını, cisim yüzlerinin geometrik özelliklerini hesaba katarak kareli kağıtlar üzerine cetvel, gönye ve iletki yardımıyla inşa etmeleri istenmiştir. Öğretim seansları boyunca öğretmen adaylarının asıl yüklerini yönetmek için takip eden cisimlerin yüzey açınım çizimlerini yapmayı içeren etkinliklere verilmiştir. Açınım

bölümü birinci öğretim seansında aşina olunan 3B'li geometrik cisimler, ikinci öğretim seansında modifiye cisimler, üçüncü öğretim seansında iki cismin kombine edilmesiyle oluşan yeni cisimler ve dördüncü öğretim seansında üç cismin kombine edilmesiyle oluşan yeni cisimler kullanılmıştır (Bkz. Tablo 2.7).

Cabri3D materyalleri tasarlanırken katılımcıların ön yazılı değerlendirme hataları ve görevlerin zorluğu hakkında düşünceleri göz önünde bulundurulmuştur. Materyalden kaynaklanan dış yükleri ile baş edebilmeleri için öğretmen adaylarının Cabri3D'e başvurmalarına imkan sağlanmıştır. Cabri3D'e materyallerine ne tür durumlarda nasıl başvurulabileceği takip eden dört maddede ele alınmıştır. Bunlar: (1) Cismin yüzlerinin hepsinin açınım çizimlerine yansıtmamasından kaynaklanabilecek hatalar (A1) için yüzlerin farklı renklerde boyandığı Cabri3D cisimlerini Mouse yardımı ile çevirerek inceleme. (2) Cisim yüzlerinin geometrik özelliklerini açınım çizimlerine yansıtmamadan kaynaklanabilecek hatalar (A2) için cisim yüzeyi üzerinde bulunan geometrik yüz şekillerinin kenar uzunlukları ve açılarını ölçme. (3) Cisimlerin yüzlerini açarken yapılabilecekleri konumlandırma hataları (A3) için cisimlerin yüzeyini taban düzlemine ardışık bir eylemsel sırasını takip ederek açma ve, açma eylem ya da eylemleri sırasında ve sonrasında her bir yüzün konumunu gözlemleme. (4) Çizilen açınımın kapanması için aynı uzunlukta olması gereken kenar çiftlerini farklı uzunlukta çizmeden kaynaklanabilecek hatalar (A4) için açık cisim yüzeyini ardışık eylemsel bir sırayı takip ederek kapatma, kapama eylem ve eylemleri sırasında ve sonrasında yüz ya da yüzlerin konumları ile yüzlerin ve yüzlere ait kenarların birbiri ile olan ilişkilerini gözlemleme, şeklindedir.

Tablo 2.7. *Açınım Öğretim Seansları ve Etkinlikler*

Açınım Seansları	Etkinlikler
1. Seans	Aşina cisimlerin yüzey açınımları (Prizma ve piramitler)
2. Seans	Modifiye cisimlerin yüzey açınımları (İç bükey prizmalar ve kesik prizmalar)
3. Seans	Aşina iki cismin birleştirilmesiyle oluşturulmuş yeni cisimlerin yüzey açınımları
4. Seans	Modifiye bir cisim ile aşina bir cismin birleştirilmesiyle oluşan yeni cisimlerin ya da aşina üç cismin birleştirilmesiyle oluşturulmuş yeni cismin yüzey açınımları

Öğretim seansları boyunca katılımcıların etkili yüklerini artırarak A1, A2, A3 ve A4 hatalarını azaltmak için, maddeler halinde sunulan yönlendirmelerden yararlanılmıştır. Bunlar; (1) Öğretim etkinliklerinde kullanılan Cabri3D cisimlerinin yüzlerini belirledikten sonra açıkça ifade etme. (2) Yüzlerin geometrik özelliklerini

anlatma, (3) Cabri3D'deki cismin yüzeyini nasıl açacaklarını zihinlerinde canlandırdıktan sonra cismin yüzey açınımını kareli kağıda çizme ve çizim esnasında neler yaptıklarını anlatma, Cabri3D'deki cismi açarken orada yer alan açınımın nasıl gerçekleştirildiğini yüksek sesle ifade etme, kendi açınımı ile Cabri3D'deki açınımı karşılaştırma, iki açınım arasındaki benzerlik ve farklılıkların nedenlerini belirtme ve (4) kendi açınımını nasıl kapatacağını zihninde canlandırdıktan sonra, kapanış sürecini anlatma, açınımını kapatmak için birleşmesi gereken kenar ya da kenar parçalarını aynı renk ve sembollerle etiketleme, Cabri3D'deki açınımın nasıl kapatılacağını zihninde canlandırdıktan sonra, Cabri3D'deki kapanış sürecini açıklama, açınım kapanınca hangi yüz ya da yüzlerin birleştiğini, yüzlere ait hangi kenar ve kenar çiftlerinin hangi ayrıt ya da ayrıtları oluşturduğunu tarif etme olarak belirlenmiştir.

2.3.3.2. *Döndürme bölümü öğretim seansları*

Döndürme ön görüşmeleri kapsamında katılımcı hatalarına neden olan kavramsal yanılgı ve eksiklikler ile görevlerin zor olarak algılanmasının altında yatan etkenler tespit edildikten sonra BYT'e göre öğretim seansları tasarlanmıştır.

Öğretim seansları boyunca katılımcıların iç yüklerini yönetmek için, birinci seansta 'bir cisme belirli bir dönme hareketini uygulama ve belirli bir dönme hareketi uygulanmış bir cismin nasıl döndürüldüğünü belirleme', ikinci seansta, 'bir dönme hareketi uygulanmış bir cisme göre başka bir cismi döndürme', üçüncü seansta, 'bir cisme ardışık iki dönme hareketi uygulama ve ardışık iki dönme hareketi uygulanmış bir cismin nasıl döndürüldüğünü belirleme' ve son olarak dördüncü seansta 'ardışık iki dönme hareketi uygulanmış bir cisme göre başka bir cismi döndürme' etkinlikleri yer almıştır (Bkz. Tablo 2.8).

Katılımcıların dönme eksen, yön ve açısına bağlı olası hatalarını (sırayla D1, D2 ve D3) önleyerek konu dışı yüklerini minimum seviyede tutmak için karmaşıklık derecesi aşamalı olarak artan görevlerin bulunduğu her bir seansa özgü Cabri3D döndürme materyalleri hazırlanmıştır. İlk öğretim seansı iki bölümden oluşmuştur. Birinci bölümünde kullanılmak üzere tasarlanan Cabri3D materyallerinde katılımcıların dönme eksen, yön ve açı ölçüsü ile ilgili kavramsal şemalarındaki eksiklerin giderilmesi amaçlanmıştır. Bunun için sadece görevde istenen eksen etrafında dönebilen materyaller tasarlanmıştır. Örneğin, katılımcıdan bir cismi x ekseni etrafında döndürmesi isteniyorsa, materyal cismin y ve z eksenleri etrafında döndürülmesine izin vermemektedir. Bu

materyallerin her birinde belirtilen eksene göre yönler oklarla gösterilmiş ve açılar daire dilimleri ile belirginleştirilmiştir.

Tablo 2.8. *Zihinde Döndürme Öğretim Seansları ve Etkinlikler*

Döndürme Seansları	Etkinlikler
1. Seans	(1) Bir cismi tek eksende görevde istenen yön ve açı ölçüsüne göre döndürme (2) Bir cisim ve onun tek eksende döndürülmüş görüntüsü verildiğinde cismin nasıl döndürüldüğünü tahmin etme
2. Seans	Tek eksende döndürülmüş bir cisim ve görüntüsü verildiğinde cismin nasıl döndürüldüğünü tahmin etme ve başka bir cisme aynı dönme hareketini uygulama.
3. Seans	(1) Bir cismi iki eksende görevde istenen yön ve açı ölçülerine göre döndürme. (2) Bir cisim ve onun iki eksende döndürülmüş görüntüsü verildiğinde cismin nasıl döndürüldüğünü tahmin etme.
4. Seans	İki eksende döndürülmüş bir cisim ve görüntüsü verildiğinde cismin nasıl döndürüldüğünü tahmin etme ve başka bir cisme aynı dönme hareketini uygulama.

İkinci bölümdeki materyallerde, 3B'li koordinat sistemine yerleştirilmiş bir cisim ve onun tek eksende döndürülerek elde edilmiş ekran görüntüsü yer almaktadır. İkinci seanstaki Cabri3D materyallerinde, 3B'li koordinat sistemine yerleştirilmiş bir cisim ve onun tek eksende döndürülmüş görüntüsü ile farklı bir koordinat sistemine yerleştirilmiş başka bir cisim yer almaktadır. İlk seansla benzer biçimde, üçüncü seans da iki bölümden oluşmuştur. Üçüncü seansın birinci bölüm etkinlikleri için oluşturulan Cabri3D materyallerinde, 3B'li koordinat sistemine yerleştirilmiş bir cisim bulunmaktadır. İkinci bölüm etkinlikleri için geliştirilen materyallerde, 3B'li koordinat sistemine yerleştirilmiş bir cisim ve onun iki eksende döndürülmüş ekran görüntüsü bulunmaktadır. Dördüncü öğretim seansı için geliştirilen materyaller, '3B'li koordinat sistemine yerleştirilmiş bir cisim ve onun iki eksende döndürülmüş ekran görüntüsü ile farklı bir koordinat sistemine yerleştirilmiş farklı bir cismi' içermektedir. Birinci öğretim seansının ikinci bölümünden itibaren geliştirilen materyallerin genel özellikleri, katılımcıların koordinat sistemlerinde yer alan cisimlerin belirli eksen, yön ve açı ölçüsüne göre kendi istekleri doğrultusunda döndürebilme esnekliğine sahip olmalarıdır.

Öğretim seansları boyunca katılımcıların etkili yüklerini artırmak için, takip eden maddelerde sunulduğu gibi yönlendirmelerde bulunulmuştur. (1) Bir cismi belirtilen bir eksen etrafında nasıl döndüreceğini zihninde canlandırma ve anlatma. (2) Verilen bir eksene göre dönme yönünü ve açısını nasıl belirleyeceğini ifade etme. (3) Verilen cisme belirtilen dönme hareket ya da hareketleri uygulandığında elde edilecek görüntü ya da görüntüleri zihinde canlandırma, bu görüntüyü ilk cisimle ve elde edilen görüntü ya da

görüntülerle karşılaştırarak anlatma. (4) Bir ya da iki eksende döndürülmüş cisimlerin nasıl döndürüldüğünü zihninde canlandırma ve analitik olarak ifade etme.

2.3.3.3. *Yönelim bölümü öğretim seansları*

Açınım ve döndürmeden farklı olarak uzamsal görselleştirmenin yönelim bölümü iki alt bölümde ele alınmıştır. Birinci yönelim bölümü kapsamındaki etkinlikler yapıya belirli bir yönden (ön/arka, sağ/sol ve üst/alt) bakmayı gerektirirken, ikinci yönelim bölümündeki etkinlikler bir küpün ortasında bulunan bir cisme küpün köşe noktalarından (küpün sekiz köşe noktasından birinden) birinden bakmayı gerektirmektedir. İlk iki öğretim seansında birinci yönelim bölümü etkinliklerine, üçüncü ve dördüncü öğretim seansında ise ikinci yönelim bölümü etkinliklerine yer verilmiştir (Bkz. Tablo 2.9).

Yönelim bölümü öğretim seansları hazırlanırken, katılımcıların ön görüşmede yer alan görevleri yapmada sergiledikleri performans ve düşünceleri göz önünde bulundurulmuştur. Ön görüşmelerde katılımcıların hangi görevlerde, ne tür hatalar yaptıkları ve bu hataların altında yatan nedenler ile onların hangi görevleri diğerlerinden daha zor buldukları ve nedenleri belirlenmeye çalışılmıştır. BYT'ye dayalı öğretim seanslarının hazırlanmasında ön görüşmeler rehberlik etmiştir.

Tablo 2.9. *Yönelim Öğretim Seansları ve Etkinlikler*

Yönelim Seansları		Etkinlikler
Birinci Bölüm	1. Seans	Birim küplü bütünleşik yapılara, birim küplü bütünleşik olmayan 3B'li yapılara ve bir ya da iki eğik yüzeye sahip 3B'li yapılara ön/arka, sağ/sol ve üst/alt taraflarından bakma
	2. Seans	Bir ya da iki eğrisel yüzeye sahip yapılara, hem bir kaç yüzü eğik hem bir kaç yüzü eğrisel yapılara, en az üç yüzü eğik yapılara ya da en az üç yüzü eğrisel yapılara ön/arka, sağ/sol ve üst/alt taraflarından bakma
İkinci Bölüm	3. Seans	Küpün ortasında bulunan modifiye cisimlere, küpün üst köşe noktalarından bakma
	4. Seans	Küpün ortasında bulunan kombine cisimlere, küpün üst köşe noktalarından bakma
		Küpün ortasında bulunan modifiye cisimlere, küpün alt köşe noktalarından bakma
		Küpün ortasında bulunan kombine cisimlere, küpün alt köşe noktalarından bakma

BYT'ye dayalı yönelim öğretim seanslarında katılımcıların asıl bilişsel yüklerini optimum düzeyde tutmak için; birinci öğretim seansında 'farklı karmaşıklık derecesine sahip birim küplerden oluşan bütünleşik ve bütünleşik olmayan yapılar ile eğik yüzlere sahip orta derece karmaşık yapıların', ikinci öğretim seansında 'eğrisel yüzlere sahip orta derece karmaşık, eğik yüzlere sahip karmaşık ile eğik ve eğrisel yüzlere sahip karmaşık yapıların' altı farklı yönden görünüşünü kareli zemin üzerine cetvel, gönye ve iletki yardımıyla inşa etmeyi gerektiren etkinlere, üçüncü öğretim seansında 'küpün ortasında

bulunan modifiye ve kombine cisimlere küpün üst köşe noktalarından bakıldığında', dördüncü öğretim seansında 'modifiye ve kombine cisimlere küpün alt köşe noktalarından bakıldığında' elde edilecek görüntüyü tarif etme ve izometrik kağıda inşa etmeyi gerektiren etkinliklere yer verilmiştir.

Birinci yönelim bölümü etkinlikleri kapsamında katılımcıların materyalden kaynaklı konu dışı yükünü azaltmak için her bir seansa özgü Cabri3D materyalleri oluşturulmuştur. Katılımcıların konu dışı yüklerini azaltmak için Cabri3D materyallerini takip eden maddelerde sunulduğu gibi kullanabilecekleri düşünülmüştür: (1) Cabri3D'deki yapıyı çevirerek farklı yönlerden oluşacak görüntülerini ve Cabri3D'deki ön/arka, sağ/sol ve üst/alt görünüş komutları ile yapının altı farklı yönden elde edilecek görüntülerini inceleme. (2) Cabri3D'deki yapının (ya da yapı parçalarının) geometrik özelliklerini belirlemek için ölçümler yapma, yapıdaki geometrik ilişkilerden yola çıkarak orantısal ilişkileri bulmak için çevirerek inceleme, yapının hizaları hakkında karar verip onu birimlendirebilmek için çevirme ya da doğrular inşa etme (örneğin, silindirik bir yapının çapı ile, kare prizma şeklindeki başka bir yapının uzunlukları eşittir ya da yapının boyu, yapıda yer alan bir cismin boyunun 3 katı kadardır gibi). (3) Cabri3D'deki materyallere yerleştirilen yön etiketlerini takip etme. (4) Yapı bir küp içerisinde yer almaktadır ve yapıya nasıl yönileneceği bilinmediği ya da belirlenemediği zaman, bu küp üzerine temsili bir insan figürü oluşturma, yapıya nasıl bakılacağını tespit etme. İkinci öğretim seansında yer alan etkinliklerin katılımcılar için yeni olduğu düşünülmüştür.

Bu bölüm öğretim seansları boyunca öğretmen adaylarının konu dışı yüklerini azaltmak için Cabri3D materyalleri belirli kriterler göz önünde bulundurularak tasarlanmıştır. Bu kriterler dört maddede sunulabilir. (1) Küp ortasına yerleştirilen modifiye ya da kombine cisim birim küpler ya da onların köşegenleri boyunca kesilmesiyle oluşan ikizkenar üçgen prizmalar kullanılarak oluşturulmuştur, böyle katılımcıların cismin geometrik özellikleri ve orantısal özelliklerini kolay bir şekilde belirleyebilmesi istenmiştir. (2) Cisim küpün tam ortasına yerleştirilmiş, cisme bakılacak köşe noktaları farklı renklerde yapılmış ve etiketlenmiştir. (3) Gereksinim duyulduğunda cisme nasıl bakılacağı temsili bir insan figürü oluşturularak gösterilmiştir. (4) Cismin bakış noktasından elde edilecek görüntüsünü içeren Cabri3D materyalleri oluşturulmuştur.

Yönelim öğretim seansları boyunca katılımcıların etkili yüklerini artırmak için birtakım yönlendirmelerde bulunulmuştur. Öğretmen adaylarının uzamsal görevlerle

ilgili açıklamalarda bulunmalarını içeren yönlendirmeler takip eden maddelerde örneklendirilmiştir: (1) Yapıya bakılan yön ya da cisme bakılan köşe noktasından, yapı ya da cismin hangi kısımlarının görüneceğini sözlü olarak ifade etme. (2) Bakış yönüne/noktasına göre elde edilecek görüntüyü zihinde canlandırma ve yapıya yönelimine göre oluşacak görüntüyü tarif etme. (3) Elde edilecek görüntüyü kareli zemin ya da izometrik kâğıda anlatarak inşa etme. (4) Belirtilen görüntüyü Cabri3D'de açma ve kareli/izometrik kâğıda çizilen görüntü ile karşılaştırıp, benzerlik ya da farklılıkların nelerden kaynaklandığını anlatma.

Uzamsal görselleştirmenin her bir bölümü için her bir seansta yapılan etkinlikler katılımcıların her biri için benzerlik gösterse de bir katılımcı için hazırlanan birinci öğretim seansı ilk görüşme verilerine, ikinci, üçüncü ve dördüncü öğretim seansları ise ilk klinik görüşme ve kendinden önceki seansların verilerine dayalı olarak tasarlanmıştır. Öğretim seanslarında hangi görev türünden ne kadar kullanılacağı ile hangi etkinlik türlerine yer verileceği katılımcının çalışmaya istekli oluşu, gelişim düzeyi ve sürekli gerçekleştirilen analiz sonuçları ile belirlenmiştir.

2.3.4. Son klinik görüşmeler

Öğretim seanslarının ardından her bir öğrencinin uzamsal görselleştirme becerilerindeki değişimi inceleyebilmek için göreve dayalı bireysel son görüşmeler gerçekleştirilmiştir. Böylece katılımcıların açınım, döndürme ve yönelim bölümlerine göre uzamsal görselleştirme becerilerinin ilk klinik görüşmelerle karşılaştırıldığında gelişim gösterip göstermediği belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu görüşmelerde katılımcı ve soru türlerine göre hata oranlarında ve soruların algılanan zorluğundaki değişim miktarı ve bunun arkasında yatan nedenler sorgulanmış ve yorumlanmıştır.

Son klinik görüşmelerdeki sorular (Bkz. Ek 14-17) ilk klinik görüşmelerdeki sorularla yapısal benzerlik göstermektedir; başka bir ifadeyle açınım ve döndürme bölümlerinin her birinde ilk görüşmelerde olduğu gibi birinci ve ikinci kategori görevlerden bulundurulmuştur. Yönelim son görüşmelerinde de ilk görüşmelerde olduğu gibi birinci ve ikinci yönelim bölümü görevleri yer almıştır. Fakat, ilk görüşme görevleri ile karşılaştırıldığında son görüşme görevlerinin iç bilişsel yükü artırılmıştır. Soruların iç bilişsel yükünü artırmak için ön görüşmelerle aynı kategorideki görevlerin öge ve etkileşimli öge miktarı artırılmıştır. Bunun için son görüşme görevlerinin hazırlanmasında iki farklı yol takip edilebilmiştir. (1) Ön görüşmelerde öge etkileşiminin

fazla olduğu görevler tespit edilip, son görüşmelerde bu görevlere ağırlık verilmiştir. Örneğin, ön görüşmelerde birinci kategoride prizmaların yüzey açınımlarına ağırlık verilirken, son görüşmelerde modifiye cisimlerin yüzey açınımlarına ağırlık verilmiştir. (2) Ön görüşme görevlerinin öge sayısı artırılarak son görüşme görevi oluşturulmuştur. Örneğin, ön görüşmelerde katılımcılardan birinci kategoride yer alan bir görev olarak üçgen prizmanın yüzey açınımını yapmaları istenmişse, son görüşmelerde sekizgen prizmanın yüzey açınımını yapmaları istenmiştir.

Son görüşmelerde de ilk görüşmelerde olduğu gibi Cabri3D programı kullanılmamıştır. Görüşmeler yaklaşık 90 dakika sürmüş, video kaydına alınmış ve daha sonra analizleri yapılmak üzere dökümleri gerçekleştirilmiştir.

2.3.5. PSVT son değerlendirmesi

Öğretmen adaylarının öğretim seanslarından sonra uzamsal görselleştirme becerilerini değerlendirebilmek için son klinik görüşmelerin yanısıra PSVT'e yeniden başvurulmuştur. Böylece öğretmen adaylarının PSVT bağlamında uzamsal görselleştirme becerilerinin gelişip gelişmediği değerlendirilmek istenmiştir.

2.4. Veri Analizi

Klinik görüşmeler ve öğretim seansları kapsamında toplanan gözlem verileri süregelen ve geriye dönük analizler (Yanık, 2006) yoluyla analiz edilmiştir. Süregelen analizler öğretim seansları esnasında ve arasında yapılırken; geriye dönük analizler ise kümülatif bir şekilde gerçekleştirilmiştir. Toplanan verilerin analizinde nicel ve nitel içerik analizi yöntemi kullanılmıştır. İçerik analizi, son on yıla kadar sayısal bir araştırma yöntemi olarak kullanılmasına rağmen hem nicel hem nitel olarak yapılabilmektedir (Hashemnezhad, 2015, s.59). En iyi içerik analizi çalışmaları, metinler üzerine hem nicel hem nitel işlemleri uygulamaktadırlar (Weber, 1990, s.10).

Nicel içerik analizi, 'iletişimin belirgin içeriğini sistematik, nesnel ve nicel olarak tarif etmek için bir araştırma tekniği (Berelson, 1952, s.18)' olarak tanımlanmaktadır. Nicel içerik analizi, iletişim içeriğini birimlere ayırma, her birime bir kategori atama ve her bir kategori için çetele sağlamayı içeren bir süreci tarif etmektedir (Rourke ve Anderson, 2004, s. 5). Nicel içerik analizi, ölçüm, gösterge, temsil ve yorumlama şeklinde dört ana özelliğe sahiptir. Weber (1990) bunları şu şekilde ifade etmiştir (s.70-78): (1) Ölçüm, spesifik kelimeler, ifadeler, içerik kategorileri ve temalar gibi birimlerin meydana

getirdiği anlam oluşumlarını saymayı gerektirmektedir. Bir anlam biriminin her meydana gelişini sayma ya da yüzdesel olarak dönüştürme gibi teknikleri içerir. (2) Gösterge (işaret), ölçümde elde edilen sayılardan, metnin ölçülmeyen bazı nitelikleri veya özelliklerinin araştırmacı tarafından çıkarsanmasıdır. (3) Temsil, kelimelerin, cümlelerin veya diğer metinsel birimlerin anlamlarının bir grup kategoriye sınıflandırılmasıdır ve (4) Yorumlama, bir dilden diğerine yapılan çeviridir. Genellikle metnin içeriği daha soyut ve çoğunlukla teorik yapılara dönüştürülmeye çalışılır.

Günümüzdeki çalışmaların çoğu nicel yaklaşımın zayıf yönlerinden bazılarına değinerek, nitel içerik analizini kullanmaktadır (Zhang ve Wildemuth, 2009, s.308). Nitel içerik analizini Hancock (2002, s.17), 'sınıflandırma, özetleme ve tablo oluşturma amacıyla sözel veya davranışsal verilerin kategorize edilmesine yönelik bir prosedür' olarak tanımlamaktadır. Hancock, nitel içerik analizinin betimsel ve gizli olarak iki düzeyde yapabileceğini belirterek, bunları şu şekilde açıklamaktadır: 'Temel seviye analizler verilerin betimsel bir hesabıdır. Bazı metinler buna en belirgin düzey (açık, aşikâr) veya en belirgin türde analiz olarak değinmektedirler. Analizin üst düzeyi yorumlayıcıdır. Cevapla ne demek istendi? Buradan ne çıkarabiliriz? ya da Ne ima edildi? gibi sorularla ilgilidir. Buna bazen gizli analiz seviyesi denilmektedir' (s.17). Zhang ve Wildemuth (2009, s.310-312) nitel içerik analiz sürecini sekiz adımda tarif etmektedir. Bunlar: (1) Verileri hazırlama (verilerin analiz edilmeden önce yazılı metne dönüştürülmesi). (2) Analiz birimini tanımlama (sınıflandırma yapılacak temel birim belirlenmektedir). (3) Kategoriler ve bir kodlama şeması geliştirme (ilgili şemalar ya da teorilerle oluşturulabilir). (4) Örnek bir metin üzerinde kodlama şemasını test etme (oluşturulan kategori tanımlarının netliği için gereklidir ve kodlayıcılar arası tutarlılığı sağlar). (5) Tüm metni kodlama (yeterli tutarlılık sağlandığında kodlama kurallarını metnin tamamına uygulama). (6) Kodlama tutarlılığını değerlendirme (tüm veri kodlandıktan sonra, kodlayıcıların yorgunluğundan oluşabilecek hatalar, kodlama işlemi ilerledikçe ortaya çıkan yeni kodlar ya da sürecin başındaki ve sonundaki kodlar arasında oluşabilecek tutarsızlık için tüm verinin tekrar kontrol edilmesi). (7) Kodlanmış verilerden sonuç çıkarma (örüntüleri ortaya çıkarma ve tema ya da kategorilerin özelliklerini anlama). (8) Yöntem ve bulguları rapor etme (önemi olan örüntüler, temalar ve kategoriler ortaya çıkarılır) şeklindedir.

BYT öğrenenlerin uzamsal görselleştirme görevlerini yerine getirmede çalışan belleklerine empoze edilen yük miktarı hakkında tahminde bulunmayı olanaklı

kılmaktadır. Ön ve son görüşmelerin odağında farklı bilişsel yük oranlarına sahip görevlerin acemi ve uzman öğrenenler üzerine empoze edeceği yük miktarının da farklı olacağı varsayımı yer almaktadır. Öğrenenlerin deneyimleri, ön öğrenmeleri ve uzamsal yetenekleri birbirinden farklı olduğu için farklı oranlarda bilişsel yüke sahip görevlerin onların çalışan belleklerine empoze edeceği yük de farklı oranlarda olacaktır. Öğretim seansları sonrasında katılımcıların uzamsal görevlerde uzmanlaşması ve benzer görevlerin öğrenenlerin çalışan belleklerinde ön görüşmelerde olduğu kadar bilişsel yük yaratmaması ön görülmüştür. Ön ve son görüşmelerde bu hipotezleri test etmek için görevler boyunca 'katılımcı hata oranları' ve 'görevlerin algılanan zorluğu ile ilgili derecelendirme puanları' incelenmiştir. Hata oranları ve görevlerin algılanan zorluğu bilişsel yükün ölçülmesinde kullanılan sırayla performansa dayalı ve öznel değerlendirme teknikleri arasındadır. Ön görüşmelerde hangi uzamsal görevlerin hangi öğrenenlere daha fazla ya da daha az bilişsel yük empoze ettiği belirlendikten sonra, son görüşmelere öğretim seanslarının etkisi test edilmiştir. Nicel içerik analizi yöntemi kullanılarak, hangi görevlerde, hangi tür hatalardan ne oranda yapıldığı ve hangi görevlerin katılımcılar tarafından ne oranda zor olarak algılandığı belirlendikten sonra hangi görevlerin hangi katılımcılarda daha fazla bilişsel yük empoze ettiği karşılaştırılmıştır.

Ön görüşmelerle, öğretim seansları ve son görüşmelerin devam eden analizleri boyunca katılımcıların hata profillerini daha çok ya da daha az oranda sergilemelerinin ve görevlerin onlar tarafından zor ya da kolay olarak algılanmasının altında yatan temel faktörler belirgin hale getirilmeye çalışılmıştır. Devam eden analiz aşaması boyunca araştırmacı katılımcıların düşünme yollarını anlamaya çalışmıştır. Ön görüşmelerde katılımcı hatalarının altında yatan kavramsal yanılgılar ve görevlerin zor olarak algılanmasında etkili olan faktörler belirgin hale getirildikten sonra, öğretim seanslarının onların kavramsal şemalarında, algılarında ve düşüncelerinde bir değişiklik yapıp yapmadığı test edilmiştir. Her bir öğretim seansı boyunca, araştırmacı katılımcı anlayışını açık hale getirmek için çeşitli sorular sormuştur (örneğin, açınımına o üçgeni nasıl konumlandırdın anlatır mısın? O üçgeni nasıl inşa ettin açıklar mısın? O kenar uzunluğunu kaç birim aldın? Bu uzunluğu neye göre belirledin? gibi). Böylece katılımcıların mevcut şemalarına yeni görevlerin gereklerini yerine getirmek için ne derece başvurdukları ve görevleri hatasız bir şekilde yapmak için yeni kavramsal şemalar oluşturup oluşturmadıkları gözlenmiştir. Analizlerin temel amacı öğretmen adaylarının uzamsal görselleştirme becerilerinin zaman içindeki gelişimini incelemektir. Katılımcı

açıklamaları ve çizimleri onların mevcut uzamsal görselleştirme durumlarını yansıtmada yardımcı olmuş ve araştırmacının daha sonraki seansları nasıl tasarlanması gerektiğine rehberlik etmiştir. Araştırmacı her bir katılımcının uzamsal görselleştirme becerilerinin gelişim düzeyine göre etkinliklerini yönlendirmiştir. Örneğin, öğretim seansındaki bir açınım görevinde, bir katılımcı cismin yüzey açınımını eksik olarak çizmişse, araştırmacı onun Cabri3D'deki cismi çevirerek inceleyebileceğini söylemiş ve onu cismin yüzlerinin hepsini açınımına yansıtıp yansıtmadığına, cismin kaç yüzü olduğuna, kendisinin kaç yüz çizdiğine yönlendirmiştir. Böylece katılımcının bakış yönünden göremediği için açınım çizimine yansıtmadığı ya da dikkatsizlikten kaynaklanan hatalarını fark etmesi sağlanmıştır. Eğer bir katılımcı cismin açınımını doğru bir şekilde yapmış ve açınımını nasıl kapatacağını mantıklı ve tutarlı bir şekilde anlatmışsa, ondan açınımını Cabri3D'deki ile karşılaştırdıktan sonra, gerek açınımındaki bir ya da birkaç yüzün konumunu değiştirerek gerek sil baştan aynı cisme ait farklı bir yüzey açınımı inşa etmesi istenmiştir başka bir ifadeyle uzman katılımcı kendi açınım çiziminden ve Cabri3D'de gözlemlediğinden farklı bir açınım yapması için teşvik edilmiştir. Seanslar boyunca öğrenenin seviyesine göre maksimum verim alınmaya çalışılmıştır. Başka bir deyişle öğretim seansları katılımcıların uzmanlık seviyelerine göre şekillenmiştir.

Her bir öğretim seansının ve öğretim deneyinin tamamlanmasından sonra video kayıtları geçmişe dönük olarak dikkatli bir şekilde analiz edilmiştir. Bu kayıtlar katılımcıların geçmiş deneyimleri hakkında fırsatlar sağlamaktadır. Bu analizlerin ana amacı katılımcıların 3B'li uzamsal görselleştirmelerindeki gelişimi hakkında derin bir bilgiye sahip olmaktır.

2.4.1. Nicel verilerin analizi

Nicel verilerin analizinde katılımcı hata oraları ve görevlerin algılanan zorluğu ile ilgili derecelendirme puanlarına başvurulmuştur.

2.4.1.1. *Bilişsel yük miktarlarını ölçme aracı olarak katılımcı hata kodları ve hata oranları*

Katılımcıların görüşmeler ve öğretim seansları boyunca sistematik olarak tekrarladıkları hataları tanımlamak için Tablo 2.10 oluşturulmuştur. Uzamsal görselleştirmenin açınım, döndürme ve birinci yönelim bölümündeki görevler boyunca

katılımcıların sistematik olarak tekrarladıkları hataları tanımlamada büyük ölçüde Parmak'ın (2016) çalışmasından yararlanılmıştır.

Tablo 2.10. *Uzamsal Görselleştirme Hata Kodları*

Uzamsal Görevler	Hata Profilleri
Açınım Bölümü	A1: Cismin yüzeyinde bulunduğu halde açınım çizimine yansıtılmayan yüzler A2: Cismin yüzeyinde bulunan ve geometrik özellikleri açınım çizimine yansıtılmayan yüzler A3: Cismin doğru yüzey açınımı ile karşılaştırıldığında açınım çiziminde doğru konumlandırılan yüzler A4: Açınım çiziminin kapanması için gerekli doğru ilişkilendirme sayısının cismin doğru yüzey açınımının kapanması için gerekli doğru ilişkilendirme sayısından eksik olması
Döndürme Bölümü	D1: Bir cismi ifade edilen bir eksen etrafında döndürememe ya da döndürülmüş bir cismin hangi eksen etrafında döndürüldüğünü belirleyememe (x-,y- ya da z-ekseni) D2: Bir cismi belirli bir eksen etrafında ifade edilen yön (saat yönü ya da saat yönü tersi) ve açı ölçüsünde (90, 180 ya da 270 derece) döndürememe ya da döndürülmüş cismin hangi yön ve açı ölçüsünde döndürüldüğünü doğru olarak belirleyememe
Birinci Yönelim Bölümü	Y1: Yapının belirli bir yönden görünüşünün eksik çizilmesi Y2: Yapının görünüşünün geometrik özelliğinin görünüş çizimine tam olarak yansıtılamaması Y3: Çizilen görünüş örüntüsündeki şekil (ya da şekillerin) konumunun (ya da konumlarının) yapının görüntüsünü oluşturan doğru geometrik şekil konumları ile uyuşmaması Y4: Yapıya görevde belirtilenden farklı biçimde yönelerek görünüşü çizme
İkinci Yönelim Bölümü	Y5: küpün ortasında bulunan cisme küpün köşe noktalarından birinden baktığında elde edilecek görüntünün yüz ya da yüz parçalarının hepsini doğru bir şekilde belirleyememe Y6: Küpün bulundukları köşe noktasına göre cismin hangi yüz ya da yüz parçalarının, yeni yönelimlerine göre nerede bulunacağını doğru bir şekilde tarif edememe Y7: Elde edilecek görüntüyü izometrik kâğıda 3B'li olarak doğru bir şekilde yansıtamama

Parmak katılımcıların geometrik cisimlerin yüzey açınımını yapmada dört, cisimleri zihinde döndürmede üç ve yapılara belirli yönlerden bakmada dört hata profilini sergilediklerini bulmuştur. Araştırmasında açınım bölümü hata profillerini 'açınımdaki yüzey sayısının cismin yüzey sayısı ile uyuşmaması, şeklin açınımındaki yüzey şekillerinin kapalı halindeki yüzey şekilleri ile uyuşmaması, şeklin açınımında yüzeylerin ilişkisiz şekilde konumlandırılması ve şeklin açınımındaki yüzeylerin kenar uzunluklarıyla cismin ayrıt uzunlukları arasındaki tutarsızlıklar' şeklinde tarif etmiştir. Parmak döndürme bölümü hata profillerini 'dönme ekseninin doğru belirlenememesi, dönme yönlerinin doğru belirlenememesi ve dönme derecelerinin doğru olarak belirlenememesi' şeklinde tanımlamıştır. Birinci yönelim bölümü hata profillerini ise 'görünüşün bir bölümünün eksik olarak çizilmesi, görünüş yüzey türünün yanlış belirlenmesi, görünüş çiziminde yüzeylerin ilişkisiz şekilde konumlandırılması ve bakış yönünün yanlış belirlenmesi' olarak ifade etmiştir (s.51). Araştırmamızda açınım,

döndürme ve birinci yönelim bölümü için bu hata profilleri revize edilmiş, ikinci yönelim bölümü hata kodları ise çalışma kapsamında ilk kez tanımlanmıştır (Bkz. Tablo 2.10).

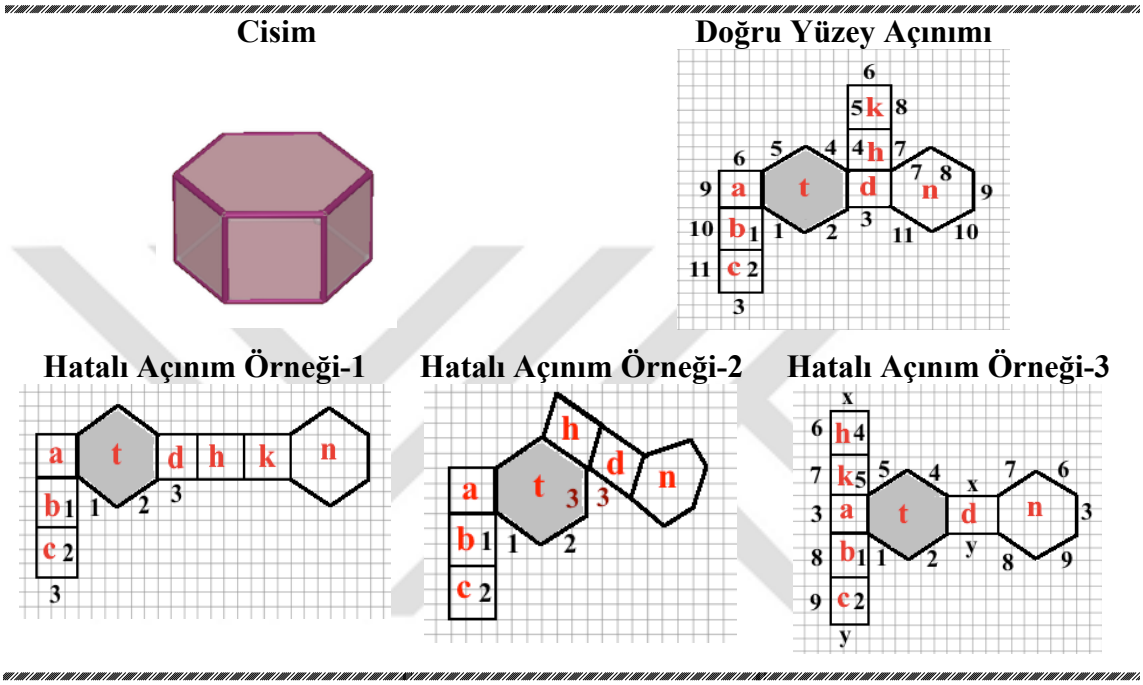
Açınım Bölümü

Bir katılımcının bir cismin yüzey açınımını doğru biçimde gerçekleştirebilmesi için, cismin yüzeyinde bulunan çokgensel yüz şekillerini doğru olarak belirlemesi gerekmektedir. Örneğin, cismin bir yüzü kare ise, katılımcı bunun bir dörtgen olduğunu belirleyebilmelidir. Katılımcının kareyi temsil etmek için bir üçgen ya da dörtgeni temsil etmek için bir beşgen çizmesi beklenen bir durum değildir. Eğer böyle bir durumla karşılaşılmışsa katılımcının cisme ait çokgensel yüz şeklini belirleyemediği söylenebilir. Bu durum A1, A2, A3 ve A4 hatalarını tetiklemektedir.

Hata profillerini birbirinden düzgün bir şekilde ayırabilmek için, katılımcıların açınım çizimlerinde cismin yüzeyinin hangi çokgensel şekillerden meydana geldiğini belirlemesi bir ön koşul olarak konulmuş ve katılımcıların yaptığı çizimler analiz edilirken bu durum göz önünde bulundurulmuştur. Katılımcıların açınım çizimleri incelenirken, cisim ve cismin doğru açınımlarındaki yüz şekilleri arasında eşleştirme yapılmıştır. Yapılan görüşmeler, katılımcıların açınımlarında hangi yüzü, cismin hangi yüzünü temsil etmek için çizdiklerini anlaşılır hale getirmiştir.

Bir katılımcının açınım çizimini yaparken, cisim yüzeyinden doğru olarak belirleyip açınımında çizdiği yüz sayısı, cismin yüzeyinde bulunan yüz sayısından eksik ise A1 hatası yaptığı söylenebilir. Eğer açınımda doğru belirlenen yüzler, cismin yüzeyindeki yüzlerin geometrik özelliklerini yansıtmıyorsa, başka bir ifadeyle cisimde kare olan yüz için paralel kenar çizilmişse ya da dik üçgen için eşkenar üçgen çizilmişse, A2 hatasının yapıldığından bahsedilebilir. A3 hatası ise, katılımcıların açınımlarındaki bazı yüz ya da yüzlerin, cismin yüzeyinin tüm olası açınımları ile eşleştirilmesini engelleyen bir durum oluşacak biçimde konumlandırılmasından kaynaklanmaktadır. A4 hatasından bahsedebilmenin ön koşulu açınım çizimi üzerine yüzlerin doğru olarak konumlandırılmış olmalarıdır. Açınım çiziminde doğru olarak konumlandırılmayan yüzlerin kapanış sürecinden bahsetmek de anlamlı olmayacaktır. A4 hatası, açınım kapatılınca, 3B'li cisim yüzeyi meydana getirmesi için birleşecek yüzlere ait kenar ya da kenar parçalarının uzunluklarının birbirinden farklı uzunlukta çizildiğinde meydana gelmektedir. Klinik görüşmeler ve öğretim seansları boyunca katılımcıların A1, A2, A3 ve A4 hata profillerinden en az birini, bir ya da birden fazla miktarda tekrarladıkları gözlenmiştir. Burada bahsedilen açınım hata profilleri Şekil 2.3'de örneklenmiştir.

Şekil 2.3'de üst satırda solda bir dikdörtgenler prizması, ortada prizmanın doğru açınım çizimindeki yüzlerin konumları ve altı yüze ait etiketler, sağda ise doğru açınımın kapanması için çakıştırılması gereken yedi kenar çifti (doğru yedi ilişkilendirme) yer almaktadır. İkinci satırda ise Tablo 2.10'da sunulan olası A1, A2, A3 ve A4 hataları yer almaktadır.



Şekil 2.3. *Cisim, Doğru Yüzey Açınımlarından Biri ve Hatalı Açınım Örnekleri*

Birinci satırda solda, düzgün altıgen prizma, sağda ise onun doğru yüzey açınımlarından biri, ikinci satırda ise onun hatalı üç yüzey açınımı yer almaktadır. Cismin 8 tane yüzü vardır (t, a, b, c, d, h, k ve n) ve doğru yüzey açınımından kapalı cisim yüzeyini elde edebilmek için 11 kenar çiftinin birleştirilmesi (11 ilişkilendirme) gerekmektedir (Bkz. Şekil 2.3'te ilk satırda sağda yer alan açınım). İlk satırda sağda yer alan doğru açınımla ikinci satırda solda bulunan hatalı açınım örneği-1 karşılaştırıldığında, cismin tüm yüzlerinin açınım çizimine yansıtıldığı görülmektedir, başka bir ifadeyle açınımda A1 hatası yapılmamış ve yüzler geometrik özelliklerine uygun bir şekilde çizilerek, aynı zamanda A2 hatası da yapılmamıştır. Fakat hatalı açınım örneği-1'de 'h, k ve n harfleri ile etiketli yüzler' hatalı bir şekilde konumlandırılmıştır. Başka bir ifadeyle 8 yüzden üçünde konumlandırma hatası yapılmıştır. Ayrıca hatalı açınım örneği-1 kapatılmaya çalışılırsa, 11 doğru yüzey açınımındaki 11

ilişkilendirmeden sadece 3 tanesine dikkat edildiği, kalan 8 ilişkilendirmenin göz önünde bulundurmadığı söylenebilir. Görevde hiç A1 hatası yapılmadığından, A1 hata oranı 0/8=0, hiç A2 hatası yapılmadığından A2 hata oranı 0/8=0, A3 hatası 3 kez yapıldığında, A3 hata oranı 3/8=0.375 ve 11 ilişkilendirmeden sadece 3'ü dikkate alındığı kalan 8'i dikkate alınmadığı için A4 hata oranı 8/11≈0.727 şeklinde hesaplanır.

Hatalı açınım örneği-2'de 'k ile etiketlenen yüz' açınıma yansıtılmadığı için 1 kez A1, açınımda 'h, d ve n etiketli yüzler' geometrik özelliklerine göre çizilmediğinden ve 'k etiketli yüz' açınıma yansıtılmadığı için' 4 kez A2, açınıma 'n etiketli yüz' hatalı bir şekilde konumlandırıldığından ve 'k etiketli yüz' açınıma konumlandırılmadığı için 2 kez A3, ve 11 ilişkilendirmeden sadece 3 tanesi dikkate alındığı, 8'ine dikkat edilmediği için 8 kez A4 hatası yapılmıştır. Buradan hatalı açınım örneği-2'de A1 hata oranı 1/8=0.125, A2 hata oranı 4/8=0.5, A3 hata oranı 2/8=0.25 ve A4 hata oranı 8/11≈0.727 şeklinde bulunabilir. Hatalı açınım örneği-3'te ise, hiç A1, A2 ve A3 hatası yapılmazken, 11 ilişkilendirmeden 'x ve y ile etiketlenen' ikisi dikkate alınmadığı için A1, A2, A3 ve A4 hata oranları sırayla 0, 0, 0 ve 2/11≈0.182 şeklinde ifade edilir.

Katılımcıların her bir görevdeki A1, A2, A3 ve A4 hata oranlarını hesaplayabilmek için öncelikle her bir görev için, 'cismin yüz sayısı, n ve cismin doğru yüzey açınımının kapanması için gerekli ilişkilendirme sayısı, m' belirlenmiştir. Her bir katılımcının açınım görevlerinin her birinde yüzde kaç oranında A1, A2, A3 ve A4 hatası yaptığını belirleyebilmek için aşağıdaki formüller oluşturulmuştur.

Cisim üzerinde bulunan ve katılımcı açınımı üzerine doğru olarak yansıtılmayan yüz sayısı, x; katılımcının açınımı üzerine geometrik özelliklerine dikkat etmeden çizdiği yüz sayısı, y; katılımcı açınımı üzerine doğru olarak konumlandırılmayan yüz sayısı, z ve katılımcı açınımının kapanması için birleşecek kenar ya da kenar parçası uzunluklarının birbiri ile uyuşmadığı ilişkilendirme sayısı, w olmak üzere:

A1 hata oranı= (x/n).100,

A2 hata oranı= (y/n).100,

A3 hata oranı= (z/n).100,

A4 hata oranı= (w/m).100

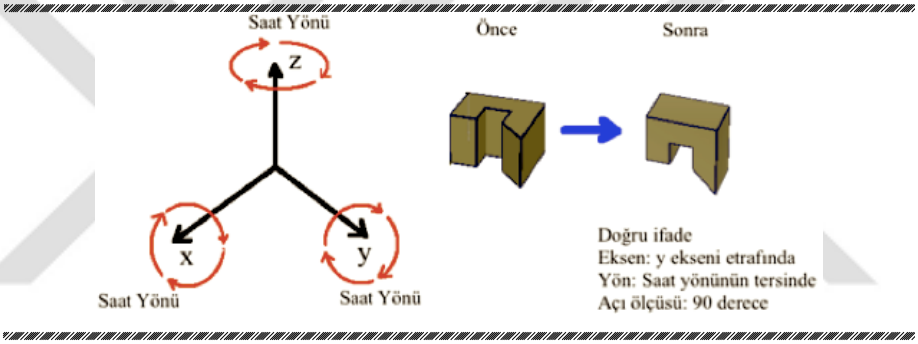
formülleri kullanılarak hesaplanmıştır.

Döndürme Bölümü

Zihinde döndürme görevlerinde yapılan hatalar D1 ve D2 olarak kodlanmıştır. 3B'li bir cismin dönme hareketi dönme ekseni (x, y ve z), dönme yön (saat yönü ya da tersi) ve

açı ölçüsü (90, 180 ve 270 derece) ile tanımlanabilir. Şekil 2.4'te solda dönme hareketinin gerçekleştirildiği 3B'li koordinat sistemi üzerinde eksenler ve her bir eksene ait dönme yönleri etiketlenmiştir. Sağda ise bir cisim ve bir dönme hareketi sonrası oluşmuş görüntüsü yer almaktadır.

Şekil 2.4'te yer alan cisim y ekseni etrafında, saat yönünün tersinde ve 90 derece döndürülmüştür. Bir dönme hareketi, dönme eksen, yön ve açı ölçüsü ile tek türlü tanımlanabilir, fakat bir cisim ve onun belirli bir dönme hareketi uygulanarak elde edilmiş görüntüsü verildiği zaman, bu görüntü iki farklı yol içinde üretilmiş olabilir. Örneğin, bir cismin belirli bir eksende saat yönünde 90 derecelik dönme hareketi uygulanarak elde edilmiş görüntüsü ile saat yönünün tersi yönde 270 derelik dönme hareketi uygulanarak elde edilmiş görüntüsü birbirine eştir.



Şekil 2.4. *Tek Eksende Döndürülmüş Cisim*

Bir katılımcının bir cismin dönme hareketini doğru biçimde tanımladığını söyleyebilmek için, cismin hangi eksende döndürüldüğünü doğru bir şekilde belirlemesi ve açıklaması gerekmektedir. Çünkü dönme açısı, cismin üzerinde belirlenen bir noktanın konumu, bu noktanın dönme eksenine olan en kısa uzaklığı ve bu noktanın dönme hareketi sonrası konumu arasındaki ilişkiye işaret etmektedir. Bu nedenle bir dönme hareketinin hangi eksen etrafında döndürüldüğü yanlış bir şekilde ifade edilmişse, dönme açısı ve bu açıya bağlı ölçünün de doğru olarak belirlendiği söylenemez. Aynı zamanda, bir katılımcının dönme açısını doğru bir şekilde ifade ettiğini söyleyebilmek için o katılımcının cismin dönme eksenine göre dönme yönünü ve bu yöne göre belirlenmiş açı ölçüsünü doğru bir şekilde belirleyip, açıklayabilmesi gerekmektedir. Çünkü döndürülmüş cismin dönme açısı, yönlü bir açıdır. Burada bahsedilen yönlü açı ancak, cismin başlangıç konumu, dönme ekseni ve döndürme sonucu oluşan cismin

görüntüsünün oluşturduğu konum tarafından belirlenebilir. Başka bir deyişle yönlü açı, dönme yönü ve dönme açı ölçüsü ile tanımlanmaktadır. Buradan, dönme açı ölçüsünü doğru bir şekilde ifade etmeyen bir kişinin dönme yönünü, dönme yönünü doğru bir şekilde ifade etmeyen bir kişinin ise dönme açısını doğru olarak belirtemediği sonucuna varılabilir.

Şekil 2.4'teki cismin dönme hareketini tarif etmede yapılabilecek hatalar Tablo 2.11'de örneklendirilmiştir.

Tablo 2.11. *Zihinde Döndürme Hata Örnekleri*

Dönme Hareketi	**1. durum**	**2. durum**	**3. durum**
Eksen	Y	Y	z (ya da x)
Yön	Saat yönü tersi	Saat yönü	Saat yönü tersi
Açı ölçüsü	180	90	90

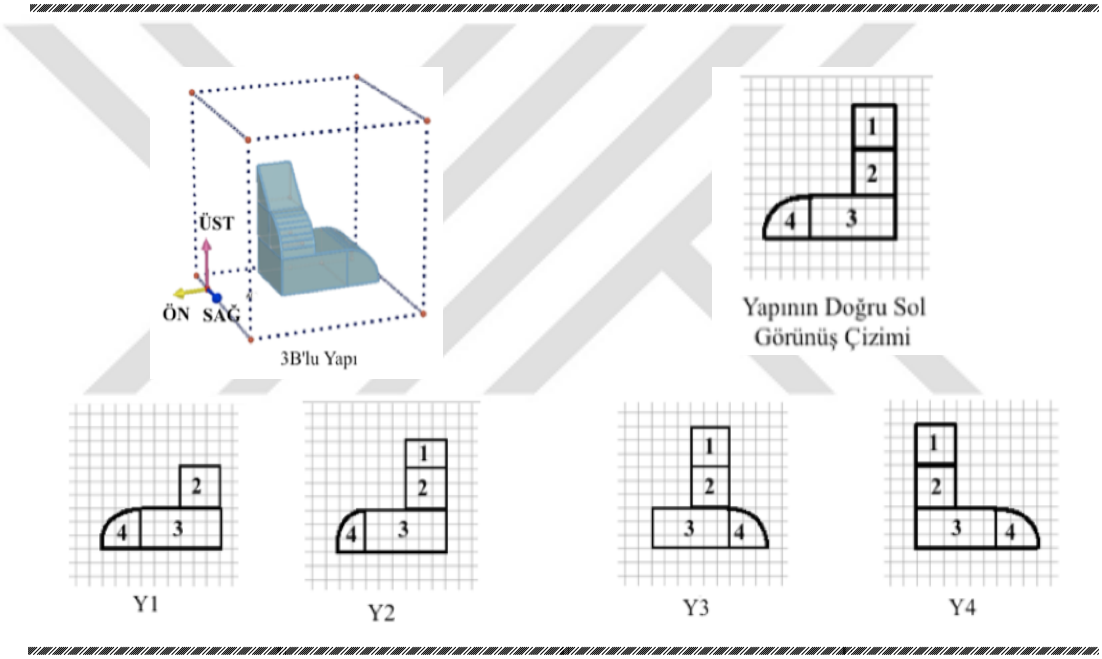
Eğer bir katılımcı Şekil 2.4'teki cismin dönme hareketini eksen, yön ve açı ölçüsüne göre Tablo 2.11'deki birinci ya da ikinci durumdaki gibi tarif etmişse, dönme eksenini doğru bir şekilde ifade etmesine rağmen, dönme yön ve açı ölçülerini yanlış ifade ettiği için D2 hata profilini sergilediği, üçüncü durumdaki gibi tarif etmişse, dönme eksen, yön ve açı ölçülerinin yanlış olarak ifade ettiğini kısaca D1 ve D2 hata profillerinin ikisini de sergilediği söylenebilir.

Döndürme ile ilgili her bir soruda katılımcıların belirtilen hata profillerinden hangilerini ne sıklıkla sergilediklerini belirleyebilmek için, sorular içerdikleri dönme hareket sayılarına göre üç grupta değerlendirilebilir. Tek eksende döndürülmüş bir cismin dönme hareketini belirleme görevleri bir dönme hareketini, tek eksende döndürülmüş bir cisme göre başka bir cismi döndürme ve iki eksende döndürülmüş bir cismin dönme hareketlerini analitik olarak ifade etme görevleri iki dönme hareketini, iki eksende döndürülmüş bir cisme göre başka bir cismi döndürme görevleri ise dört dönme hareketini içermektedir. Bu nedenle birinci gruptaki görevlerde, D1 ve D2 hata profillerinden her biri en fazla birer kez sergilenebilirken, ikinci ve üçüncü gruptaki görevlerde hata profillerinin her biri en fazla ikişer kez, dördüncü gruptaki görevlerde ise en fazla dörder kez tekrarlanabilir. Çalışmada katılımcıların her bir dönme hareketinde D1 ya da D2 hatasını yapmadığını belirtmek için sıfır (0), yaptığını belirtmek için bir (1) puan verilmiştir. Böylece tek eksende dönmeyi içeren görevlerde her bir hata profili en fazla bir (1), iki dönme hareketini içerenlerde en fazla iki (2) ve dört dönme hareketini içerenlerde ise en fazla dört (4) kez sergilenebilir. Bu nedenle bir katılımcının belirli bir

görevde yüzde kaç oranında belirli bir hata profilinden sergilediğini belirleyebilmek için, soruda o hata profilinden sergilenme sayısı, soruda hatanın maksimum sergilenme sayısına bölünmüştür. Örneğin, dört dönme hareketini içeren bir görevde bir katılımcı 2 kez D1, 3 kez D2 hatası yapmışsa, 2/4 =0.5 oranında D1 ve ¾ =0.75 oranında D2 hatası yaptığı söylenebilir.

Birinci Yönelim Bölümü

Birinci yönelim bölümü hata profilleri Şekil 2.5'te örneklenmiştir. Şekil 2.5'te ilk satırda 3B'li yapı ve onun doğru sol görünüş çizimi, ikinci satırda ise katılımcıların sol görünüş çiziminde yapabilecekleri hata profil örnekleri yer almaktadır.



Şekil 2.5. *Yapı, Soldan Görünüşü ve Hatalı Görünüş Örnekleri*

Şekil 2.5'teki ikinci satırda yer alan ilk şekilde '1' rakamı ile etiketlenen yüz çizilmediğinden Y1 hata profili, ikinci şekilde '1' numaralı yüzün boyu olması gerekenden kısa çizildiğinden ve '4' numaralı yüzde çeyrek çemberin yer düzlemine paralel olan yarıçapı olması gerekenden kısa çizildiği için Y2 hata profili, üçüncü şekilde '4' numaralı yüz yanlış yere konumlandırıldığından Y3 hata profili ve son olarak dördüncü şekilde yapıya soldan bakılması gerekirken, sağdan bakılarak yapıya istenilen şekilde yönelinemediğinden Y4 hata profili sergilenmiştir. Başka bir deyişle, bir birey tarafından, yapının belirli bir yönden elde edilecek görüntünün bir kısmı çizilmemişse Y1, eğer çizim elde edilecek görüntünün geometrik özelliklerine dikkat edilmeden

yapılmışsa Y2, çizimindeki şekillerden en az birini doğru görünüşte olması gereken yerden farklı bir yere yerleştirmişse Y3, yapıya görevde belirtilen farklı bir yönde bakılarak çizim yapılmışsa Y4 hatası yaptığından bahsedilebilir. Diğer hata türlerinden farklı olarak Y1 hata profilini sergileyen bir katılımcının, geometrik özelliklerine göre çizmediği ve doğru konumlandırmadığı bir şekil bulunduğu gerekçesiyle, Y2 ve Y3 hata profillerini de sergilediği varsayılmıştır. Böylesi bir durum diğer hata profilleri için söz konusu değildir.

Katılımcıların bir yapının altı farklı yöne ait görünüş çizimleri değerlendirilirken, her bir katılımcının belirtilen dört hata profilinden hangilerini ne kadar sergilediğini belirleyebilmek için, her bir görünüş çiziminde (ön/arka, sağ/sol ve üst/alt) Y1, Y2, Y3 ve Y4 hatalarının yapılıp yapılmadığını belirtmek için sıfır (0) ve bir (1) puan değerleri verilmiştir. Eğer belirli bir yönden görünüş çiziminde Y1, Y2, Y3 ve Y4 hata profillerinden hangi ya da hangileri sergilenmemişse onlara sıfır (0) puan değeri, hangi ya da hangileri sergilenmişse onlara bir (1) puan değeri verilmiştir. Örneğin, bir katılımcı bir görünüş çiziminde (örneğin, ön bakışta) Y1 hatası yapmamasına rağmen, diğer hata profillerini sergilemişse, Y1, Y2, Y3 ve Y4 için sırayla 0,1,1 ve 1 puanları verilmiştir. Bu katılımcının belirtilen görünüş çiziminde üç tür hata yaptığı anlamına gelmektedir. Bir katılımcının bir sorudaki Y1 hata oranını hesaplamak için, yapının altı farklı görünüş çizimlerinden hangi ya da hangilerinde hata yaptığı belirlendikten sonra, Y1 hata sayısı 6'ya bölünür. Örneğin, bir katılımcının bir yapının ön, arka, sağ, sol, üst ve alt görünüşlerinde Y1 hatası yapma ya da yapmamam durumu sırayla 1, 0, 1, 0, 1 ve 1 ile kodlanmış olsun. Bu katılımcının yapının arka ve sol görünüş çiziminde hata yapmadığı diğerlerinde hata yaptığı anlamına gelir. Bu sorudaki Y1 hata oranı 4/6≈0.67 olarak bulunur. Katılımcının aynı yapıdaki Y2, Y3 ve Y4 hata oranları da benzer şekilde hesaplanabilir. Yapıya bakış yönünün Y1, Y2, Y3 ve Y4 hatasına etkisini hesaplamak için ise altı farklı yönden görünüş çizimi yapılan tüm sorularda aynı bakış yönünden (örneğin, ön bakış) kaçında sırayla Y1, Y2, Y3 ve Y4 hatası yapıldığı belirlendikten sonra, hata miktarı soru sayısına bölünür. Örneğin, 5 soru varsa, bu 5 soruda 5 ön görünüş çizimi yapılmaktadır, bu ön görünüşlerin 2'sinde Y1 hatası yapılsın, tüm sorular dikkate alınarak ön görünüşte 2/5=0.4 oranında Y1 hatası yapıldığı söylenebilir.

İkinci Yönelim Bölümü

Ön ve son görüşmelerde, ikinci yönelim bölümüne ait sadece dört görev yer aldığı için, katılımcıların hangi görevlerde ne tür hata profillerini sergiledikleri ile ilgili bir

hesaplama yapılmamış, onların hangi görevlerde ne tür hatalar yaptıkları sözlü olarak ifade edilmiştir.

2.4.1.2. *Bilişsel yük ölçme aracı olarak görevlerin algılanan zorluğu*

Ön ve son görüşmelerde katılımcılar, kendilerinden yapmaları istenen görevlerin her birini ne derece zor bulduklarını, 1'den 9'a kadar (9 dahil) olan sayı değerleri ile eşleştirmişlerdir. Katılımcılar açınım bölümünde yaptıkları çizimlerin her biri, döndürme bölümündeki görevlerin her biri, birinci yönelim bölümünde yaptıkları görünüş çizimlerin her biri ve ikinci yönelim bölümündeki görevlerin her biri için puanlama yapmışlardır. Böylece katılımcıların hangi görevleri ne derece kolay ya da zor buldukları belirlenmeye çalışılmıştır. Böylece dört katılımcının hepsinin de bilişsel yükünde artış meydana getiren sorular ve özellikleri hakkında tartışma imkânı doğmuştur.

Açınım bölümü ön ve son klinik görüşme görevleri iki kategoride ele alınmıştır. Katılımcıların derecelendirme puanlarının kategoride yer alan görevlere göre ortalamaları alınarak, her bir kategoriyi ne derece zor buldukları hesaplanmıştır. Örneğin, açınım birinci ve ikinci kategoride 5'er soru yer almak üzere, bir katılımcının birinci kategorideki görevlerle ilgili derecelendirme puanları sırayla 2, 4, 3, 3, 4 ve ikinci kategorideki görevlerle ilgili derecelendirme puanı sırayla 6, 7, 8, 8 ve 9 olsun. Birinci kategori görevlerin katılımcı tarafından algılanan ortalama zorluğu $\frac{2+4+3+3+4}{5} = 3.2$ ikinci kategori görevlerin katılımcı tarafından algılanan ortalama zorluğu $\frac{6+7+8+8+9}{5} = 7.6$ şeklinde bulunabilir. Ön ve son görüşme, açınım bölümü, birinci ve ikinci kategori görevlerin katılımcıların her biri tarafından algılanan ortalama zorluğunun bulunması, öğretim seansları öncesi ve sonrası kategorilerin katılımcılar tarafından algılanan zorluğu arasında karşılaştırma imkânı sağlamaktadır. Burada kategorilerin algılanan zorluğu için takip edilen yol, hata oranları için de kullanılmıştır.

Döndürme bölümü ön ve son klinik görüşme görevlerinin algılanan zorluğu ile ilgili analizler açınım bölümündekine benzer şekilde yapılmıştır. Tek fark döndürme bölümünde dört kategori bulunması ve her bir kategorideki görev sayının aynı miktarda olmamasıdır. Çünkü döndürme bölümü birinci kategoride 6, ikinci, üçüncü ve dördüncü kategoride 2'şer görev yer almıştır. Her bir kategorinin her bir katılımcı tarafından algılanan zorluğunun belirlenmesinde açınım bölümü gibi ortalama alma tekniği kullanılmıştır.

Birinci yönelim görevlerinin algılanan zorluğunu belirlemede kullanılan yöntem açınım ve döndürme görevlerinden biraz farklıdır. Çünkü katılımcıların her bir soruda (6 sorudaki) yer alan her bir yapının altı farklı yönden görünüşünü çizmeleri gerekmektedir. Katılımcılardan çizimlerinin her birine puan vermeleri istenmiştir. Elde edilen veriler iki bağlamda incelenmiştir. Bunlar; (1) Soru türlerinin puanlamaya etkisi ve (2) Bakış yönünün puanlamaya etkisi biçimindedir.

İlk bağlamda her bir katılımcının her bir sorudaki altı görünüş ile ilgili puanları toplamının aritmetik ortalaması bulunarak, o soruyu ne derece zor bulunduğu ile ilgili bir sayı değeri elde edilmiştir. Buradan her bir katılımcı için her bir sorunun algılanan ortalama zorluğu hesaplanmıştır. Örneğin, bir katılımcının bir yapının ön/arka, sağ/sol ve üst/alt görünüşleri için sırayla 2, 4, 5, 5, 4 ve 3 puanlarını verdiğini düşünürsek, o sorunun ortalama olarak algılanan zorluğu yaklaşık 3.83 olacaktır (bu değer puanlar toplamının aritmetik ortalamasından elde edilmiştir, yani $\frac{2+4+5+5+4+3}{6} \approx 3.83$ bulunmuştur).

İkinci bağlamda, her bir katılımcının ön/arka, sağ/sol ve üst/alt görünüş çizimlerini ne derece zor bulduğu belirlenmiştir. Bunun için her bir katılımcının cevaplandırdığı tüm sorularda ön görünüş görevlerine verdiği puanların aritmetik ortalaması alınarak, o kişi tarafından ön görünüş görevlerinin algılanan zorluğu bulunmuştur. Arka, sağ, sol, üst ve alt görünüş için aynı prosedür tekrarlanmıştır. Elde edilen veriler karşılaştırılarak bakış yönünün görevlerin algılanan zorluğuna etkisi olup olmadığı tartışılmıştır.

Birinci yönelim bölümünden farklı olarak ikinci yönelim bölümünde katılımcılara kendilerine sorulan 4 sorunun her birini ne derece zor buldukları puanlamaları istenmiştir.

2.4.2. Nitel verilerin analizi

Araştırmacı çalışma boyunca nitel verileri organize edebilmek ve açınım, döndürme ve yönelim bölümü görevlerinde sergilenen hata profillerine neden olan katılımcı davranışlarını modellemeyebilmek için çeşitli davranış kodları oluşturmuştur. Araştırmacı uzamsal görselleştirme hatalarına neden olan bazı katılımcı davranışlarının, daha önce yapılan çalışmalardaki ile benzer özellikler taşıdıklarını fark etmiş ve hatalara neden olan katılımcı davranışlarını açıklamak ve kodlamak için bu çalışmalardan yararlanmıştır. Açınım (Cohen, 2003, Parmak, 2016), zihinde döndürme (Kospentaris ve Spyrou, 2010; Edwards ve Zazkis, 1993; Parmak, 2016; Turgut, Yenilmez ve Anapa, 2014) ve yönelim (Parmak, 2016; Risma, Putri ve Hartono, 2013) bölümü hatalarına neden olan bazı davranış kodları bu çalışmalardan yararlanılarak, diğer kodlar ön

görüşmeler, öğretim seansları ve son görüşmelerdeki verilerin araştırmacı tarafından geriye dönük sürekli analizi sonucunda türetilmiştir (Bkz. Tablo 2.12).

Tablo 2.12. *Uzamsal Görevlerde Hatalara Neden Olan Davranış Örnekleri*

Uzamsal Görevlerde Hatalara Neden Davranış Örnekleri	
Hata Profili	**Açınım Bölümü Görevlerinde Hatalara Neden Olan Davranışlar**
A1	A1d: Cismin yüzlerini saymama (örneğin, küpün altı yüzü vardır) ya da cismin yüzleri ile açınımındaki yüzler arasında eşleştirme yaparken, bazı yüzleri çizmeyi unutma
A2	A2d: Cismin yöneliminin etkisinde kalma (örneğin, dikdörtgen yerine paralelkenar çizme)
A3	A3d: Cismin yüzeyini tabanına komşu yüzlerden başlayarak açmak için belirlediği stratejiyi doğru bir şekilde uygulayamama
A4	A4 d: Açınımını kapatmak için gerekli eylem zincirini zihninde canlandıramama ya da cismin yüzeyini nasıl açacağını ifade edememe
	Döndürme Bölümü Görevlerinde Hatalara Neden Olan Davranışlar
D1	D1d: Cismi görevde sunulan eksenlerden tutarak çevirmeye çalışma
D2	D2d: (Yöne Bağlı) Cismin hareket ettiği bağlam içinde dönme yönünü ifade etme (örneğin, yukarıdan aşağıya doğru) D2d: (Açıya Bağlı) Döndürülmüş bir cismin başlangıç ve bitiş konumlarından, cismin kaç derecelik bir açı ölçüsünde döndürüldüğünü belirleyememe
	Birinci Yönelim Bölümü Görevlerinde Hatalara Neden Olan Davranışlar
Y1	Y1d: Yapının bakış yönüne göre ön kısmında olan parçalarının görüneceğini, geride kalan kısımlarının görünmeyeceğini düşünme bu nedenle bakış yönüne göre geride olan yüzeyleri görünüş çizimine yansıtmama
Y2	Y2d: Yapının eğik ya da eğrisel yüzlerinin görünüşünün oluşturacağı geometrik şekilleri doğru bir şekilde belirleyememe, bunun için algıladığı şekilde yüzeyleri görünüş çizimine yansıtma, örneğin, silindirik yüzey dikdörtgen şeklinde gözükmesine rağmen köşelerini oval çizme ya da eğik dikdörtgeni paralelkenar şeklinde çizme
Y3	Y3d: Yapıya görevde belirtilen yönden bakarken, yeni yönelimine göre kendi sağında, solunda, üstünde ve altında yapının hangi kısımlarının olacağını belirleyememe
Y4	Y4d: Görevde sunulan yön etiketlerinden bağımsız gerçekleştiren görünüş çizimleri
	İkinci Yönelim Bölümü Görevlerinde Hatalara Neden Olan Davranışlar
Y5	Y5d: Cisme küpün üst ya da alt köşe noktalarından baktığında elde edilecek görüntüyü zihninde canlandıramama
Y6	Y6d: Verilen köşe noktasına göre kendi sağında, solunda, üstünde ve altında cismin hangi yüzlerinin ya da yüz parçalarının görüneceğini tarif edememe
Y7	Y7d: İzometrik noktalı kağıdı 3B'li çizim yapamayacağını düşünme

Ön görüşme verilerinin analizi başlangıç kodlarının temelini oluşturmuştur. Süreç içerisinde bazı kodlar aynen kalmış, bazıları elenmiş veya düzeltilmiştir. Kodların çoğu karşılaşılan benzer durumların yorumlanarak aynı kategorilere toplanması sonucunda elde edilmiştir. Kodlar katılımcıların hata profilleri ile bağlantılı ve onların uzamsal görselleştirme zorluklarını ortaya çıkartmaya çalışacak şekilde düzenlenmiştir. Açınım bölümünde A1, A2, A3 ve A4, döndürme bölümünde D1 ve D2, birinci yönelim bölümünde Y1, Y2, Y3 ve Y4, ikinci yönelim bölümünde ise Y5, Y6 ve Y7 hatalarına

neden olan katılımcı örnek davranış kodları Tablo 2.12'de hata kodları ile birlikte sunulmuştur.

2.5. Araştırmanın Geçerliliği ve Güvenilirliği

Geçerlilik, bir örneklemdeki katılımcıların, bir kavramın anlamı üzerinde anlaşmaya varmalarını yansıtma derecesi olarak ifade edilmektedir (Babbie, 1995, p.127). Nicel araştırmaların geçerliliğinin belirlenmesinde 'Gerçekten ne ölçmek istediğimizi ölçüyor mu? (Neuendorf, 2002, s.12)' sorusuna yanıt aranmaktadır. Oysa nitel araştırmaların geçerliliğini sağlamada 'araştırılan olgunun, olduğu biçimiyle ve olabildiğince yansız gözlenmesi (Yıldırım ve Şimşek, 2005)' gerekmektedir. Çalışmada nicel geçerliliği sağlayabilmek için araştırmaya uygun ölçme araçlarının belirlenmesinde, ön ve son görüşme sorularının ve öğretim seansları boyunca sunulacak görevlerin hazırlanmasında uzman görüşüne başvurulmuştur. Nitel geçerliliğin sağlanması için ise toplanan veriler ayrıntılı bir şekilde rapor edilmiş ve çalışmada 'elde edilen verilerden sonuçlara nasıl ulaşıldığı açıklanmıştır (Yıldırım, 2010)'. Çalışmada, öğretmen adaylarının görevlerin zorluğu ile ilgili nicel değerlendirmelerinin geçerliliğini sağlamak için onlarla görüşmeler yapılmıştır. Öğretim seanslarından önce ve sonra yapılan görüşmelerde öğretmen adaylarından hangi görevlerin kendilerine diğerlerinden daha zor ya da kolay geldiğini, nedenleri ile açıklamaları istenmiştir.

Matematik öğretmen adaylarına (n=91) uygulanan PSVT, çoktan seçmeli bir sınavdır. Uygulanan sınavın güvenilirliğini değerlendirmede Alfa Modeli kullanılmıştır. Alfa Modeli çoktan seçmeli sınavlarda çalışmanın güvenilir olup-olmadığı ile ilgili bilgi sağlamaktadır. 0 ile 1 arasında değer alan bu katsayı (Cronbach) Alfa katsayısı olarak adlandırılır. Bu değer '$0.6 \leq a < 0.8$' ise ölçek oldukça güvenilir ve $0.8 \leq a < 1$ ise ölçek yüksek derecede güvenilirdir (Kalaycı, 2010, s.405). Çalışmada açınım bölümü için alfa katsayısı 0.725, ikici bölüm döndürme için 0.712 ve üçüncü bölüm yönelim içinse 0.704 olarak hesaplanmıştır. Testin genel güvenirlilik katsayısı ise 0.718 olarak bulunmuştur. Buradan 91 öğretmen adayına uygulanan PSVT sonuçlarının güvenilir olduğu söylenebilir. Araştırma kapsamında toplanan nitel ve nicel veriler araştırmacı tarafından analiz edildikten sonra, bir meslektaşı tarafından kontrol edilmiştir, fikir ayrıklarına neden olan kodlar ve kategoriler yeniden incelenerek anlaşmaya varılmıştır.

3. BULGULAR VE YORUMLAR

Bu çalışmanın amacı BYT'ye dayalı olarak tasarlanan teknoloji destekli bir öğrenme ortamının dört öğretmen adayının uzamsal görselleştirme becerilerine olan etkisini incelemektir. Bu amaçla, öncelikle, öğretmen adaylarının çalışmaya başlamadan önce mevcut uzamsal görselleştirme durumları incelenmiş; ardından öğrenme ortamında katılımcıların tasarlanan materyallerle etkileşimine yer verilmiştir. Son olarak da öğretmen adaylarının çalışma sonundaki uzamsal görselleştirme becerileri değerlendirilmiştir.

3.1. Çalışma Öncesi Öğretmen Adaylarının Uzamsal Görselleştirme Becerilerinin Değerlendirilmesi

Çalışma öncesi öğretmen adaylarının mevcut uzamsal görselleştirme becerilerini belirlemek amacıyla ilk olarak PSVT testi kullanılmış, ikinci olarak çizim etkinliklerini gerektiren bir yazılı sınav uygulanmış, üçüncü olarak görevlerin zorluğunu derecelendirmelerini gerektiren bir ankete başvurulmuş ve son olarak yazılı sınav ve anket ile ilgili olarak bireysel görüşmeler yapılmıştır. Aşağıda bu değerlendirme araçları kapsamında elde edilen bulgulara yer verilmiştir.

3.1.1. PSVT kapsamında öğretmen adaylarının uzamsal görselleştirme becerilerinin değerlendirilmesi

Öğretmen adaylarına PSVT kapsamında uzamsal görselleştirmenin açınım, döndürme ve yönelim bileşenlerinin her biri ile ilgili 12'şer adet soru sorulmuştur. Değerlendirme katılımcıların cevapladıkları her bir soru için 1, yanlış cevaplanan ya da boş bırakılan her bir soru için 0 puan verilerek gerçekleştirilmiştir. Bu puanlardan katılımcıların PSVT'nin açınım, döndürme ve yönelim bölümü doğru cevap sayıları ve yüzdeleri belirlenmiştir (Bkz. Tablo 3.1).

Tuğçe PSVT puanı en düşük olan iki katılımcıdan biridir. Soruların ortalama %30'unu doğru bir şekilde cevaplandırmıştır. Her bir bölüme ait katılımcı doğru cevap sayısı ve oranları incelendiğinde, bu katılımcının açınım, döndürme ve yönelim alanlarının tümünde düşük performans sergilediği görülmektedir. Örneğin, Tuğçe'nin açınım ve döndürme bölümü sorularının %33'ünü, yönelim bölümü sorularının ise %25'ini doğru bir şekilde cevaplandırdığı tespit edilmiştir.

Tablo 3.1. *Katılımcıların PSVT'nin Açınım, Döndürme ve Yönelim Bölümü Doğru Cevap Sayı ve Oranları*

Dört Katılımcının PSVT'nin Her Bir Bölümündeki Doğru Cevap Sayısı ve Yüzdesi (%)								
	Açınım		**Döndürme**		**Yönelim**		**PSVT**	
Katılımcılar	DS	%	DS	%	DS	%	DS	%
Tuğçe	4	33	4	33	3	25	11	30
Melis	11	91	7	58	3	25	21	58
Pınar	2	16	7	58	2	16	11	30
Özge	7	58	5	41	4	33	16	50
Ort	6	50	6	48	3	25	15	40

Melis diğer katılımcılara göre (Tuğçe, Pınar ve Özge) PSVT puanı en yüksek olan katılımcıdır. Soruların ortalama %58'ini doğru cevaplandırmıştır. Katılımcı açınım bölümündeki soruların %91'ine, döndürme bölümündeki soruların %58'ine ve yönelim bölümündeki soruların %25'ine doğru cevap vermiştir. Buradan katılımcının özellikle yönelim sorularında daha fazla zorlandığı; buna karşın açınım sorularında çok fazla zorlanmadığı söylenebilir. Döndürme bölümünde ise yarıya yakın soruları doğru bir şekilde cevaplayamadığı görülmektedir.

Pınar PSVT puanı en düşük olan diğer katılımcıdır. Pınar PSVT sorularının ortalama %30'una doğru cevap vermiştir. Katılımcının PSVT'nin her bir bölümünde eş düzeyde performans sergilemediği görülmektedir. Pınar açınım ve yönelim bölümde yer alan soruların %16'sına, döndürme bölümündeki soruların %58'ine doğru cevap vermiştir. Buradan katılımcının döndürme bölümünde ortanın biraz üzerinde, açınım ve yönelim bölümünde ise oldukça düşük performans sergilediği söylenebilir.

Özge PSVT'de ikinci en yüksek puan alan katılımcıdır. Özge soruların ortalama %50'sini doğru cevaplandırmıştır. PSVT açınım bölümü sorularının %58'ini, döndürme bölümü sorularının %41'ini ve yönelim bölümü sorularının %33'ünü doğru bir şekilde cevaplandıran Özge'nin açınım bölümünde orta (ortanın biraz üzerinde), döndürme bölümünde biraz düşük (ortanın biraz altında) ve yönelim bölümünde düşük performans sergilediği söylenebilir.

Dört katılımcı verilerini birbiri ile karşılaştırırsak Tuğçe ve Pınar'ın PSVT'de düşük, Özge ve Melis ise orta düzeyde performans sergiledikleri söylenebilir. PSVT'nin açınım, döndürme ve yönelim bölümü sorularının doğru cevaplanma oranları sırayla ortalama %50, %48 ve %25 seviyelerindedir. Buradan katılımcıların PSVT'de en başarılı oldukları bölümün açınım, en başarısız oldukları bölümün ise yönelim olduğu ifade edilebilir. PSVT'nin açınım bölümünde Tuğçe ve Pınar'ın düşük, Özge'nin orta ve

Melis'in yüksek, döndürme bölümünde Tuğçe ve Özge'nin düşük, Pınar ve Melis'in orta ve yönelim bölümünde dört katılımcının da düşük performans gösterdiği gözlenmiştir.

Tuğçe PSVT'nin tüm bölümlerinde, Pınar ve Özge iki bölümünde, Melis ise bir bölümünde kötü performans sergilemiştir. Buradan Tuğçe haricindeki katılımcıların PSVT'nin açınım, döndürme ve yönelim bölümlerinin bir ya da ikisinde orta ya da üzerinde başarı gösterdikleri çıkarımında bulunulabilir.

Buna karşın PSVT sonuçları öğretmen adaylarının özellikle uzamsal görselleştirmenin alt bileşenleri ile ilgili zorlanmalarının nedenleri hakkında yeterli ve kapsamlı bilgi vermemektedir. Bu nedenle, özellikle katılımcıların uzamsal görselleştirmenin açınım, döndürme ve yönelim alt bileşenleri ile ilgili yaşadıkları zorlukların kapsamlı bir değerlendirmesini yapabilmek amacıyla onlara PSVT testinin ardından çizim etkinliklerini içeren yazılı değerlendirme soruları sorulmuş ve bu değerlendirme ile ilgili olarak bireysel ön görüşmeler yapılmıştır. Aşağıda bu süreç kapsamında elde edilen bulgulara yer verilmiştir.

3.1.2. Yazılı değerlendirme soruları, anket ve ön görüşmeler kapsamında öğretmen adaylarının uzamsal görselleştirme becerilerinin değerlendirilmesi

Bu aşamada öncelikle öğretmen adaylarından uzamsal görselleştirmenin açınım, döndürme ve yönelim bölümleri ile ilgili karmaşıklık düzeyi giderek artan görevleri içeren yazılı değerlendirme sorularına (Bkz. Örnek sorular için Ek-8-11) verdikleri yanıtlar incelenerek hata profilleri ve oranları oluşturulmuş, ardından bu hataların arkasında yatan nedenlerin ortaya çıkarılması amacıyla ilgili görüşme sorularına verilen yanıtlar irdelenmiştir.

Katılımcıların açınım, döndürme ve yönelim bölümü yazılı değerlendirme sorularına verdikleri cevaplar analiz edilirken Tablo 2.10'da yer alan hata profilleri kullanılmıştır. Öncelikle yazılı değerlendirme kâğıtları incelenerek her bir katılımcının uzamsal görevlerin her birinde bu hata profillerinin en az birini sergileme durumları belirlenmiştir. Böylelikle her bir katılımcının en az bir hata profilini sergilediği görevler ile hatasız bir şekilde yerine getirdiği görevler birbirinden ayrıştırılmıştır. Sonra yazılı değerlendirme kağıtlarından her bir katılımcının, her bir görevde bu hata profillerinin her birini ne sıklıkla tekrar ettikleri tespit edilmiştir. Bundan yararlanılarak katılımcı hata oranları hesaplanmıştır (Hesaplamaların nasıl yapıldığına yöntem bölümünde yer verilmiştir). İlgili görüşme soruları ile katılımcıların yazılı değerlendirme sorularını

cevaplarken ki düşünceleri açık hale getirilmiş ve hata profillerine onların hangi davranışlarının neden olduğunu anlaşılmıştır. Katılımcı hatalarının arkasında onların sahip oldukları şemaları yeni durumlara transfer edememelerinin mi yoksa şema eksikliklerinin mi yattığı belirgin hale getirilmiştir.

Bu aşamada ikinci olarak görevlerin algılanan zorluğu ile ilgili bir ankete başvurulmuş ve algılanan zorlukta ne gibi faktörlerin etkili olduğunu belirlemek için ilgili görüşme sorularına verilen cevaplar gözden geçirilmiştir. Katılımcılar açınım, döndürme ve yönelim bölümü yazılı değerlendirme sorularını cevaplandırdıktan sonra açınım bölümündeki 10, döndürme bölümündeki 10, birinci yönelim bölümündeki 36 ve ikinci yönelim bölümündeki 4 görevin her birini ne derece zor bulduklarını 1'den 9'a (9 dâhil) doğru artan sayı değerleri ile eşleştirmişlerdir. Uzamsal görevlerin algılanan zorluğu ile ilgili katılımcı derecelendirme puanlarından öğretmen adaylarının hangi soruları diğerlerinden kolay ya da zor buldukları ortaya çıkartılmıştır. Katılımcılara yazılı değerlendirme sorularını nasıl cevaplandırdıklarını içeren görüşme soruları dışında, ek görüşme soruları sorulmuştur. Bu görüşme soruları ile katılımcılar tarafından uzamsal görevlerin zor ya da kolay olarak nitelendirilmesinin altında yatan nedenler belirgin hale getirilmiştir.

Açınım, döndürme ve yönelim bölümünde yer alan görevlerin katılımcılar üzerinde yarattığı bilişsel yükler yazılı değerlendirme sorularına verilen cevaplardaki katılımcı hata oranlarından, algılanan zorlukla ilgili anket puanlarından, görevleri yaparken ki düşünce yollarını ortaya çıkaran ilgili görüşmelerden ve görevleri zor ya da kolay olarak nitelendirirken ki duygu ve düşüncelerini içeren ilgili görüşmelerden belirlenmeye çalışılmıştır.

3.1.2.1. *Açınım bölümü görevlerinin katılımcılar üzerinde yarattığı bilişsel yükün değerlendirilmesi*

Yazılı değerlendirme kağıtlarından öğretmen adaylarının açınım bölümündeki birinci ve ikinci kategori görevlerde A1, A2, A3 ve A4 hata profillerinin (Bkz. Tablo 2.10) sergileme oranları hesaplandıktan sonra, yapılan görüşmelerle hatalar ile sonuçlanan davranış kalıpları ve davranışların altında yatan faktörler belirgin hale getirilmiştir. Açınım görevlerinin algılanan zorluğu ile ilgili anket ile öğretmen adaylarının hangi görevleri diğerlerinden daha zor (ya da kolay) bulduğu tespit edildikten sonra, yapılan görüşmelerle görevlerin zor (ya da kolay) olarak nitelendirilmesinde ne

gibi faktörlerin etkili olduğu ortaya çıkartılmıştır.

3.1.2.1.1. *Açınım bölümü katılımcı hata oranları*

Tuğçe (T), Melis (M), Pınar (P) ve Özge'nin (Ö) her birinin açınım bölümündeki her bir sorudaki A1, A2, A3 ve A4 hata oranları Tablo 3.2'de gösterilmiştir. Tabloda 1'den 10'a kadar olan (10 dahil) sayı etiketlerinden ilk dördü aşina, beşinci modifiye, sonraki üçü iki aşina cismin kombine edilmesiyle ve son ikisi aşina üç cismin kombine edilmesiyle oluşan cisimlerin yüzey açınımları ile ilgilidir. Tabloda katılımcılar için K, görevlerin hangi sırada yer aldığını belirtmek için GN, cismin yüz sayısı için CYS, doğru açınımdaki ilişkilendirme sayısı için DAİS ve ortalama hata için Ort kısaltmaları kullanılmıştır.

Tablo 3.2. *Açınım Bölümü Yazılı Değerlendirme Görevlerindeki Katılımcı A1, A2, A3 ve A4 Hata Oranları*

A. B. Ön Görüşme Görevlerinin Her Birindeki Katılımcı A1, A2, A3 ve A4 Hata Yüzdeleri (%)												
	GN	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	
K	**CYS**	**6**	**5**	**5**	**3**	**7**	**10**	**10**	**9**	**10**	**10**	**Ort**
	DAİS	**7**	**5**	**4**	**3**	**9**	**15**	**13**	**12**	**15**	**13**	
	A1	0	0	0	0	14	30	50	33	50	20	19.7
Tuğçe	**A2**	0	0	80	66	14	50	50	33	50	40	38.3
	A3	0	0	0	0	14	60	80	66	70	100	39
	A4	0	0	25	33	77	86	100	92	100	100	61.3
Melis	**A1**	0	0	0	0	0	40	30	33	60	30	19.3
	A2	0	20	80	0	0	50	30	44	70	30	32.4
	A3	0	0	0	0	0	60	70	66	80	70	34.6
	A4	0	40	50	66	22	86	85	92	93	100	63.4
	A1	0	40	0	0	29	20	50	33	70	100	34.2
Pınar	**A2**	0	100	20	33	43	20	60	33	80	100	48.9
	A3	0	40	0	0	29	20	70	33	90	100	38.2
	A4	0	100	100	66	100	73	92	92	100	100	82.3
	A1	0	0	0	0	43	40	40	33	100	20	27.6
Özge	**A2**	0	0	60	100	43	40	40	33	100	60	47.6
	A3	0	0	0	66	43	60	70	66	100	100	50.5
	A4	0	20	100	66	77	86	92	92	100	100	73.3
	A1	0	10	0	0	21.5	32.5	42.5	33	70	42.5	25.2
Ort	**A2**	0	30	60	50	25	40	45	35.75	75	57.5	41.83
	A3	0	10	0	16.5	21.5	50	72.5	57.75	85	92.5	40.58
	A4	0	40	68.75	57.75	69	82.75	92.25	92	98.25	100	70.08

Not: 'Açınım Bölümü' için 'A.B.' kısaltması kullanılmıştır.

Tablo 3.2'deki veriler incelendiğinde Tuğçe'nin cevaplandırdığı on sorunun sekizinde diğer katılımcıların ise on sorunun dokuzunda hata yaptıkları söylenebilir. Yani Tuğçe sadece birinci ve ikinci soruları hatasız cevaplandırırken, Melis, Pınar ve Özge cevaplandırdıkları soruların sadece birinde hata yapmamışlardır. Başka bir deyişle

katılımcılar cevaplandırdıkları soruların %80 ila %90'ınında hata yapmışlardır.

Tablo 3.2 her bir katılımcının ön klinik görüşme sorularının her birinde yüzde kaç oranında A1, A2, A3 ve A4 hatası yaptıkları ve on görevin hepsi göz önünde bulundurulduğunda bu hata profillerini ne sıklıkla tekrarladıkları (Ort. Hata) hakkında bilgi vermektedir. On görevde Tuğçe ve Melis'in A1 (sırayla %19.7 ve %19.3), A2 (sırayla %38.3 ve %32.4) ve A4 (sırayla %61.3 ve %63.4) hata oranlarının ortalaması, Pınar ve Özge'nin hata oranlarından (A1 hata oranları sırayla %34.2 ve %27.6, A2 hata oranları sırayla %48.9 ve %47.6 ve A4 hata oranları %82.3 ve %73.3) daha düşük kalmıştır. Tuğçe, Melis ve Pınar'ın A3 hata oranlarının (sırayla %39, %34.6 ve %38.2) birbirine yakın ve Özge'nin A3 hata oranından (%50.5) daha düşük olduğu gözlenmiştir. Buradan ilgili görevlerin Pınar ve Özge'nin çalışan belleklerine empoze ettiği yükün, Tuğçe ve Melis'ten daha fazla olduğu söylenebilir. Çünkü Özge'nin dört hata profilini sergileme oranı ve Pınar A1, A2 ve A4 hata profillerini sergileme oranı Tuğçe ve Melis'ten yüksektir. Pınar'ın A3 hatasını sergileme oranı ise bu iki katılımcınınkine yakındır.

Soru türlerine göre hata oranları incelendiğinde küpün açınımını içeren ilk soruda katılımcıların hiç hata yapmadıkları görülmektedir. Bu durum katılımcıların küpün açınımını yapmayı gerektiren görev türleri ile pek çok yerde karşılaşmış olmaları ve onun yüzey açınımını yapma görevinin artık onlarda bilişsel yük yaratmaması ile açıklanabilir. Yani küp açınımı tüm katılımcılarda şema haline gelmiştir. Katılımcılar üçgen prizma, piramit ve dik silindirin açınımını yapmayı gerektiren ikinci, üçüncü ve dördüncü görev türleri ile ilk okul, orta okul ve lise öğrenim hayatları boyunca karşılaşmış olmalarına rağmen, bu görevlerin birinde A1, A2, A3 ve A4 hata profillerinin hepsini, diğer ikisinde en az ikisini sergilemişlerdir. Katılımcılar üçgen prizma, piramit, dik silindir ve kesik dikdörtgenler prizmasının yüzey açınımlarında ya düşük oranda A1 ve A3 hatası yapmışlar ya da bu hatalardan hiç yapmamışlardır. Oysa bu görevlerin hepsinde A2 ve A4 hata profillerini sergilemeye devam etmişlerdir. Bu durum katılımcıların aşina oldukları cisimlerin yüzey açınımlarını inşa etme için gerekli eylem şemasını tam olarak kazanmamış olmaları ile açıklanabilir. Hatta katılımcılar mevcut bilgi ve şemalarını bu görevleri ve benzerini yapmaya transfer edememişlerdir. Kombine cisimlerin yüzey açınımlarında yapılan A1, A3 ve A4 hata oranlarının ilk beş cisimdekinden oldukça fazla olduğu belirlenmiştir. Aşina bir cismin yüzünün başka bir aşina cismin yüzü ile çakışacak biçimde birleştirilmesi ile oluşturulmuş altıncı ve sekizinci soruda katılımcıların A1, A2,

A3 ve A4 hata oranları en az sırayla %32.5, %35.75, % 50 ve %82.75 seviyelerinde ve en fazla %33, %40, %57.75 ve %92 seviyelerindedir. Bu oranlar, aşina iki cismin birer yüzünün birbiri ile kesişecek biçimde kombine edilmesiyle oluşan yedinci sorudaki ve aşina üç cismin kombine edilmesiyle oluşan dokuz ve onuncu sorudaki ortalama A1, A2, A3 ve A4 hata oranlarından azdır. Kombine cisimlerde tüm hata profilleri oldukça yüksek oranda sergilenirken, aşina ve modifiye cisimlerde bazı hata profilleri bazı sorularda yüksek oranda yapılmış, diğer hata profilleri ya hiç sergilenmemiş ya da oldukça düşük oranda sergilenmiştir. Tablo 3.2'de elde edilen veriler önce, A1, A2, A3 ve A4 hata profillerinin sergilenmesi bağlamında tek tek ele alınmış, sonra birinci ve ikinci kategori görevlere hata oranlarının dağılımı değerlendirilmiştir.

A1 Hata Oranları: Bir cismin yüzey açınımının doğru bir şekilde yapılabilmesi için cisim yüzeyi üzerinde bulunan geometrik yüz şekillerini doğru bir şekilde belirledikten sonra, açınım çizimine yansıtılabilmesi gerekmektedir. Fakat, ön klinik görüşmelerde katılımcıların açınım çizimlerine cisim üzerinde bulunan tüm yüz şekillerini yansıtamayarak A1 hatası yaptıkları belirlenmiştir. Katılımcılar bazı sorularda bir cismin tüm yüzlerini açınım çizimlerine yansıtarak hiç A1 hatası yapmazken, bazı sorularda cismin yüzlerinden bir ya da daha fazlasını açınım çizimlerine yansıtamamışlardır. Bu nedenle bir katılımcının bir soruda yüzde kaç oranında A1 hatası yaptığını belirleyebilmek için, cisim üzerinde yer alıp açınım çizimine yansıtılamayan yüz sayısı, cismin tüm yüz sayısına oranlanmıştır. Buradan katılımcıların her birinin soruların her birindeki A1 hata oranları hesaplanmıştır (Bkz. Tablo 3.2).

Cismin üzerindeki yüz şekillerini doğru olarak belirleyip bu şekilleri açınımlarına yansıtmada Tuğçe ve Melis sırayla ortalama yaklaşık sırayla %19.7 ve %19.3 oranlarında hata yaparken, Pınar ve Özge sırayla %34.2 ve %27.6 oranlarında hata yapmıştır (Bkz. Tablo 3.2). Yani Pınar cismin yüz şekillerini doğru olarak belirleyip açınımına yansıtmada, diğer katılımcılardan daha fazla oranda hata yapmıştır.

Bir cismin yüzey açınımında cismin yüz sayısı ile açınımdaki yüz sayısı ve cismin yüzeyindeki geometrik yüz şekli ile açınımdaki yüz şekli aynı kalmaktadır, fakat katılımcıların bu durumla ilgili kavramsal şemaları eksiktir, her ne kadar aşina cisimlerde ezbersel bir yol içinde açınımlarındaki yüz sayı ve şekilleri cisimdeki ile aynı kalsa da cisimlerin karmaşıklaşan doğası cismin yüzlerinin doğru belirlenmesine ve açınım çizimine doğru bir şekilde yansıtılmasına ket vurmaktadır.

Aşina cisimleri içeren ilk dört soruda Pınar haricinde hiçbir katılımcı yüz belirleme

hatası yapmamıştır, Pınar üçgen prizmanın açınımını yapmayı gerektiren ikinci soruda %40 oranında hata yapmıştır. Katılımcılar ilk okul yıllarından beri üzerinde durulan küp, üçgen prizma gibi cisimlerin yüz şekillerini dörtgen, üçgen gibi şekiller olarak ayırt edip belirleme görevleri ile karşılaştıkları için, açınımlarına bu geometrik şekilleri yansıtmada pek fazla hata yapmamışlardır. Kesik dikdörtgenler prizmasının geometrik yüz şekillerini ayırt edip bunu açınımlarına yansıtmada katılımcı hata oranlarının artarak %21.5 seviyelerine çıktığını söyleyebiliriz. Çünkü Pınar ve Özge cismin beşgen biçiminde olması gereken iki yüzünü dörtgen olarak çizmiş, hatta Özge dikdörtgen şeklindeki yüzlerden birini çizmeyi unutmuş böylece Pınar cismin 7 yüzünden ikisini, Özge ise 3'ünü belirleme hatası yapmıştır (oranlarsak sırayla $2/7 = 0.29$ ve $3/7 = 0.43$). Tuğçe cismin yüz şekillerini doğru belirlese de o da dikdörtgen şeklindeki yüzlerinden birini çizmeyi unutmuştur (oranlarsak $1/7 = 0.14$). Bu cismin yüz şekillerini belirlemede tek hata yapmayan katılımcı Melis'dir.

Kombine cisimlere geçildiğinde aşina iki cismin bir yüzü çakışacak biçimde birleştirildiğinde katılımcıların birleşme sonucu oluşan yüz şekillerin hiçbirini belirleyemedikleri görülmüştür, örneğin, dik yamuk prizma ve kare prizma birleşiminde iç bükey beşgen prizma, L şeklindeki yan yüz ve kare şeklindeki taban göz önünde bulundurulmamıştır. Şekil 3.4'de dik yamuk prizma ve kare prizma birleşiminden oluşan cisim ve bununla ilgili olarak Tuğçe'nin yaptığı çizim yer almaktadır.

Aşina iki cismin birer yüzünün kesişerek birleşimi ile oluşmuş yedinci soruda A1 hata oranının biraz daha arttığı görülmektedir (7. soruda A1 hata oranı %42.5'dir), bunun nedeni katılımcıların cismin yüzeyinde doğru olarak belirlemek zorunda oldukları yüz şekillerinin sayısının artmasıdır, çünkü bu cismin tabanı ve yan yüzlerinden biri L şeklindedir ve kesişen yüzler bir dikdörtgen ve bir üçgen şeklinin oluşmasına neden olmuştur. Üç cismin kombine edilmesine geçildiğinde iki üçgen prizma ve bir kare prizmanın birleşiminde katılımcıların T şeklinde taban, dik dörtgen biçiminde arka yüz ve dik yamuk şeklideki iki yan yüzü belirlemesi, yani dört yüzün geometrik şekli hakkında muhakemede bulunması gerekmektedir, bu sorudaki A1 hata oranı da yedinci sorudaki ile aynıdır. Dokuzuncu soru iki kare prizma ve bir küp birleşiminden oluşmaktadır ve katılımcıların kare şeklindeki taban ile L şeklindeki dört yüz şeklini doğru olarak belirlemesi gerekmektedir, bu nedenle bu soruda %70 oranında A1 hatası yapılmıştır. Birleşen üç cisim L şeklinde oluşturduğu yeni yüz şekillerini belirleme görevi katılımcıların çalışan bellek kapasitelerini aşmış ve onlar bu cismin yüzeyini oluşturan

geometrik yüz şekillerini tam olarak belirleyip açınım çizimlerine yansıtamamışlardır.

Görüşme analizlerinden yararlanılarak cismin yüz şekillerini katılımcıların açınımlarına yansıtamama nedenleri dokuz maddede ele alınabilir: (1) Cismin yüz şekillerini belirlememe (örneğin, cisim üzerindeki beşgen seklindeki yüzü dörtgen olarak çizme), (2) Cismin yüzlerini saymama (örneğin, küpün altı yüzü vardır) ya da cismin yüzleri ile açınımındaki yüzler arasında eşleştirme yaparken, bazı yüzleri çizmeyi unutma, (3) Cismin görünmeyen yüzlerini açınım çizimine yansıtmama (örneğin, arkada bulunan yüzü çizmeme), (4) Cisim yüzeyindeki eş geometrik şekilleri açınım çizimine yansıtmama, (5) Cismin yüzeyini açmak için bir strateji geliştirememe, (6) Cismin yüzeyini açmak için belirlediği stratejiyi uygulayamama, (7) Cismin yüzeyini açmak için belirlediği stratejinin sadece bir kısmını açınım çizimine uygulama, (8) Cismin yüz tanımını bilmediği için yüzleri bölerek açma ve bölme sonucu oluşan yüz parçalarını açınımında farklı yerlere konumlandırma ve (9) Cismi zihninde taban düzlemi yerine, yan yüzlerinden birine yatırarak açmaya çalışırken, cismin yeni konumunu ve yüzlerinin konumunu zihninde tutamadığı için yüzlerin en az birini açınım çizimine yansıtmama. Aşağıda hataya neden olan katılımcı davranışı, örnek bir görüşme kesiti ile birlikte verilmiştir.

İkinci sorudaki dik üçgen dik prizmanın dikdörtgen şeklindeki arka yüzünü taban olarak alan Pınar, cismi arka yüzünün bulunduğu düzlem üzerinde saat yönünün tersinde 90 derece zihninde çevirdikten sonra, yüzey açınımını çizmeye çalışmıştır. Fakat katılımcının döndürdüğü cismin dikdörtgen şeklindeki arka yüzünde en boy oranına dikkat etmeden döndürme öncesindeki gibi çizmesi ve üçgensel yüzleri, arka yüzün sol ve sağına konumlandırması, onun kalan iki yüzü nasıl açacağını zihninde canlandıramamasına neden olmuştur. Bu nedenle Pınar açınımına iki tane yüzü yansıtmayı unutarak A1 hatası yapmıştır. Bu durumla ilgili olarak araştırmacı ve Pınar arasında geçen diyaloglar şu şekildedir:

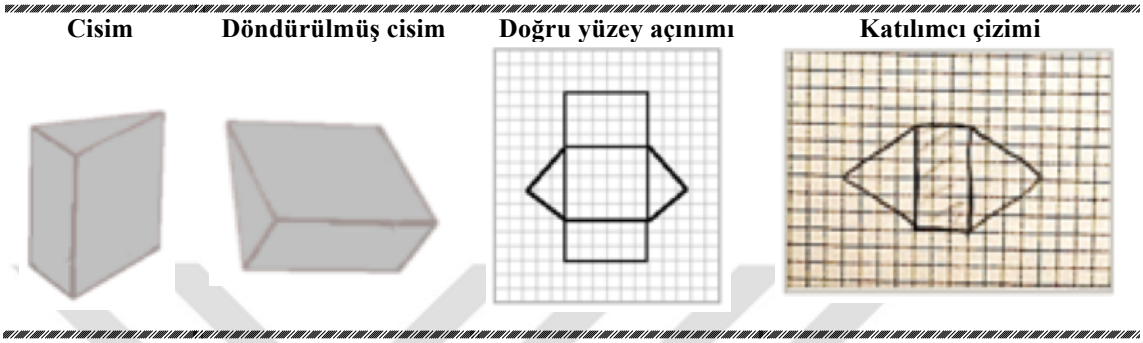
P: Yani çizemedim bunu, tam olarak düşünemedim bunu, tabanı dikdörtgen olarak düşündüm, üçgen parçalarını çizdim ama eksiklerim var, yüz sayısı da tutmuyor zaten, kendi hatamın da farkındayım, çizemedim yani olmadı.

A: Neler çizdin burda?

P: Tabanını çizdim şu kareyi yaparaktan, şu üçgenlerini çizdim, şu kenarlarını eklememişim.

Şekil 3.1'de Pınar'ın açınım çizimine sadece cismin iki yüzünü yansıtmama hatası yaptığı söylenemez, o ayrıca dik üçgen şeklindeki iki yüzü eşkenar üçgen şeklinde çizmiş

ve cismin dikdörtgen şeklindeki arka yüzünün en-boy oranını göz ardı etmiştir. Pınar'ın iki yüzü çizmemesi, bu iki yüzü konumlandırmamış olması anlamına gelir. Ayrıca katılımcı açınım çizimini kapatmak için gerekli hiçbir ilişkilendirmeyi göz önünde bulundurmamıştır. Yani katılımcı açınım çiziminde A1, A2, A3 ve A4 hatalarının hepsini yapmıştır.



Şekil 3.1. *Ön Yazılı Değerlendirmelerde Pınar'ın A1 Hatası*

A2 Hata Oranları: A2 hatası, bir cismin yüzeyi üzerinde bulunan yüz şekillerinin geometrik özelliklerinin katılımcı açınım çizimlerine yansıtılmaması hatasıdır. Bir katılımcının bir cismin yüzey açınımını çizmede yüzde kaç oranında A2 hatası yaptığını bulmak için, bir açınım çiziminde geometrik özelliklerine göre çizilmeyen yüz sayısı, cismin tüm yüz sayısına oranlanmıştır. Dört katılımcının her birinin, on sorunun her birindeki yüzde kaç oranında A2 hatası yaptığı Tablo 3.2'de sunulmaktadır.

Pınar ve Özge açınımı yapılan cisimlerin yüz şekillerini geometrik özelliklerine göre dikkat ederek çizmede sırayla %48.9 ve %47.6 oranlarında hata yapmışlardır, bu onların yaklaşık %50 oranında cismin yüzeyini oluşturan şeklin geometrik özellikleri hakkında düşünmeksizin çizim yaptıklarına işaret etmektedir (Bkz. Tablo 3.2). Tuğçe ve Melis'in ortalama A2 hata oranı sırayla %38.3 ve %32.4 şeklindedir, her ne kadar bu oranlar Pınar ve Özge'den düşük olsa da, oldukça yüksektir. Bir katılımcının bir cismin bir yüz şeklini açınımına doğru bir şekilde yansıtabilmesi için o şeklin kenar uzunlukları ve açı ölçülerini göz önünde bulundurarak geometrik şekil için zihinlerinde bir inşa şeması oluşturduktan sonra, cismin yüzeyindeki geometrik şekil ile açınımlarına çizecekleri arasında uzunluk ve açı eşliğine dikkat etmeleri gerekmektedir. Fakat bir geometrik şekli inşa etme için gerekli eylem şemasına sahip olmayan katılımcılar dikdörtgen yerine yamuk ya da paralelkenar, kare yerine dikdörtgen, dik üçgen yerine ikizkenar ya da eşkenar üçgen çizimi yapabilmektedirler. Cismin geometrik yüz şeklinin

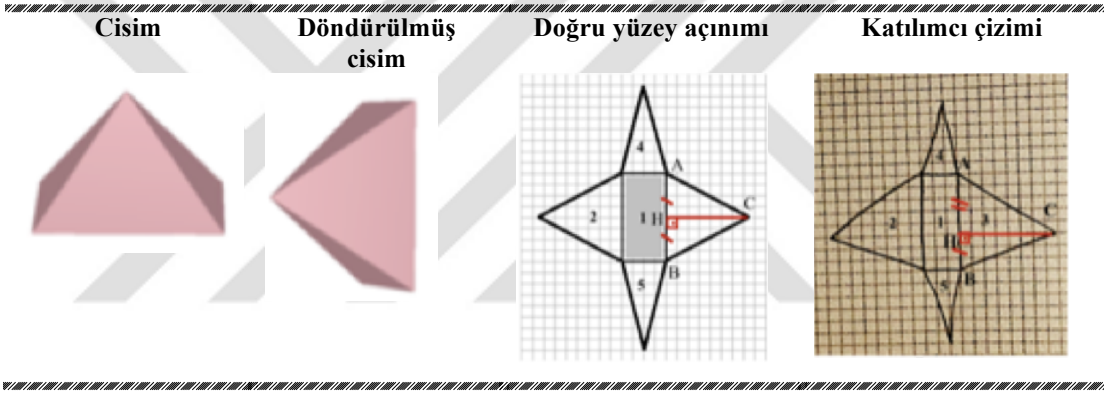
kenar uzunlukları ve açı ölçüleri hakkında karar verme ve açınıma bu yüz şekillerinin eşlerini oluşturma süreçlerinin ikisinin de katılımcılar tarafından şema haline gelmesi ile A2 hatasının önüne geçilebilir.

Katılımcılar aşina cisimlerin yüz şekillerinin geometrik özelliklerini bile açınımlarına doğru bir şekilde yansıtamamaktadırlar. Örneğin, dikdörtgen dik piramit açınımında (3.soruda) %60 oranında A2 hatası yapmışlardır. Dikdörtgen dik piramitte karşılıklı yüzler birbirine eş ikizkenar üçgendir ve doğru açınımın inşa edilebilmesi için dikdörtgenin en ve boylarının orta noktalarından karşılıklı olarak birbirine eşit uzunlukta yükseklik çıkma ve taban uzunluğunun yarısı ile yüksekliğin oluşturduğu hipotenüs uzunluklarının birbiri ile eşit olması gibi belirli prosedürlerin yerine getirilmesi gerekmektedir. İki kare prizma ve bir küp birleşiminden oluşan dokuzuncu soru hariç katılımcıların kombine cisimleri içeren diğer sorulardaki A2 hata oranı bile üçüncü sorudan azdır. Yani katılımcılar ister aşina olsun ister olmasın cisimlerin yüzey açınımlarını, cismin yüz şekillerinin geometrik özelliklerini dikkate almaksızın gerçekleştirmişlerdir.

Görüşmelerde yüzlerin açınım çizimlerine doğru bir şekilde yansıtılmamasının altında katılımcıların hangi davranışlarının yansıtıldığı açık hale getirilmeye çalışılmıştır. Katılımcı A2 hatalarına neden olan davranışlar sekiz madde ele alınabilir: (1) Cismin perspektif görünüşünün etkisinde kalarak, yüzleri algıladığı gibi çizme (örneğin, kare olması gereken yüz, eşkenar dörtgen şeklinde göründüğü için bu yüzü açınımına eşkenar dörtgen olarak yansıtma), (2) cismin eğik yüzlerini açınım çizimine nasıl yansıtacağı hakkında muhakemede bulunamama (örneğin, eğik konumdaki dikdörtgen yüzün orijinal şeklini belirleyememe ya da dikdörtgen olduğunu belirlese de bu yüzü nasıl açabileceğini ve açınımına nasıl yansıtabileceğini belirleyememe), (3) cismin yan yüzlerini ayrıtlarından birinden tuttuğunu düşünüp asılarak açma, (4) cismin belirli bir yüz seklini açınımına yansıtırken, yüzün sahip olduğu geometrik özelliklerin bazılarını uygulamanın doğru görüntüyü üreteceğini düşünme (örneğin, cismin dikdörtgen seklindeki yüzünü açınımına çizerken, karşılıklı kenarları paralel ve eşit olan bir sekil oluşturmanın yeterli olacağını düşünme, dikliği hesaba katmama), (5) cismin yüzeyinde bulunan her bir yüzün kenar uzunlukları arasındaki uzunluk ilişkisini açınımına yansıtmama (örneğin, uzun kenarının uzunluğu kısa kenarının iki katı olan dikdörtgen seklindeki bir yüzü, neredeyse kare gibi çizme), (6) cismin yüzeyinde bulunan yüzlerin açısal özelliklerini açınımına yansıtmama örneğin, 135, 135, 90, 90 ve 90 seklindeki bir beşgenin 135 derecelik

açılarını farklı açı ölçülerine sahip olacak şekilde çizme, (7) geometrik şekli inşa etmek için gerekli prosedürleri kullanmama (örneğin, belirli bir açı ölçüsünü yansıtmak için iletkiyi nasıl kullanacağını bilmeme ya da yanlış hatırlama) ve (8) geometrik şekilleri inşa ederken geometrik bağıntıları kullanmama (örneğin, ikizkenar üçgen inşa etmek için taban kenarından orta dikmenin çıkılması gibi). Hata ile sonuçlanan katılımcı davranışı örnek bir görüşme kesiti ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Kare ya da dikdörtgen piramit olarak algılanan cismin karşılıklı olarak birbirine eş ikiz kenar üçgen olan yan yüzlerini dik üçgen ve ikizkenar üçgen olarak çizdiğini belirten Özge'nin açınım çizimi Şekil 3.2'de yer almaktadır. Özge'nin çizimini cismin yüzlerinin kenar ve açı özellikleri hakkında muhakemede bulunmaksızın gerçekleştirdiği görülmektedir.



Şekil 3.2. *Ön Yazılı Değerlendirmelerde Özge'nin A2 Hatası*

Şekil 3.2'de Özge'nin açınım çizimindeki üçgenlerden birinin tepe noktasından, üçgenin tabanına bir dikme indiğimizde, inilen dikme tabanı iki eş parçaya ayırmamaktadır. Yani ikizkenar olması gereken üçgenler, katılımcı çiziminde çeşitkenardır. Buradan katılımcının cismin dört yan yüzünü geometrik özelliklerine dikkat etmeden çizdiğini söyleyebiliriz. Özge cismin taban ve yan yüzlerini hangi geometrik şekillere benzeterek çizdiğini şu şekilde anlatmaktadır:

Ö: Şu (2) ve şu (3) eşkenar üçgen, şuraları (4 ve 5) da dik üçgen yaptım, altı da dikdörtgen olucak biçimde, düşünüyorum altı kare miydi diye?

Özge cismin beş yüzünün hepsini de açınım çizimine yansıtarak ve tüm yüzleri açınımında doğru biçimde konumlandırarak hiç A1 ve A3 hatası yapmamıştır, beş yüzün dördünü geometrik özelliklerine göre çizmediği için A2, açınımını kapatmak için gerekli dört ilişkilendirmenin hiçbirine dikkat etmediği için A4 hataları yaptığını söyleyebiliriz.

A3 Hata Oranları: A3 hatası, katılımcıların açınım çizimlerindeki yüz konumlarının, cismin doğru yüzey açınımındaki yüz konumları ile uyuşmaması şeklinde tanımlanabilir. Bir katılımcının bir cismin yüzey açınımında yüzde kaç oranında A3 hatası yaptığını bulabilmek için, katılımcının doğru bir şekilde konumlandırmadığı yüz sayısı, cismin yüz sayısına oranlanarak bulunabilir. Tuğçe, Melis, Pınar ve Özge'nin her bir sorudaki A3 hata oranları Tablo 3.2'de yer almaktadır.

Tuğçe, Melis ve Pınar'ın A3 hata oranlarının (sırayla %39, %34.6 ve %38.2) birbirine yakın olduğu görülmektedir, oysa Özge %50.5 oranında konumlandırma hatası yapmıştır (Bkz. Tablo 3.2). Katılımcıların ortalama A3 hata oranları oldukça yüksektir. Ayrıca cisimleri nasıl açacağını belirleme ve uygulamada en fazla sorun yaşayan kişi Özge'dir. Konumlandırma hatası, A1 hatasından ya da katılımcıların bir cismin yüzey açınımını gerçekleştirmek için gerekli eylem zincirini zihinlerinde canlandırıp, uygulamada sorun yaşamalarından kaynaklanmaktadır. Burada ikinci faktör üzerinde durulacaktır.

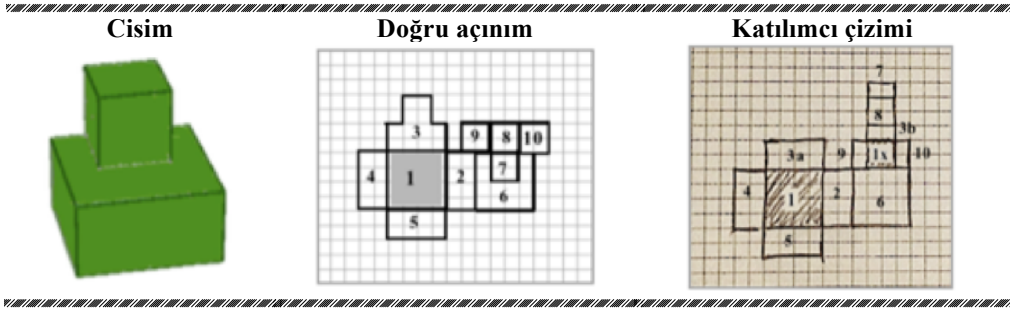
Aşina cisimler ile kesik dikdörtgenler prizmasının açınımını yapmada düşük oranda hata yapan katılımcıların altıncı soruda %50, sekizinci soruda %57.75 oranında hata yaptıkları görülmüştür. İki aşina cismin bir yüzleri boyunca kesişmesi ile oluşan cisimde A3 hata oranı artarak %72.5 seviyelerine çıkmıştır. Aşina üç cismin kombine edilmesinde ise bu oranlar %85 ila %92.5 şeklindedir. Yani cisim karmaşıklaştıkça A3 hata oranı artış göstermektedir. Yapılan klinik görüşmelerde katılımcıların aşina ve kesik cisimlerin açılması için gerekli eylem zincirlerini çıkarsamada çok az sorun yaşadıkları, genellikle taban olarak belirledikleri bir yüz etrafına yan yüzleri açtıktan sonra, üst yüzü bu yan yüzlerden biri ile ilişkilendikleri görülmektedir. Oysa kombine edilmiş cisimlerde katılımcılar daha çok konumlandırma hataları yapmışlardır.

Yapılan görüşmelerle katılımcıların konumlandırma hatalarına, onların hangi davranışlarının neden olduğu belirgin hale getirilmiştir. Bunlar: (1) Cismi taban düzlemine nasıl açacağını bilmediği için, cismi taban düzlemine değil de yan yüzlerden birine açmaya çalışma, (2) cismi iç yüzeyi gözükecek şekilde taban düzlemine açma yerine, dış yüzeyi gözükecek şekilde üst yüzlerinden biri ile aynı düzleme açma, (3) cismin yüzeyinin bir kısmını içten dışa, bir kısmını dıştan içe doğru açma, (4) cismi taban düzleminde zihninde belirli bir açı yapacak şekilde döndürdükten sonra açınım çizimini yapmaya çalışırken, dönme sonucu oluşan cisim görüntüsünü zihninde doğru bir şekilde canlandıramadığı için yaptığı açınım çiziminde konumlandırma hatası yapma, (5) cismin

yüzeyini tabanına komşu yüzlerden başlayarak açmak için belirlediği stratejiyi doğru bir şekilde uygulayamama, (6) kombine cisimleri açarken, kombine edilen cisimleri ayrı ayrı açma yoluna gitme , (7) kombine cisimleri açarken, kombine edilen cisimlere ait farklı eylem zincirlerini açınımına uygulayamama (yani kombine edilen cisimlere ait farklı eylem zincirlerini koordine edememe), (8) Cismin yüzeyi üzerinde bulunan komşu iki yüzün açı ve kenar özelliklerini hesaba katmadığı için yüz ya da yüzleri hatalı konumlandırma (örneğin, bir cismin yüzeyi üzerinde dikdörtgen yüzün uzun kenarı ile üçgenin hipotenüsü çakışık olmasına rağmen, dikdörtgen yüzün uzun kenarına üçgenin dik kenarını çakışık çizme) şeklinde sekiz maddede toplanabilir. Konumlandırma hataları ile sonuçlanan katılımcı davranışına bir örnek, görüşme kesiti ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Melis kare prizma ve küp birleşiminden oluşan cismi, iki ayrı cisim olarak algılamıştır. Bu nedenle açınımını yaparken cismin kare prizma biçimindeki alt kısmını ayrı ve küp biçimindeki üst kısmını ayrı düşündüğü için, yeni cismin arka kısmındaki 'ters T' harfi şeklindeki yüzünü ve cismin üst ve alt tabanlarına paralel 'U harfi şeklindeki' orta yüzünü açınım çizimine yansıtmamıştır (Bkz. Şekil 3.3). Bu durumu Melis şu şekilde anlatmaktadır:

M: İki ayrı şekil olarak düşündüm, şu büyük şekli böyle çizdim, alt taban kare, yan yüzeyler dikdörtgen, üst yüzey de yine kare, üstteki şekli de bunun yanına çizim, şunu alt taban kabul ettim, yan yüzeyler kare şeklinde çizmek istedim ama yanlış çizmişim kare olucaktı, buralar ve yine üstünü kapatıcaktı bu şekilde.



Şekil 3.3. *Ön Yazılı Değerlendirmelerde Melis'in A3 Hatası*

Melis cismin iki yüzünü açınım çizimine yansıtmamış, cismin küp şeklindeki kısma ait yüzlerini yanlış konumlandırmış, küp kısmına ait kare yüzlerin bazılarını dikdörtgen olarak çizmiştir. Ayrıca doğru açınım çiziminin kapanması için gerekli ilişkilendirmelerin çoğu Melis'in açınım çiziminde yer almamaktadır. Bu nedenle

katılımcının dört hata profilini de sergilediğini söyleyebiliriz.

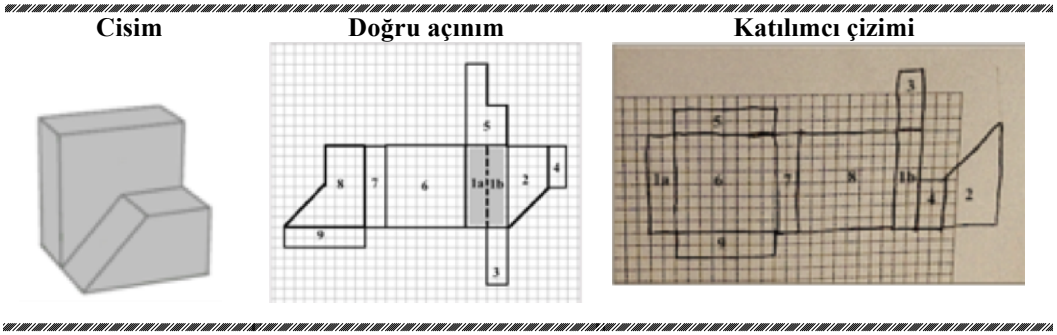
A4 Hata Oranları: A4 hatası, bir katılımcının açınımını kapatabilmesi için birleştirilmesi gereken kenar ya da kenar parçalarının birbiri ile uyuşmaması durumudur. Bir katılımcının bir cismin yüzey açınımında kaç kez A4 hatası yaptığını bulabilmek için, katılımcının açınımını kapatmak için aynı uzunlukta çizdiği kenar (ya da kenar parçası) çifti sayısı, doğru açınımın kapanması için birleştirilmesi (ilişkilendirilmesi) gereken tüm kenar (ya da kenar parçası) çifti sayısından çıkartılabilir. Katılımcıların her bir sorudaki açınım çiziminde yüzde kaç oranında A4 hatası yaptığını bulmak için, katılımcıların her bir sorudaki A4 hata sayısı, o soruda yer alan cisme ait doğru açınımın kapanması için birleştirilmesi gereken kenar çifti sayısına bölünmüştür. Katılımcıların her bir sorudaki A4 hata oranları Tablo 3.2'de gösterilmiştir. Tablodan görüldüğü üzere dört katılımcının da A4 hata oranları %60'ın üzerindedir. Pınar'ın A4 hata oranı ise %80'in de üzerine kadar çıkmıştır.

Küp açınımını yapmayı gerektiren ilk soruda hiç hata yapmayan katılımcıların, ikinci, üçüncü ve dördüncü sorudaki hata oranları %40 ila %68.75 aralığında değişmektedir. Kesik dikdörtgenler prizmasında bu oran %69'dur ve en çok A4 hatası yapılan aşina cisimdekine yakındır. İki aşina cismin kombine edilmesi ile oluşan cisimlerde bu oran %82.75 ile %92.25 aralığında değişirken, aşina üç cismin kombine edilmesiyle oluşan cisimlerde bu oranlar %98.25 ve %100 biçimindedir. A4 hatasının önüne geçmek için takip edilmesi zorunlu olan iki yol vardır: (1) Katılımcıların A1, A2 ve A3 hatalarının önüne geçmek için gerekli şemaları kazanmalarını sağlamak, (2) Katılımcılar açınım çizimlerini yaparken ya da yaptıktan sonra açınımlarının kapanması için birleşecek olan kenarların aynı uzunlukta olmasına odaklanmalarını ve kapalı cisim yüzeyini zihinlerinde canlandırmalarını sağlamak.

Görüşmelerden A4 hatasına neden olan katılımcı davranışları belirlenmiştir. Bunlar yedi maddede özetlenebilir: (1) Bir cismin yüz şekillerinin birbiri olan ilişkilerini göz önünde bulundurmama (örneğin, dikdörtgenler prizmasının, karşılıklı yüzleri birbirine paralel ve eş iki dikdörtgendir), (2) cismin ayrıtları arasındaki orantısal özellikleri belirlememe (örneğin, cismin ön tarafında bulunan şeklin kapladığı alan, arkadaki şeklin dörtte biri kadardır), (3) bir cismin yüzeyinde bulunan iki ya da daha fazla yüz şeklinin geometrik özellikleri ile ilgili çıkarımlarda bulunarak, cisim üzerinde bulunan başka bir yüz şeklinin geometrik özelliklerini belirlemeden çizim yapma (örneğin, bir cisim yüzeyi üzerinde bulunan birbirine eş üç ikizkenar dik üçgenin hipotenüsleri, cisim üzerindeki

başka bir üçgenin kenarlarını oluşturuyorsa, bu üçgenin eşkenar üçgen olduğunu çıkarsayamama), (4) açınımda bir yüzün sahip olduğu geometrik bağıntıları hesaba katmaksızın diğer yüzleri çizme, örneğin, dik üçgen dik prizmanın, üçgen seklindeki yüzüne komşu dikdörtgen şeklindeki yan yüzlerinin açınımını çizerken, dikdörtgenleri dik kenarlar ve hipotenüs arasındaki ilişkiyi göz önünde bulundurmaksızın rastgele çizme, (5) Cismin yüzeyini açarken, kapanınca birleşecek kenarların uzunluklarının birbirine eşit olması gerektiğini düşünmeksizin çizim yapma, (6) cismi açmak için kullandığı mantıksal ve analitik olmayan yaklaşımı, açınımını kapatmak için kullanma ve (7) Açınımını kapatmak için gerekli eylem zincirini kapatmak için açınımdaki yüzleri nasıl hareket ettireceğini doğru bir şekilde ifade etmesine rağmen, açınımda kapanınca birleşmesi gereken kenar çiftlerini dikkate almama. Görüşmelerden bir kesit ile birlikte aşağıda A4 hatasına neden olan bir katılımcı davranışı örneklenmiştir.

Dik yamuk prizma ve kare prizmanın iç bükey beşgen biçiminde bir şekil oluşturacak biçimde çakıştırılmasıyla oluşan cisimle ilgili olarak, Şekil 3.4'de cisim, doğru açınım çizimi ve Tuğçe'nin açınım çizimi verilmiştir. Doğru açınım ile Tuğçe'nin açınımını karşılaştırdığımızda onun açınım çiziminde A4 hatası başta olmak üzere, A1, A2 ve A3 hatalarını da yaptığı görülmektedir.



Şekil 3.4. *Ön Yazılı Değerlendirmelerde Tuğçe'nin A4 Hatası*

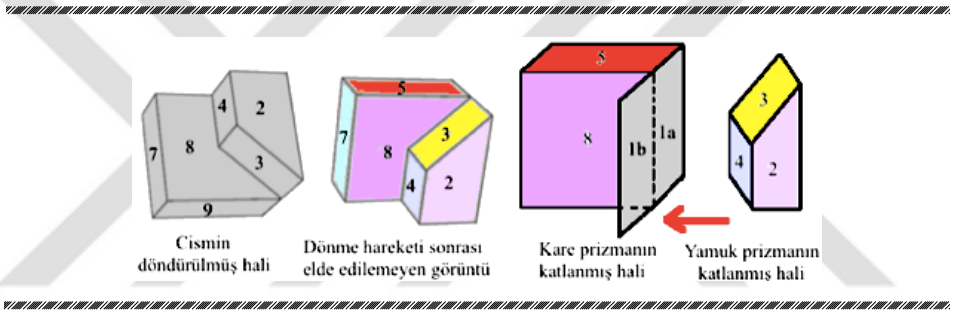
Görüşme sırasında Tuğçe'den açınım çizimini nasıl kapatacağını anlatması istenerek, onun cismi açma ve açınımını kapatma sürecini nasıl gerçekleştirdiği açık hale getirilmiştir. Bu durumla ilgili olarak araştırmacı ve Tuğçe arasındaki diyaloglar şu şekildedir:

A: Nasıl kapatıyorsun, bu şekli nasıl kapatıyorsun?

T: Bu şekli nasıl kapattım, şunlar zaten kapandı (1a, 5, 6, 7, 8 ve 9), şu şekilde böyle (8 nolu kare önde, 6 numaralı karenin arkada duracağına işaret ediyor), daha sonra, bu cismi kapatmaya çalıştım (dik yamuk prizma kısmından bahsediyor) , şurası eğik olduğu için (3 numaralı dikey duran üstteki

dikdörtgen), şöyle üste (4 ün yanına 3 ün gelmesi gerektiğini anlatıyor) gelicek, şurası da şöyle gelicekti (1b 'nin duruşu) , bu seferde bu taraftan kaydırcam (4, 3 ve 2 numaralı yüzlerin oluşturduğu yüzeyi 8 numaralı yüzün üst kısmına sağdan sola doğru ittiğinden bahsediyor) , olmadı ama, yanlış hayal etmişim şimdi onu farkettim.

Tuğçe'nin anlatımından cismi kare şeklindeki arka yüzün bulunduğu düzlem üzerinde saat yönü tersinde 90 derece döndürmeye çalıştığı, fakat oluşacak görüntüyü zihninde yanlış bir şekilde canlandırdığı görülmektedir. Şekil 3.4'de Tuğçe'nin açınımındaki 1a, 1b, 5, 6, 7, 8 ve 9 yüzleri ve 4, 3 ve 2 numaralı yüzleri zihninde kapattığında Şekil 3.5'te verilen soldan üçüncü ve dördüncü görüntüler elde edilmektedir. Tuğçe Şekil 3.5'te en sağdaki üç yüze sahip yamuk prizmaya benzeyen yüzey parçasını, soldan üçüncü görüntüdeki kare prizmaya doğru sağdan, sola doğru ittirerek Şekil 3.5'teki soldan ikinci görüntüyü elde edeceğini düşünmektedir.



Şekil 3.5. *Ön Görüşmelerde Tuğçe'nin Açınımını Kapatış Süreci*

Tuğçe cismin açınımını analitik ve mantıklı bir yol içerisinde gerçekleştiremediği için, açınımını kapatma sürecini de analitik ve mantıklı bir yol içerisinde gerçekleştirememiştir. Buradan Tuğçe'nin açınımını kapatmak için bir araya gelecek yüzler ve kenar çiftleri hakkında muhakeme edemediği söylenebilir.

Kategorilere Göre A1, A2, A3 ve A4 Hata Oranları: Birinci ve ikinci kategori açınım görevlerinde katılımcıların her birinin ortalama yüzde kaç oranında A1, A2, A3 ve A4 hatası yaptığını belirlemek için Tablo 3.3 oluşturulmuştur.

Katılımcıların hepsinin ikinci kategori görevlerdeki hata oranları, birinci kategorideki görevlerden oldukça fazladır. Bu durum açınım çizimi yapılacak cismin öge ve etkileşimli öge miktarı artırıldıkça, katılımcıların eylem şemaları doğru açınımın inşa edilebilmesinde oldukça yetersiz kaldığı ve hata oranlarının arttığı şeklinde yorumlanabilir.

Tablo 3.3. *Açınım Bölümü Yazılı Değerlendirme Görevlerindeki Katılımcı A1, A2, A3 ve A4 Hata Oranlarının Kategorilere Göre Dağılımı*

A. B. Kategorilere Göre Katılımcı A1, A2, A3 ve A4 Hata Yüzdeleri (%)								
Öğretmen	**A1**		**A2**		**A3**		**A4**	
Adayları	1.K	2.K	1.K	2.K	1.K	2.K	1.K	2.K
Tuğçe	2.8	36.6	32	44.6	2.8	75.2	27	95.6
Melis	0	38.6	20	44.8	0	69.2	35.6	91.2
Pınar	13.8	54.6	39.2	58.6	13.8	62.6	73.2	91.4
Özge	8.6	46.6	40.6	54.6	21.8	73.2	52.6	94
Ort	6.3	44.1	33	50.65	9.6	71.55	47.1	93.05

Tablo 3.3'den görüldüğü üzere Tuğçe ve Melis'in birinci kategori görevlerdeki A1, A2, A3 ve A4 hata oranları ile ikinci kategorideki A1 ve A2 hata oranları Pınar ve Özge'den oldukça düşüktür. İkinci kategori A3 hata oranı en düşük olan katılımcı Pınar'dır. Tüm katılımcıların A3 hata oranları %62.6 ile %75.2 aralığında, A4 hata oranları %91.2 ile %95.6 aralığında değişmektedir, buradan onların A3 ve A4 hata oranlarının yeterince yüksek olduğu söylenebilir. Birinci ve ikinci kategori görevlerdeki katılımcı performansları göz önünde bulundurulduğunda, genel olarak Pınar ve Özge'nin hata oranlarının Tuğçe ve Melis'ten daha fazla olduğu belirlenmiştir. Buradan görevlerin Pınar ve Özge'de yarattığı bilişsel yükün, Tuğçe ve Melis'ten yüksek olduğu sonucuna varılabilir.

Dört katılımcının birinci kategori görevlerdeki ortalama A1 ve A3 hata oranları, A2 ve A4 hata oranlarından oldukça düşüktür. Katılımcılar daha önce karşılaştıkları yüzey açınımlarını içeren birinci kategori görevlerde, cisimlerin yüzlerini belirleyip, onların yüzlerini açınım çizimlerinde doğru bir şekilde konumlandırabilseler de bu yüzleri geometrik özelliklerine göre çizemedikleri ve açınımları kapanınca birleşince bir araya gelecek kenar çiftleri hakkında muhakemede bulunmadıkları gözlenmiştir. Dört katılımcının ikinci kategori görevlerdeki A1 ve A2 hata oranları, A3 ve A4 hata oranlarından düşüktür. Ön görüşmeler, katılımcıların ikinci kategori görevlerde yüksek oranda konumlandırma ve ilişkilendirme hatası yapmalarının, cismin yüzeyini açmak için gerekli strateji geliştirme ve uygulamada yaşadıkları zorluklarla bağlantılı olduğunu göstermiştir.

3.1.2.1.2. *Açınım bölümü görevlerinin algılanan zorluğu*

Katılımcıların açınım bölümü yazılı değerlendirme sorularının zorluğunu derecelendirme puanlarından Tablo 3.4 oluşturulmuştur. Tablo 3.4 incelendiğinde on

sorunun Tuğçe, Melis, Pınar ve Özge tarafından algılanan ortalama zorluğunun yaklaşık sırayla 5.3, 4.8, 7.1 ve 5.7 seviyelerinde olduğu görülmektedir. Soruların Tuğçe, Melis ve Özge tarafından algılanan ortalama zorluğu, Pınar'dan azdır. Oysa Özge ve Pınar'ın sorulardaki A1, A2, A3 ve A4 hata oranları birbirine yakındır ve Tuğçe ve Melis'ten fazladır. Bu durum soruların katılımcılar tarafından algılanan ortalama zorluğu ile hata oranları arasında anlamlı bir ilişki olmadığı ile açıklanabilir.

Tablo 3.4. *Açınım Bölümü Yazılı Değerlendirme Görevlerinin Algılanan Zorluğu ile İlgili Katılımcı Derecelendirme Puanları ve Onların Kategorilere Göre Dağılımı*

A.B. Ön Görüşme Sorularının Algılanan Zorluğu ile İlgili Katılımcı Derecelendirme Puanları													
Katılımcılar	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**Ort**	**1.K**	**2.K**
Tuğçe	1	2	4	4	5	6	8	6	8	9	5.3	3.2	7.4
Melis	1	1	2	2	3	7	8	7	8	9	4.8	1.8	7.8
Pınar	1	4	4	4	7	8	9	9	9	9	7.1	4	8.8
Özge	1	2	2	3	5	8	9	9	9	9	5.7	2.6	8.8
Ort	1	2.25	3	3.25	5	7.25	8.5	7.75	8.5	9	5.725	2.9	8.2

Yazılı değerlendirmelerde, birinci kategori cisimlerin (1.K) yüzey açınımlarını yapmayı gerektiren görevlerin katılımcılar tarafından algılanan zorluğu ortalama 2.9 seviyelerinde, ikinci kategori cisimlerin (2.K) ise ortalama 8.2 seviyelerindedir (Bkz. Tablo 3.4). Yani cisimler karmaşıklaştıkça, katılımcılar tarafından algılanan bilişsel yükleri de artış göstermektedir. Katılımcılar daha önceden bildikleri cisimlerin yüzey açınımlarını yapma görevlerini zor olarak algılamazken, cisimlere bir düzlemle kesme ya da onları birbiri ile kombine etme işlemleri uygulandığında onlarla baş etmede zorlanmışlardır. Yani kesik dikdörtgenler prizmasının katılımcılar tarafından algılanan ortalama zorluğu 5, kombine cisimlerin ise ortalama 7.25 ya da üzerindedir, oysa aşina cisimlerde bu oran ortalama 3.25 ya da altındadır. Görüşmelerde katılımcılar aşina cisimleri önceden tanıdıkları için açınımlarını yapmada fazla zorlanmadıklarını belirtmişlerdir. Özge'nin bu durumla ilgili açıklamaları şu şekildedir:

Ö: Şimdi başta hocam, başta küp vardı, hemen altında üçgen prizma, dikdörtgen piramid bu tür şeyler biraz okul döneminde bilindik şeyler olduğu için açılımlarındaki geometrik şekillerin neler olduğunu biliyordum

Katılımcılar daha önce tanımadıkları bütüncül bir cisimle karşılaştıklarında, bu cismin yüzeyini açmayı aşina cisimlerin yüzeyini açmaktan daha zor bulmuşlardır. Kesik dikdörtgenler prizmasının yüzey açınımına geçildiğinde, aşina cisimlere göre bundan sonra gelecek görevleri daha zor bulduğunu Özge şu şekilde ifade etmektedir: *'zorlara geçiyoruz şimdi'*. Pınar ise aşina cisimleri yapabildiğini fakat aşina olunmayan cisimlere

geçildiğinde karşılaştığı zorluğu şu şekilde ifade etmektedir:

'Açılımları kolay şekilleri yapabiliyordum, dikdörtgenler prizması falan zaten bildiğimiz, ama daha değişik şekiller de çıkmıştı, onları tahmin edemiyordum. Bahsettiğim şekil bu işte (kesik dikdörtgenler prizması), çok ilginç bence'.

Kombine cisimlerin katılımcılar tarafından algılanan zorluğu aşina olunan ve olunmayan bütüncül cisimlerden oldukça fazla olmuştur. Bununla birlikte üç cismin kombine edilmesiyle oluşmuş cisimlerin katılımcılar tarafından algılanan ortalama zorluğu iki cismin kombine edilmesiyle oluşan cisimlerden biraz daha fazla ya da aynı derecede olmuştur. Örneğin, iki cismin kombine edilmesiyle oluşturulmuş cismin yüzey açınımını yapmayı gerektiren yedinci sorunun ortalama zorluğu (8.5), üç aşina cismin kombine edilmesiyle oluşan dokuzuncu cisimle aynıdır. Görüşmelerde katılımcıların cisimlerin yüzeyini nasıl açacakları ile ilgili zihinlerinde bir strateji geliştirememe, açınımlarına yüzleri nasıl konumlandıracaklarını bilmeme, yüz sayısının fazla olması ya da eğik yüzler nedeni ile cismin açınımı yapılamayacak kadar karmaşık gelmesi gibi nedenlerle kombine cisimlerin yüzey açınımını yapmayı gerektiren soruları çok zor buldukları belirlenmiştir. Görüşmelerde kombine cisimlerin yüzey açınımlarını yapmada niçin zorlandığını Tuğçe şu şekilde anlatmıştır:

T: Bu cisimleri çizerken zorlandım çünkü iki farklı cismi nasıl birleştireceğimi düşünemedim

T: Bu iki cisim, yapışık bir cisim ya, mesela şurdaki üst yüzey, üst yüzeyi nasıl açabilirim diye düşündüm, dedim, burası ile bura yapışıyor, burayla bura da yapışıyor, şimdi bunun üzerine yapıştırırsam ben, ıı yanlış yapmış olucaktım bunu da biliyordum, açmadan önce bilemem tabi, zihnimde canlandırdığımda onun oraya gelmemesi gerektiğini biliyordum…şurdaki üst kısım varya, …şu üst yüzeyinin ıı, şunun kenarına mı yapışacaktı, yoksa burdan mı, burdan mı, böyle yapıp kapatmada

A: Konumlandırmadan mı bahsediyorsun?

T: Aynen, nasıl konumlandıracağımı bilemedim.

Kombine üç cismin yüzey açınımı içeren onuncu soruyu niçin çok zor bulduğunu Pınar görüşmede şu şekilde açıklamıştır:

P: Bunu hiç düşünemedim, şekiller tam oturmuyor zaten, düzgün bir şey olmadığı için, açamadım, üçgen, kare, bunları hiç açamadım yani, kare, ıgıh, düşünemiyorum şu an bile düşünemiyorum…bunu nasıl açacağımı hiç düşünemiyorum.

İkinci kategori görevlerdeki hata oranları (A1: %44.1, A2: %50.65, A3: %71.55 ve A4: %93.05) birinci kategori görevlerdeki hata oranlarından (A1: %6.3, A2: %33, A3: %9.6 ve A4: %47.1) oldukça yüksektir. Yani cisimler zorlaştıkça, katılımcıların hata oranlarında artış görülmektedir. Bu durum soruların algılanan zorluğu ile benzerdir (1.K: 2.9, 2.K: 8.2). Buradan katılımcıların soru türlerindeki hata oranları ile soru türlerinin

algılanan zorluğu arasında anlamlı bir ilişkinin olduğu söylenebilir.

3.1.2.2. *Döndürme bölümü görevlerinin katılımcılar üzerinde yarattığı bilişsel yükün değerlendirilmesi*

Öğretmen adaylarının yazılı değerlendirme kağıtlarından döndürme görevlerinin her birindeki D1 ve D2 hata oranları (Bkz. Tablo 2.10) hesaplanmıştır. Yapılan görüşmelerle D1 ve D2 hataları ile sonuçlanan katılımcı davranışları belirgin hale getirilmiş ve bu davranışların sergilenme nedenleri ortaya çıkartılmıştır. Döndürme bölümü görevlerinin algılanan zorluğu ile ilgili anketler ile hangi görevlerin diğerlerinden daha zor (ya da kolay) bulunduğu tespit edildikten sonra, yapılan görüşmelerle katılımcıların neden bazı görevleri zor (ya da kolay) olarak nitelendirdikleri belirgin hale getirilmiştir.

3.1.2.2.1. *Döndürme bölümü katılımcı hata oranları*

Yazılı değerlendirmede döndürme bölümü birinci kategoriye ait altı, ikinci kategoriye ait dört soru sorulmuştur. Birinci kategori görevler tek eksende dönme, ikinci kategori görevler ise iki eksende dönme hareketleri ile ilişkilidir. İlk altı soru tek eksende döndürülmüş bir cismin hangi eksen, yön ve açı ölçüsüne göre döndürüldüğünü belirlemeyi, yedi ve sekizinci soru iki eksende döndürülmüş bir cismin hangi eksen, yön ve açı ölçüsünde döndürüldüğünü belirlemeyi ve son iki soru iki eksende döndürülmüş bir cisme göre başka bir cismi döndürmeyi içermektedir. Tablo 3.5'te Tuğçe, Melis, Pınar ve Özge'nin döndürme bölümündeki her bir soruda hangi hata profillerini ne sıklıkla tekrarladıklarına ilişkin veriler yer almaktadır.

Katılımcılardan ilk altı soruda bir dönme hareketini, yedi ve sekizinci soruda katılımcıların iki dönme hareketini analitik olarak ifade etmeleri, dokuzuncu ve onuncu soruda hem birinci cismin dönme hareketlerini analitik olarak ifade etmeleri hem de ikinci cisme ifade ettikleri dönme hareketlerini doğru bir şekilde uyguladıklarında elde edilecek görüntüyü tarif etmeleri istenmektedir. D1, dönme hareketlerinin her birinde ne kadar eksen belirleme hatası yapıldığını, D2 ise dönme hareketlerinin kaçında açı (dönme yönü ve açı ölçüsü) belirleme hatası yapıldığını ifade etmektedir. Örneğin, 9. soru, dört dönme hareketini içermektedir. Özge bu dönme hareketlerinin üçünde eksen, dördünde açı belirleme hatası yapmıştır. Tablo 3.5 her bir soruda yer alan her bir dönme hareketinde

katılımcıların her birinin ne kadar dönme eksen ve açı belirleme hatası yaptıklarını göstermektedir.

Tablo 3.5. *Katılımcıların Her Birinin Döndürme Bölümü Yazılı Değerlendirme Görevlerinin Her Birindeki D1 ve D2 Hata Sayı ve Oranları*

D. B. Ön Görüşme Görevlerinin Her Birindeki Katılımcı D1 ve D2 Hata Sayıları ve Oranları											
Öğretmen	**Hata**	**Tek Eksende Dönme**						**İki Eksende Dönme**			
Adayları	**Kodu**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
Tuğçe	D1	0	1	0	1	0	0	1	2	4	4
	D2	0	1	1	1	1	0	2	2	4	4
Melis	D1	0	1	0	1	1	1	1	1	2	4
	D2	0	1	0	1	1	1	1	1	2	4
Pınar	D1	1	1	0	1	1	1	2	1	3	4
	D2	1	1	0	1	1	1	2	2	3	4
Özge	D1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	4
	D2	1	1	1	1	1	1	2	2	4	4
Sorudaki	D1	0.5	1	0.25	1	0.75	0.75	0.625	0.625	0.75	1
Hata Ort	D2	0.5	1	0.5	1	1	0.75	0.875	0.875	0.8125	1
Kategori	D1			0.708					0.75		
Hata Ort	D2			0.792					0.891		

Not: 'Döndürme Bölümü' için 'D.B.' kısaltması kullanılmıştır ve hata oranı 0 ile 1 aralığında değişen bir değerdir.

Tablo 3.5'den görüldüğü gibi Tuğçe ve Melis iki, Pınar bir soruyu hatasız cevaplandırırken, Özge tüm sorularda hata yapmıştır. Yani Tuğçe ve Melis cevaplandırdıkları soruların %80'sinde (8/10), Pınar %90'ında (9/10) ve Özge %100'ünde (10/10) hata yapmıştır.

7-10. sorular birden fazla dönme hareketini içermektedirler. Her bir dönme hareketi ise bir eksen (D1) ve bir açı (D2) değişkenine sahiptir. Bu nedenle bir katılımcının bir soruyu tamamen hatalı yaptığını söyleyebilmek için sorudaki tüm dönme hareketlerinde D1 ve D2 hatalarının hepsini yapmış olması gerekmektedir. Buradan Tuğçe'nin soruların dördünü (2, 8, 9 ve 10. sorular), Melis beşini (2, 4, 5, 6 ve 10. sorular), Pınar (1, 2, 4, 5, 6, 7 ve 10. sorular) ve Özge'nin (1, 2, 3, 4, 5, 6 ve 10.sorular) yedisini tamamen hatalı bir şekilde cevaplandırdıkları söylenebilir. Yani Pınar ve Özge, Tuğçe ve Melis ile karşılaştırıldığında daha çok soruyu tamamen hatalı bir şekilde cevaplandırmıştır. Buradan döndürme sorularının Pınar ve Özge'de diğer iki katılımcıya göre daha fazla bilişsel yük yarattığı söylenebilir. Fakat katılımcıların hepsinin cevaplandırdıkları tüm sorular dikkate alındığında oldukça fazla hata yaptıkları söylenebilir.

Katılımcıların kategorilere göre hata profil oranlarını karşılaştırabilmek için Tablo 3.6 oluşturulmuştur. Katılımcıların kategorik görevlerde %70.75 ile %89.75 aralığında değişen oranlarda D1 ve D2 hatası yaptıkları gözlenmiştir. Katılımcıların hata oranlarının

çok yüksek olması, cisimlerin dönme hareketi ile ilgili kavramsal şemalarının eksikliği ile açıklanabilir. Katılımcılar ikinci kategoride yer alan iki eksende döndürülmüş bir cisme göre başka bir cismi döndürme görevlerinde hem birinci kategoride yer alan altı göreve göre hem de iki eksende döndürülmüş bir cismin hangi eksen, yön ve açılara göre döndürüldüğünü belirlemeyi gerektiren yedinci ve sekizinci görevlere göre daha çok D1 ve D2 hatası yaptıkları belirlenmiştir (Bkz. Tablo 3.5). Bu görev türündeki etkileşimli öge miktarı diğer görev türlerinden daha fazladır, bu nedenle bu tür görevlerde katılımcılar tarafından daha fazla hata yapılmıştır.

Birinci ve ikinci kategori görevlerde katılımcılar tarafından ortalama ne oranda D1 ve D2 hatası yapıldığını gözlemleyebilmek için Tablo 3.6 oluşturulmuştur.

Tablo 3.6. *Döndürme Bölümü Yazılı Değerlendirme Görevleri Katılımcı D1 ve D2 Hata Oranlarının Kategorilere Göre Dağılımı*

D. B. Kategorilere Göre Katılımcı D1 ve D2 Hata Oranları				
Katılımcılar/	**D1**		**D2**	
Kategoriler	**1. Kategori**	**2. Kategori**	**1. Kategori**	**2. Kategori**
Tuğçe	0.33	0.92	0.67	1
Melis	0.67	0.67	0.67	0.67
Pınar	0.83	0.83	0.83	0.92
Özge	1	0.75	1	1
Ort	0.7075	0.7925	0.7925	0.8975

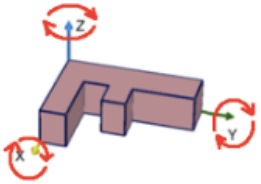
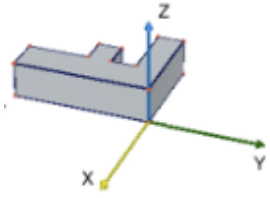
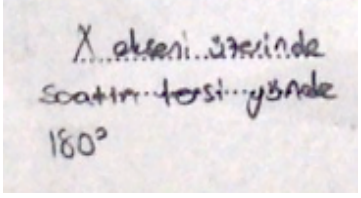
Katılımcıların D1 hata oranları: Tablo 3.5 ve Tablo 3.6'dan birinci kategori görevlerde Tuğçe'nin diğer katılımcılardan daha düşük oranda (%33), ikinci kategori görevlerde ise diğer katılımcılardan daha yüksek oranda D1 hatası yaptığı belirlenmiştir (%92). Buradan Tuğçe'nin birinci kategori görevlerin çoğunda eksenleri doğru bir şekilde belirleyebildiği söylenebilir. İkinci kategori görevlerde en az oranda D1 hatasına sahip olan katılımcı Melis olmuştur (%67). Melis iki eksende döndürülmüş bir cisme göre başka bir cismi döndürme görevinde, ilk cismin dönme hareketlerinden birini doğru bir şekilde belirlemiş ve ikinci cisme bu hareketi doğru bir şekilde uygulayabilmiştir. Fakat onun birinci cisme uygulanan ikinci dönme hareketini belirleyemediği gözlenmiştir. Kategorilere göre hata oranları incelendiğinde iki dönme hareketini içeren ikinci kategorideki görevlerde en az, dört dönme hareketini içeren ikinci kategori görevlerde ise en fazla D1 hatasının yapıldığı belirlenmiştir (Bkz. Tablo 3.5). İki eksene göre döndürülmüş bir cismin hangi eksende döndürüldüğünü belirlemede hata oranının azalması katılımcıların birinci kategorideki görevlerin gereklerini yerine getirerek, bu tür görevlerde uzmanlaşmaları ile açıklanamaz. Bu durum ikinci kategoride yer alan iki

dönme hareketini içeren görevlerin özelliklerinden kaynaklanmaktadır. Katılımcılar cismin hangi eksenler etrafında döndürüldüğü ile ilgili iki seçim hakkına sahiptirler ve cisimler ancak üç dönme ekseni etrafında döndürülebilmektedir, bu nedenle onlar tarafından yapılan iki rastlantısal eksen seçiminden biri muhakkak doğru seçim olacaktır. Bu durum onların dönme ekseni ile ilgili kavram şemalarına sahip oldukları ile açıklanamaz.

Görüşmelerden katılımcıların dönme eksenlerini belirleme hata nedenlerinin: (1) Cismi ittirme, asılma ya da belirli bir yüzü üzerine yatırma yoluyla hareket ettirmeleri, başka bir deyişle zihinlerinde cismin dönme hareketini dönme eksen ya da eksenlerinden bağımsız olarak gerçekleştirme, (2) dönme ekseninin ne olduğu ile ilgili bir kavram imajına sahip olmama, (3) önceden iki boyutlu koordinat sisteminde çalıştığı için, dönme hareketi ile ilgili kavram şemasını üçüncü boyuta genişletememe, (4) Cismi aşağıdan yukarıya doğru döndürmeyi z, soldan sağa doğru döndürmeyi y, arkadan öne doğru döndürmeyi x ekseninde döndürme şeklinde düşünme (5) dönme eksenlerini cismi tutmaya yarayan bir araç olarak düşünüp, o eksenlerden tutarak cismi öne arkaya, sağa sola çevirmeye çalışmaları, (6) cisim ve onun dönme hareket ya da hareketleri sonucu oluşan görüntüsü verildiğinde, eksenleri belirlemeye çalışmak yerine görüntüyü üreten eylem ya da eylemleri belirlemeye çalışma davranışları ile bağlantılı olduğu anlaşılmıştır. Eksen hatasına neden olan katılımcı davranışları görüşmelerden alınan kesitler ile aşağıda örneklendirilmiştir.

Şekil 3.6'da bir cisim ve onun z ekseni etrafında saat yönünde 180 derece döndürülmesiyle elde edilmiş görüntüsü yer almaktadır. Melis'in aşağıda yer alan söylemlerinden, cismin hangi eksende döndürüldüğünü belirleyemediği anlaşılmaktadır:

M: x ekseni üzerinde dönücek ama arkaya doğru dönücek, 180 derece dönüp, yok … y ekseni üzerinde oluyor, y ekseni üzerinde saatin tersi yönde, 180 derece dönmeli

Cisim	Görüntüsü	Doğru ifade	Katılımcı ifadesi
		z ekseni etrafında, saat yönü ya da tersi yönde 180 derece	

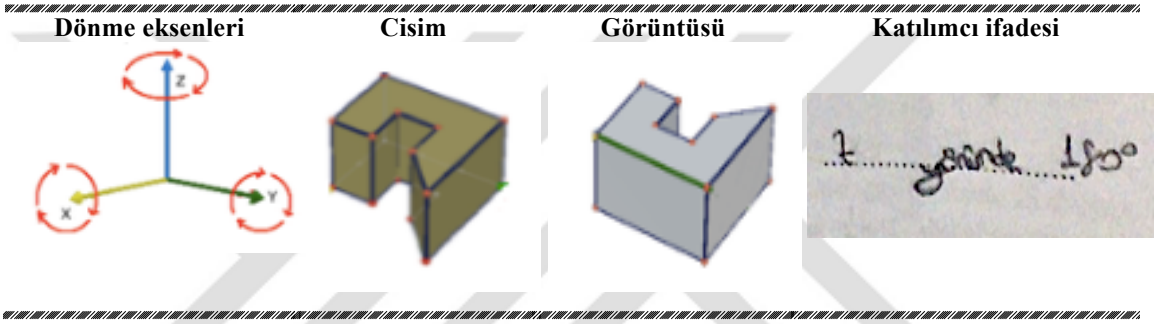
Şekil 3.6. *Ön Yazılı Değerlendirmelerde Melis'in D1 Hatası*

Şekil 3.7'de bir cisim ve onun y ekseni etrafında saat yönünde 180 derece döndürülerek elde edilmiş görüntüsü yer almaktadır. Melis dönme hareketini ve cismin hangi eksende döndürüldüğünü zihninde canlandıramazken, Özge cismi soruda verilen eksenlerden tutarak hareket ettirmeye çalışmaktadır. Aşağıda sırayla Melis ve Özge'nin söylemlerinden örnekler yer almaktadır:

M: (Boş bırakılan soru) Bu şekil z ekseni üzerinde dönücek bu, ımm yok ya, nasıl dönücek bu şekil, bilmiyorum, geçelim mi?

A: (Melis'in boş bıraktığı soru) z ekseni olduğunu nasıl anladın?

Ö: Yani hep bir yerden tutuyor yukarı kaldırıyoruz ya, o yüzden ben böyle yaptım, z'yi yukarı kaldırma, x'i sağa çevirme, y'yi sola çevirme gibi düşünüyorum…onları öyle hayal ediyorum.



Şekil 3.7. *Ön Yazılı Değerlendirmelerde Özge'nin D1 Hatası*

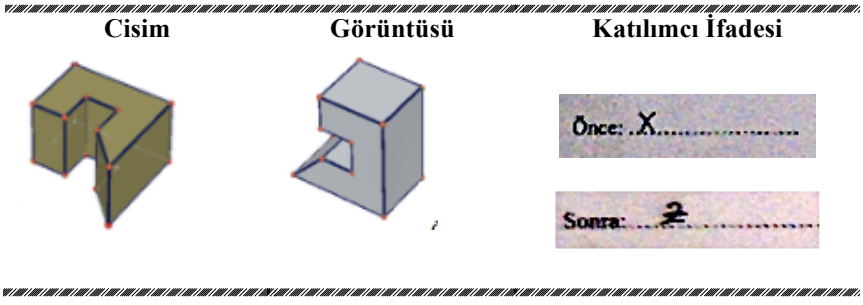
Katılımcıların D2 hata oranları: Dört katılımcının tüm kategori ve alt kategorilerdeki dönme açısı belirleme hata oranları incelendiğinde, Melis'in hata oranlarının diğer katılımcılardan daha az olduğu görülmektedir (Bkz. Tablo 3.5 ve 3.6). Bunun nedeni Melis'in dönme eksenini doğru olarak ifade ettiği sorularda dönme açısını da doğru bir şekilde belirleyebilmesidir. Oysa diğer üç katılımcı için durum biraz daha farklıdır, çünkü Tuğçe, Pınar ve Özge sorulardaki dönme eksenlerini doğru bir şekilde söyleseler bile dönme açsını çoğunlukla yanlış bir şekilde ifade etmişlerdir. Katılımcıların dönme açısını belirleyememelerinin nedeni dönme yönü ve dönme açı ölçüsü ile bağlantılıdır. Katılımcılar birinci kategorideki görevlerde ortalama yaklaşık %79.25, ikinci kategori görevlerde ise ortalama yaklaşık %89.75 oranında dönme açısı belirleme hatası yapmışlardır. Katılımcıların çok yüksek oranda dönme açısı hata yapması, kavramsal şemalarındaki eksikliklerle açıklanabilir.

Katılımcıların dönme açısını dönme yönüne bağlı olarak belirleyememe nedenleri görüşmeler yardımı ile belirlenmiştir. Hatalara neden olan katılımcı davranışları şu şekilde maddelenebilir: (1) Dönme yönü ile ilgili mevcut bilgilerinin sorulardaki dönme

yönlerini doğru bir şekilde belirlenmesi ve ifade edilebilmesi için yeterli olmaması (2) dönme yönünü soruda yer alan bağlam yerine kendi bağlamlarına göre ifade etmeye çalışma (örneğin, bir cismi içeri ya da dışarı, yukarı ya da aşağı yönde çevirdiklerini söylemeleri) (3) sorularda verilen eksenleri dönme yönünü ifade etme için kullanma (örneğin, cismi z yönünde döndürdüklerini belirtmeleri) (4) dönme eksenlerini belirleyemedikleri için dönme eksenlerine göre belirlemeleri gereken yönleri de belirleyememe (5) dönme eksenlerine göre perspektif alamadıkları için dönme eksenlerini doğru bir şekilde ifade etseler bilme dönme yönlerini doğru bir şekilde belirleyip ifade edememe ve (6) saatin kollarının dönme hareketi ile z ekseni etrafındaki dönme hareketi arasında analojik ilişki kurarak, bu eksen etrafında dönme hareketini belirlemesine rağmen, diğer iki eksenlerdeki dönme yönlerini karıştırma. Dönme yönüne bağlı olarak dönme açısını belirleyememe katılımcı davranışı görüşmelerden alınan bir kesitle aşağıda örneklendirilmiştir.

Şekil 3.8'de bir cisim ve onun sırayla x-sy-90 ve z-sy-90 derece döndürülmesiyle elde edilen görüntüsü yer almaktadır. Pınar cismin hangi eksenlerde döndürüldüğünü doğru bir şekilde belirtmiş fakat söylemlerinde dönme yönüne hiç yer vermemiştir. Katılımcının dönme yönü ile ilgili mevcut şemalarının sorudaki dönme hareketlerinde yer alan dönme yönlerini doğru ifade etmede yetersizdir. Bu durumla ilgili olarak Pınar'ın söylemleri şu şekildedir:

P: x ekseninde döndürünce, sağ taraf ön yüzüm oldu, sonra şu görüntüm yan oldu, üstte kaldı, sonra şu görüntüyü elde etmek için bunu z ekseninde döndürdüm… z ekseninde döndürünce bu üst yüz ön yüzüm oldu, yani bu şekli elde etmiş oldum.



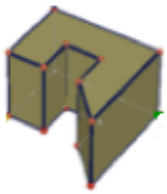
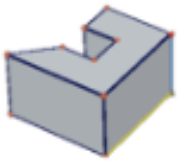
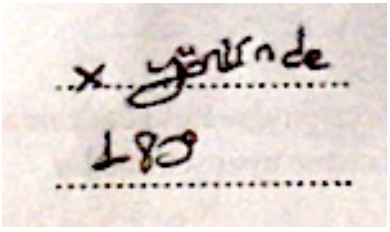
Şekil 3.8. *Ön Yazılı Değerlendirmelerde Pınar'ın D2 Hatası (Dönme Yönüne Bağlı)*

Katılımcıların cismin dönme açı ölçüsüne bağlı olarak yaptıkları dönme açısı hata nedenleri görüşmelerle belirgin hale getirilmiştir. Hatalara neden olan katılımcı davranışları şu şekilde maddelenebilir: (1) Döndürülmüş bir cismin başlangıç ve bitiş

konumlarından, cismin kaç derecelik bir açı ölçüsünde döndürüldüğünü belirleyememe (örneğin, 180 derece döndürülmüş bir cismin 90 derece döndürüldüğünü söyleme), (2) eksen belirtmeksizin, dönme açı ölçüsünü ezberden söyleme, örneğin, cismi yatay konumundan dikey konuma getirmeyi 90, tepe taklak getirmeyi 180 derece dönme olarak ifade etme, (3) dönme eksenini yanlış belirleyip, dönme açısı ölçüsünü söyleme (örneğin, x ekseni etrafında saat yönünde 90 derece dönme hareketinin z ekseninde saat yönünde 90 derece döndürüldüğü söyleme) ve (4) dönme eksenini doğru belirlenmesine rağmen, dönme yönünü yanlış ifade ederek açı ölçüsünü söyleme (örneğin, x ekseni etrafında saat yönünde 90 derece dönme hareketinin, x ekseni etrafında saat yönü tersinde 90 derece döndürüldüğünü söyleme). Hatalara neden olan katılımcı davranışları görüşme kesitleri ile aşağıda örneklendirilmiştir.

Şekil 3.9'da bir cisim ve onun z-sy-90 derece döndürülmesi ile elde edilmiş görüntüsü vardır. Özge dönme eksenini aynı zamanda dönme yönünü nitelendirmek için kullanmıştır. Fakat katılımcı dönme hareketinin eksen, yön ve açı bileşenlerinden hiçbirini doğru olarak ifade edememiştir. Bu durumla ilgili olarak Özge'nin söylemleri şu şekildedir:

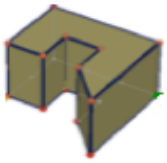
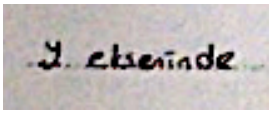
Ö: Bunu direk x yönünde, şurası arkaya gelicek (cismin ön kısmı ile döndürülmüş şeklin görünmeyen sol kısmına işaret ediyor) 180.

Cisim	Görüntüsü	Katılımcı ifadesi
		

Şekil 3.9. *Ön Yazılı Değerlendirmelerde Özge'nin D2 Hatası (Açı Ölçüne Bağlı)*

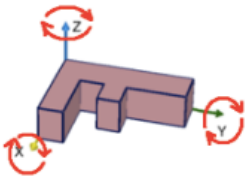
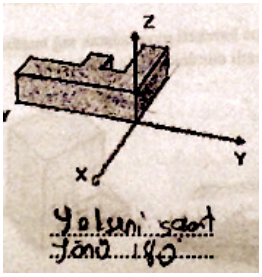
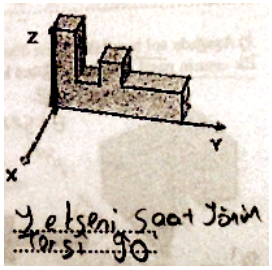
Şekil 3.10'da bir cisim ve onun x ekseni etrafında saat yönünde 90 derece döndürülmesiyle elde edilen görüntüsü yer almaktadır. Pınar cismin dikey konuma getirilmesi ile dönme açısı arasında bağlantı kurarak dönme açısını belirtmiş fakat ne cismin hangi eksen etrafında ne de hangi yönde döndürüldüğünü doğru bir şekilde ifade edebilmiştir. Şekil 3.10'daki cismin dönme hareketi ile ilgili Pınar'ın söylemleri şu şekildedir:

P: Bunu y ekseninde döndürmüşüm, şu taraftan, yani dik olucak şekilde gelmiş y eksenine, yani sağ tarafı alt taban olucak şekilde tabana denk gelmiş.

Cisim	Görüntüsü	Katılımcı İfadesi
		

Şekil 3.10. *Ön Yazılı Değerlendirmelerde Pınar'ın D2 Hatası (Dönme Eksenine Bağlı)*

Her ne kadar birinci kategori görevlerin çoğunda Tuğçe dönme eksenlerini doğru bir şekilde belirlemiş olsa da, o da dönme eksen ve açısını analitik olarak ifade etmede hatalar yapmıştır. Şekil 3.11'de bir cisim ve ona uygulanan iki farklı dönme hareketi sonrası elde edilmiş görüntüleri yer almaktadır. Eğer cisim 'z ekseni etrafında saat yönü ya da tersi yönde döndürülürse birinci görüntü, eğer cisim 'y ekseni etrafında saat yönü etrafında 90 derece' döndürülürse de ikinci görüntü oluşmaktadır.

Cisim	Birinci Görüntü ve Katılımcı İfadesi	İkinci Görüntü ve Katılımcı İfadesi
		

Şekil 3.11. *Ön Yazılı Değerlendirmelerde Tuğçe'nin D2 Hataları (Dönme Eksen ve Yönüne Bağlı)*

Tuğçe Şekil 3.11'deki birinci görüntünün cismin y ekseni etrafında döndürülmesi ile elde edildiğini ifade ederek bu soruda birer kez D1 ve D2 hatası yaparken, ikinci görüntüde cismin 'saat yönü tersinde 90 derece' döndürüldüğünü ifade ederek dönme açısını belirleme hatası yaptığı söylenebilir. Şekil 3.11'deki birinci ve ikinci görüntüyü nasıl elde ettiğini Tuğçe şu şekilde tarif etmektedir:

(Birinci görüntü)

T: Bu şekli de şey y eksenini baz alarak yaptım, y eksenini saat yönünde çevirdim saat yönünde 180 derece çevirdiğimi, 90 derece çevirdiğimde şurası yükseklik oluyor (yatık F harfinin üst kısmını oluşturan yer), ondan sonra bir 90 daha çevirdiğimde yine şurdaki büyük dikdörtgenin arka kısma geldiğini gördüm daha sonra da şunun uzunluğunun arkaya kaydığını görmüş oldum (F harfinin üst kısmını oluşturan kısmının uç tarafı), bu şekilde

(İkinci görüntü)

T: Bu şekli de ben bu şekli de y ekseninde saat yönünün tersinde yani şu şekilde (arkadan öne doğru ok çiziyor) 90 derece döndürdüm, 90 derece döndürdüğümde şuranın dik olduğunu gördüm (F harfinin üst kısmı) yani yani şurdaki kenar yani şuranın dik hale geldiğini gördüm

İlk klinik görüşmelerden katılımcıların bir cisme uygulanan dönme hareketlerinin hangi eksen, yön ve açı ölçüsüne göre döndürüldüğünü bilmedikleri ve dönme hareketlerini analitik olarak ifade edemediklerini söylenebilir. Katılımcıların dönme eksen, yön ve açı ölçüsü ile ilgili şemaları, kendilerine sunulan soruları doğru bir şekilde cevaplayabilmeleri için yeterli değildir. Katılımcılar kendilerine sunulan bazı soruları doğru bir şekilde cevaplandırsalar da bu cevaplarda ya eksen, yön ve açı ölçülerini rastlantısal olarak doğru bir şekilde ifade ettikleri ya da doğru cevapların ardında sorularda verilen görsel ipuçlarının yattığı gözlenmiştir.

3.1.2.2.2. *Döndürme bölümü görevlerinin algılanan zorluğu*

Katılımcıların döndürme bölümündeki soruların her birini ne derece zor buldukları ile ilgili veriler ve kategorilere göre soruların algılanan ortalama zorluğu Tablo 3.7'de yer almaktadır.

Tablo 3.7. *Döndürme Bölümü Yazılı Değerlendirme Görevlerinin Algılanan Zorluğu ile İlgili Katılımcı Derecelendirme Puanları ve Kategorilere Göre Dağılımı*

D.B. Ön Görüşme Sorularının Algılanan Zorluğu ile İlgili Katılımcı Derecelendirme Puanları												
S.Z.	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**1.K**	**2.K**
T	2	2	2	3	3	3	9	9	9	9	2.5	9
M	4	4	4	5	5	5	6	8	8	9	4.5	7.75
P	3	3	3	4	4	4	7	8	9	9	3.5	8.25
Ö	4	4	4	4	4	4	6	9	9	9	4	8.25
Ort	3.25	3.25	3.25	4	4	4	7	8.5	8.75	9	3.62	8.31

Soruların katılımcılar tarafından algılanan ortalama zorluğu birbirine yakındır. Tuğçe birinci kategori görevleri diğer katılımcılara göre daha kolay (ortalama 2.5 puan), Melis ise daha zor bulmuştur (ortalama 4.5 puan). İki dönme hareketini içeren ikinci kategori görevlerin Tuğçe tarafından algılanan zorluğu (9 puan) diğer katılımcılardan

daha fazla, diğer katılımcıların bu tür görevlerle ilgili ortalama derecelendirme puanları ise birbirine yakındır. Katılımcılar tarafından en zor bulunan görevler ise dört dönme hareketi içeren sorulardır. Katılımcıların hata oranları ve soruları derecelendirme puanları arasında anlamlı bir ilişki olduğu düşünülmemektedir. Çünkü Pınar ve Özge'nin tamamen hatalı cevaplandırdığı soru sayısı Tuğçe ve Melis'ten fazla olmasına rağmen, soruların algılanan zorluğu ile ilgili derecelendirme puanları ya onların derecelendirme puanlarına yakın ya da biraz daha düşük olmuştur.

Anketlerden birinci kategori soruların algılanan ortalama zorluğu ortalama 3.62 puan, ikinci kategorideki soruların katılımcılar tarafından algılanan ortalama zorluğu ortalama yaklaşık 8.31 puan olduğu belirlenmiştir. Buradan görevlerin karmaşıklık düzeyi arttıkça, katılımcılar tarafından algılanan zorluğunun da arttığı söylenebilir. Sadece bir dönme hareketini içeren sorularda katılımcılar verilen cisme hangi eylem uygulanırsa, görüntünün elde edileceğini sezmektedirler, fakat cismin hangi eksen, yön ve açıya göre döndürüldüğünü zihinlerinde canlandıramamakta ve doğru bir şekilde ifade edememektedirler. Onlara göre cisim kaldırılarak, ittirilerek, sağ yüzü öne gelecek şekilde çevrilerek ve benzer hareketler ile soruda sunulan görüntü elde edilebilmektedir.

Katılımcılar birinci kategori görevlerde dönme hareketini analitik bir yol içerisinde olmasa da belirleyebildikleri için, bu görevlerde ikinci kategorideki görevler kadar zorlanmamışlardır. Bu görev türlerindeki zorluk katılımcıların dönme eksen ve eksene bağlı dönme açılarını bilmemelerinden kaynaklanmaktadır. Görüşmelerde Özge bu durumu şu şekilde açıklamıştır:

Ö: Burda ben çok iyi anlamamışım x, y, z düzleminin ne demek olduğunu bilmiyordum ben, önceden öğrenmemiştik, üniversitede biz x, y, z düzlemini gördük, x, y, z düzlemi üzerinden 180 derece, işte 270 derece gibi terimler kullandım, döndürmeyi bilmiyordum ama hayal edebiliyordum.

Bu durumla ilgili olarak Melis de benzer açıklamalar yapmıştır. Cismi dönme eksenlerine göre döndüremeyen ya da döndürülmüş cismin hangi eksen ya da hangi eksenler etrafında döndürüldüğünü belirleyemeyen Melis, algılanan zorluğun neden kaynaklandığını şu şekilde ifade etmektedir:

M: Bu soruda da yine dikdörtgen, yine hangi kenarı ya da hangi yüzü etrafında döndüğünü belirtebiliyordum, eksenleri belirtemiyordum.

Katılımcılar iki eksende döndürülmüş bir cismin hangi eksen, yön ve açılarda döndürüldüğünü belirlemede daha çok zorlanmaktadırlar. Cisme birinci dönme hareketini uyguladıklarında elde edilecek görüntüyü zihinlerinde tuttuktan sonra, verilen görüntüyü elde etmeye yönelik ikinci dönme hareketini bulmaları gerekmektedir. Bu ise

cisim ve dönme hareketi sonucu oluşan görüntülerin belirgin özelliklerini (örneğin, cismin uzun, kısa ya da kesikli uçları) hafızada tutmayı gerektirmektedir. Görüşmelerde Tuğçe bu tür dönme sorularında neden zorlandığını şu şekilde açıklamaktadır:

T: Ard arda iki döndürmede zorlandım mesela, verilen bir şeklin ilk önceki şekli ıı döndürülmüş hali iki aşamada gerçekleşiyordu…işte bu iki aşamayı bulurken biraz zorlanıyordum, çünkü neden zorlandım, çünkü şekli düşünüyorum bi, şeklin kendisi bozulmadan onu hayal ederken zorlanmıştım, döndürürken, oraya döndürdüm o uç oraya bakarken cismin diğer köşelerinin nereye bakacağını unutuyordum, karıştırıyordum

Katılımcılar ikinci kategorideki görevleri, dördüncü kategorideki görevlerden daha kolay bulmuşlardır. Çünkü ikinci kategorideki görevler iki dönme hareketi ile ilgili muhakeme yapmayı gerektirirken, dördüncü kategorideki görevler dört dönme hareketi ile ilgili muhakemede bulunmayı gerektirmektedirler. Katılımcılar dördüncü kategorideki görevlerde ilk cismin dönme hareketlerini zihinlerinde canlandırıp, doğru bir şekilde ifade etseler de başka bir cisme bu dönme hareketlerinden ilkini uyguladıktan sonra elde edilecek görüntüyü hafızalarında tutmada zorlanmakta, böylece bu görüntü üzerine ikinci dönme hareketini uygulayamamaktadırlar. Görüşmelerde Özge bu durumu şu şekilde açıklamıştır:

Ö: İki döndürme ve bir döndürme oluyor ya, tek döndürmeleri rahatça görebiliyordum, iki döndürmeler biraz karışıyordu bende tam oturmuyordu, tamam zihnimde hayal edebiliyordum hani, tek döndürüyorum, ama ikincisini yaparken, ikinci döndürmeyi yaparken, birinci döndürmenin yapılmış halini unutuyordum, hayal edemiyordum, unutuyordum, sürekli karıştırıyordum, tekrar tekrar düşünüyordum.

Görüşmelerde dönme eylemi uygulanan ya da uygulanacak cisimlerin katılımcılar tarafından algılanan karmaşıklığının dönme sorularının algılanan zorluğunda etkili olduğu anlaşılmıştır. Katılımcılar eğik yüzlere sahip ya da fazla girintili çıkıntılı olan cisimlerin bulunduğu dönme diğerlerinden daha zor bulduklarını ifade etmektedir. Melis'in söylemleri bu duruma örnek gösterilebilir:

M: Mesela bu kesikli kısmın ilkinde nerde olacağını canlandırabiliyordum ama tekrar dönder, canlandırdığım cismi tekrar döndermede çok zorlanıyordum, ımm böyle kesikli cisimler olduğunda kesik kısım ne tarafta olucak sağ tarafta mı sol tarafta mı yukarda mı aşağıda mı onda zorlanıyordum, yine aynı şekilde uzunlukları farklı şekillerde cisimler olduğunda uzun kısım ne tarafta olucak, kısa ne tarafta olucak bunu belirlerken sorun yaşıyordum.

3.1.2.3. *Yönelim bölümü görevlerinin katılımcılar üzerinde yarattığı bilişsel yükün değerlendirilmesi*

Yazılı değerlendirme kağıtlarından katılımcıların her birinin birinci yönelim bölümündeki görevlerin her birinde yüzde kaç oranında Y1, Y2, Y3 ve Y4 hatası (Bkz. Tablo 2.10) yaptıkları hesaplanmıştır. İkinci yönelim bölümü için ise öğretmen adaylarının her bir soruda Y5, Y6 ve Y7 hata profillerini sergileme durumları ele alınmıştır. Yazılı değerlendirme görevleri ile ilgili olarak yapılan görüşmelerle öğretmen adaylarının hata nedenleri belirgin hale getirilmiştir. Görevlerin algılanan zorluğu ile ilgili anketlerle öğretmen adaylarının hangi görevleri diğerlerinden daha zor (ya da kolay) bulduğu belirlenmiş, ardından yapılan görüşmelerle de algılanan zorluğun hangi neden ya da nedenlerden kaynaklandığı ortaya çıkartılmıştır.

3.1.2.3.1. *Yönelim bölümü katılımcı hata oranları*

Yönelim bölümü iki alt bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümdeki yazılı değerlendirme sorularında katılımcılardan karmaşıklık derecesi farklı altı yapının ön, arka, sağ, sol, üst ve alt görünüşlerini inşa etmeleri istenmiştir. Katılımcılar çizimlerini tamamladıktan sonra, 36 görünüş çiziminin her birinde, Y1, Y2, Y3 ve Y4 hatası yapıp yapmadıkları belirlenmiştir. Buradan elde edilen veriler beş bağlamda ele alınmıştır: (1) Katılımcıların hata profillerini sergileme oranlarına göre birbiri ile karşılaştırılması (2) Katılımcıların her birinin soru türlerine göre hata profillerini sergileme oranları, (3) Hata profillerinin tüm görevlerde ortalama olarak sergilenme oranları, (4) Soru türlerine göre hata profillerinin sergilenme oranları ve (5) Bakış yönlerine göre hata profillerinin sergilenme oranları

Katılımcıların hata profillerini sergileme oranlarına göre birbiri ile karşılaştırılması: Katılımcıların her birinin bir görünüş çizimindeki Y1, Y2, Y3 ve Y4 hatası yapıp yapmadıkları belirlendikten sonra, bir sorudaki altı görünüş görevi göz önünde bulundurularak, soruların her birinde yüzde kaç oranında bu hata profilini sergiledikleri hesaplanmıştır (Bkz. Tablo 3.8).

Tablo 3.8 incelendiğinde tüm katılımcıların bir yapının farklı yönden görünüşünü çizme görevlerinin her birinde Y1, Y2, Y3 ve Y4 hata profillerinin bazılarını ya da hepsini sergiledikleri belirlenmiştir. Tuğçe ilk iki soruda bu hata profillerinden üçünü, üçüncü ve dördüncü soruda ise ikisini hiç sergilememiştir. Özge ise sadece dördüncü soruda bu hata profillerinin ikisini hiç yapmamıştır. Melis ve Pınar tüm sorularda bu hata profillerinin

hepsini de sergilemişlerdir. Fakat bu durum görevlerin hangi katılımcıların çalışan belleğinde daha fazla yük yarattığı ile ilgili doğru ve tutarlı bir bilgi sağlamamaktadır. Bu nedenle Tablo 3.8'den yararlanılarak yazılı değerlendirmedeki yapıların farklı yönlerden görünüş çizimlerinde her bir katılımcının yüzde kaç oranında Y1, Y2, Y3 ve Y4 hatası yaptığına ilişkin verilerin karşılaştırılmasına gereksinim duyulmuştur.

Tablo 3.8. *Birinci Yönelim Bölümü Yazılı Değerlendirme Görevleri Katılımcı Y1, Y2, Y3 ve Y4 Hata Oranlarının Soru Türlerine Göre Dağılımı*

B.Y.B. Ön Görüşme Sorularının Her Birindeki Katılımcı Y1, Y2, Y3 ve Y4 Hata Yüzdeleri (%)								
K	**H.K.**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**Ort**
T	**Y1**	0	0	0	0	33.3	16.7	8,33
	Y2	0	0	33.3	100	100	83.3	52,76
	Y3	0	0	0	0	100	66.7	27,78
	Y4	50	50	50	33.3	33.3	16.7	38,88
M	**Y1**	33.3	50	16.7	50	100	83.3	55,55
	Y2	33.3	50	83.3	100	100	100	77,76
	Y3	33.3	50	33.3	50	100	100	61,1
	Y4	50	50	33.3	83.3	83.3	83.3	63,86
P	**Y1**	16.7	66.7	16.7	16.7	50	33.3	33,35
	Y2	16.7	66.7	50	100	100	100	72,23
	Y3	16.7	66.7	33.3	33.3	100	50	50
	Y4	100	83.3	100	83.3	100	100	94,43
Ö	**Y1**	50	100	16.7	0	100	66.7	55,56
	Y2	100	100	100	100	100	100	100
	Y3	66.7	100	50	0	100	83.3	66,67
	Y4	83.3	100	100	100	100	100	97,22
O	**Y1**	25	54,18	12,53	16,68	70,83	50	38,2
r	**Y2**	37,5	54,18	66,65	100	100	95,83	75,69
t	**Y3**	29,18	54,18	29,15	20,83	100	75	51,39
	Y4	70,83	70,83	70,83	74,98	79,15	75	73,6

Not: 'Birinci Yönelim Bölümü' için ' B.Y.B.' kısaltması kullanılmıştır.

Tablo 3.8 her bir katılımcının yazılı değerlendirme sorularının her birinde yüzde kaç oranında Y1, Y2, Y3 ve Y4 hatası yaptıkları ve farklı yönlerden görünüş çizimleri gerçekleştirilen altı yapının hepsi göz önünde bulundurulduğunda bu hata profillerini ne sıklıkla tekrarladıkları (Ort. Hata) hakkında bilgi sağlamaktadır. Yazılı değerlendirme sorularında dört hata profilinin hepsini de en az oranda sergileyen katılımcının Tuğçe (Y1: %8.33, Y2: %52.76, Y3: 27.78 ve Y4: %38.88), en fazla sergileyen katılımcının ise Özge olduğu belirlenmiştir (Y1: %55.56, Y2: %100, Y3: 66.67 ve Y4: %97.22). Melis Y1 (%55.55) hata profilini Pınar'dan (Y1: %33.35) daha fazla oranda sergilerken, Pınar ise Y4 (%94.43) hata profilini Melis'ten (Y4: 63.86) daha fazla oranda sergilemiştir. Diğer iki hata profilinin Pınar ve Melis tarafından sergilenme oranları birbirine yakındır. Katılımcıların hepsinin tüm sorularda hata yapması, bir yapıya belirli bir yönden bakma

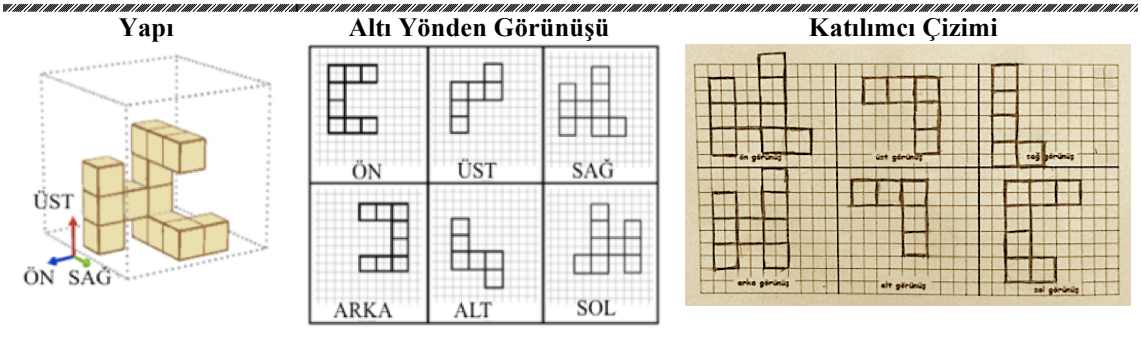
görevlerindeki şema eksiklikleriyle açıklanabilir. Katılımcıların hata oranları birbiriyle karşılaştırıldığında, soruların en az bilişsel yükü Tuğçe'nin çalışan belleği, en fazla yükü ise Özge'nin çalışan belleği üzerine empoze ettiği söylenebilir.

Katılımcıların her birinin soru türlerine göre hata profillerini sergileme oranları: Soru türlerine göre hata oranları incelendiğinde beşinci (Y1: %70.83, Y2: 100, Y3: 100 ve Y4: %79.15) ve altıncı soruda (Y1: %50, Y2: %95.83, Y3: %75 ve Y4: %75) tüm hata profillerinin diğer sorulara göre daha fazla sergilendiği gözlenmiştir. Buradan eğik ve eğrisel yüzlere sahip karmaşık yapıların belirli yönden görünüşlerini çizme ile ilgili soruların bilişsel yüklerinin, katılımcıların çalışan bellek kapasitesini aştığını söyleyebiliriz. Çünkü bu yapıların katılımcılar tarafından algılanan öge ve etkileşimli öge miktarı oldukça fazladır. Katılımcıların bilişsel yüklerinde artışa neden olan bir diğer soru da birim küplü bütünleşik olmayan yapıların çeşitli yönlerden görünümünü çizmeyi gerektiren ikinci sorudur. Bu soruda yer alan yapı birim küplerden oluştuğu için Y2 hatasının sergilenme oranı birinci sorudan fazladır. Fakat bu soruda Y1, Y3 ve Y4 hataları, birinci, üçüncü ve dördüncü soruda yapılandan daha yüksek oranlarda sergilenmiştir. Dört hata profilinin her birinin sergilenme oranının %50'nin üzerinde olduğu yapının altı farklı yönden görüntüsü de girintili çıkılı bir yapıya sahiptir. Bu soruya ait görevlerin her birinin doğru bir şekilde yerine getirilebilmesi için yapıdaki her bir küpün konumu ve hizaları hakkında muhakemede bulunmaya gereksinim vardır. Küplerin dağınık yapısı, görevlerin katılımcılar tarafından algılanan bilişsel yükünü artırmış ve onların ortalama hata oranında artışa neden olmuştur. Birinci, üçüncü ve dördüncü soruda Y1, Y3 ve Y4 hatalarının her birinin sergilenme oranı birbirine yakın olmasına rağmen, üçüncü soruda yer alan yapının eğik yüze sahip olması ve dördüncü sorudaki yapının eğrisel yüzleri bu sorularda yapılan Y2 hatasını artırmıştır. Birim küplü bütünleşik yapıların farklı yönlerden görünüşünü çizme görevleri ortaokul konuları arasındadır, bu nedenle katılımcıların bu görevlerle ilgili ön bilgi ve deneyime sahip oldukları düşünülmektedir. Bu verilerden yola çıkarak birinci soruda yer alan birim küplü bütünleşik yapının katılımcılar tarafından algılanan yükünün diğer sorulardan daha az olduğu söylenebilir.

Hata profillerinin tüm görevlerde ortalama olarak sergilenme oranları: Yazılı değerlendirme sorularında katılımcıların yapının belirli bir yönden görünecek kısımlarını çizimlerine yansıtma hatasını (Y1) diğer hata profillerinden daha az tekrarladıkları tespit edilmiştir (Y1: %38.2).

Katılımcıların Y1 hatası yapmalarına neden olan davranışlar görüşmeler yardımı ile beş maddede ele alınabilir: (1) Yapının belirli bir yönlerden görünüşlerinin üç boyutlu olacağını düşünme bu nedenle yapının belirli yönlerden görünüş çizimlerini eksik çizme ya da hiç çizmeme, (2) yapının bakış yönüne göre ön kısmında olan parçalarının görüneceğini, geride kalan kısımlarının görünmeyeceğini düşünme bu nedenle bakış yönüne göre geride olan yüzeyleri görünüş çizimine yansıtmama, (3) bakış yönünden girintili çıkıntılı gözüken bir yapının görünüşünü nasıl çizeceğini bilmediği için görünüşün bir kısmını çizme ya da hiç çizim yapmama, (4) yapının eğik ya da eğrisel yüzeylerinin nasıl görüneceğini bilmediği için bu yüzeyleri görünüş çizimine yansıtmama ya da bu şekilde yüzeylerin bir kısmını çizimine yansıtma ve (5) yapıya görevde istenilen şekilde yönelemeyeceğini düşünerek görünüş çizimi yapmama. Y1 hatasına neden olan katılımcı davranışı aşağıda yer alan görüşme kesiti ile birlikte örneklendirilmiştir.

Şekil 3.12'de birim küplerden oluşan bütünleşik olmayan bir yapı yer almaktadır. Ön görüşmelerde Pınar'ın yapının altı farklı görünüş çiziminden beşinde, yapının görünecek kısımlarını eksik olarak çizdiği gözlenmiştir. Pınar'ın bakılan yönden yapının görünen kısımlarını eksik çizmesi, bakış yönlerine göre yapının yakın kısımlarının görüneceğini, fakat uzakta kalan kısımlarının görünmeyeceğini düşünmesinden kaynaklanmaktadır. Başka bir deyişle Pınar bakış yönlerine göre yapının önden arkaya doğru olan yerleşim sırasında geride kalan parçaların görünmeyeceği ile ilgili ön yargıya sahiptir.



Şekil 3.12. *Ön Yazılı Değerlendirmelerde Pınar'ın Y1 Hatası*

Pınar Şekil 3.12'deki yapının arka görünüşünde kendi bakış yönüne göre geride kalan küpün kare şeklindeki yüzünü görmeyeceğini düşünerek çizmediğini şu şekilde tarif etmektedir:

P: Arkadan görünüşünde, şu parça, arkadan bakınca görmem orayı, şu parçayı görmem şu parçayı (arka görünüş çizimine yansıtmadığı birim kare).

Katılımcılar yapıya soruda istenilen şekilde yöneldikten sonra, kendi vücut koordinat sistemlerine göre yapının hangi kısımlarını, nerede göreceklerini belirleyebilmeleri gerekmektedir. Oysa ön görüşmelerde katılımcıların %51.39 oranında Y3 hatası yaptığı belirlenmiştir.

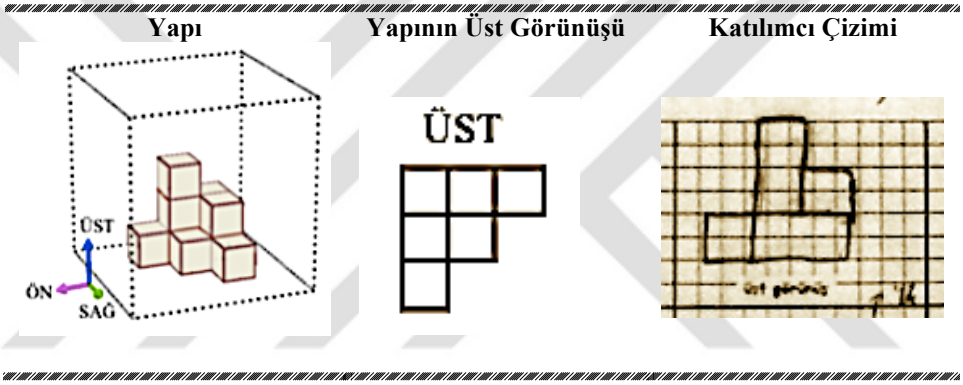
Görüşmelerle katılımcıların Y3 hatasına neden olan davranışları belirgin hale getirilmiştir. Bunlar: (1) Bir yapıya belirli bir yönden bakıldığında, yapı iki boyutlu olarak görünür. Yapının ön/arka görünüşü, yapının sadece en ve yükseklik boyutlarıyla, sağ/sol görünüşü boy ve yükseklik boyutlarıyla, üst/alt görünüşü ise en ve boy boyutlarıyla ile ilgi görsel bilgi içermektedir. Fakat katılımcıların baktıkları yönden, üçüncü boyutla ilgili görsel verileri de açınımlarına yansıtmaya çalışmaları. (2) Baktıkları yönden yapının görünecek kısımlarını doğru bir şekilde belirlemelerine rağmen, kendi vücut koordinat sistemlerine göre hangi parça ya da parçaları, nereye konumlandıracaklarını zihinlerinde canlandıramamaları (Örneğin, kendi vücut koordinat sistemlerine göre sağ üst kısımda olması gereken parçayı, sağ alt kısma yerleştirmeleri). (3) Bakılan yönden görünen parçaların kenar ve açı gibi geometrik ilişkilerini göz önünde bulundurmamaları (Örneğin, bakılan yönden bir dikdörtgenin uzun kenarı ile başka bir üçgenin hipotenüsü çakışık olarak görünmesine rağmen, parçalar arasındaki geometrik ilişkiye dikkat etmeyen bir katılımcı görünüş çizimini yaparken dikdörtgenin uzun kenarı ile üçgenin dik kenarını çakışık olarak yapabilir). (4) Yapının belirli bir yönden görünüşünü çizmeye başladıktan sonra, yönelimlerini değiştirerek çizimlerine devam etmeleri, örneğin, yapının ön-üst taraftan görünüşünü çizecek biçimde kendi vücutlarını yönlendirip çizimlerine başladıktan bir müddet sonra, yönelimlerini unutup, yapıya sağ-üst taraftan baktıklarını düşünerek çizimlerini tamamlamaları. (5) yapının parçalarının kenar ve köşelerinin belirli bir yönden bakıldığında aynı hizada olup olmadığını göz önünde bulundurmama, örneğin, bakılan yönden aynı yükseklikte olan iki parçayı görünüş çizimlerine farklı yüksekliklere sahipmiş gibi yansıtmaları, şeklindedir. Y3 hatasına neden olan katılımcı davranışlarından biri aşağıda yer alan görüşme kesiti ile birlikte örneklendirilmiştir.

Şekil 3.13'de birim küplerden oluşan bütünleşik bir yapı yer almaktadır. Özge bu yapının üst görünüşünü zihninde canlandıramamış, görünüş çizimine yapının sadece en ve boy boyutlarını yansıtması gerekirken, yükseklik boyutunu da katmaya çalışmıştır. Özge Şekil 3.13'deki yapının üst görünüş çizimini nasıl yaptığını şu şekilde tarif etmektedir:

Ö: Üst görünüş, üstten baktım, üstten baktığım zaman ne oldu? şimdi hani bir yükselti görürsün ya, bi de yanında bir alçaltı, baktığım zaman, yukarıdan baktığım zaman biri alçaltı, biri yükselti olur, o yüzden şunların ikisini böyle yaptım

A: Neyi temsil ediyor çizdiklerin?

Ö: Şu yükselti şunu (çiziminde en üst kısım), şu şunu (sağ orta kare), bi de yanda olur ya hani, yandan gidiyormuş gibi, şu ve şu beraber gidiyorlarmış gibi, o da şu



Şekil 3.13. *Ön Yazılı Değerlendirmelerde Özge'nin Y3 Hatası*

Katılımcıların yapının belirli bir yönden görünüşünü geometrik özelliklerine göre çizmedeki (Y2) ve yapıya soruda belirtilen yönden yönelmedeki (Y4) hata oranlarının (sırayla %75.79 ve %73.6) oldukça yüksek olduğu görülmektedir.

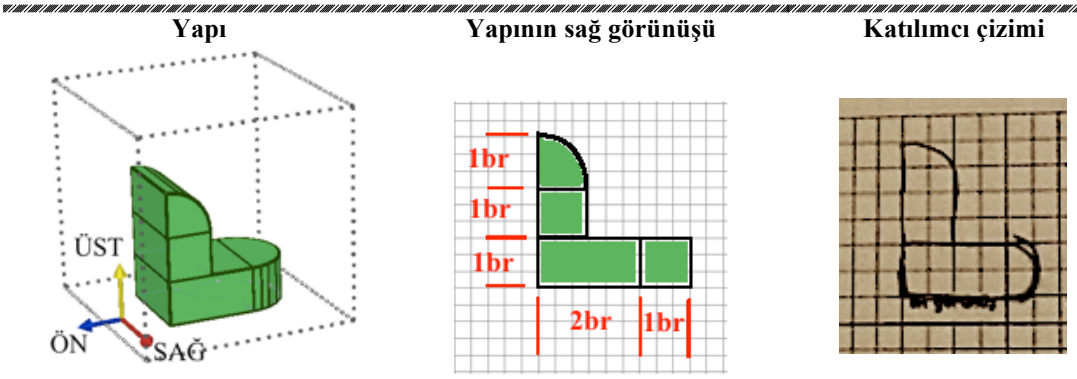
Görüşmeler yardımı ile Y2 hatasına neden olan katılımcı davranışları belirlenmiştir. Bunlar şu şekilde sıralanabilir: (1) Yapının eğik ya da eğrisel yüzlerinin görünüşünün oluşturacağı geometrik şekilleri doğru bir şekilde belirleyememe, bunun için algıladığı şekilde yüzeyleri görünüş çizimine yansıtma, örneğin, silindirik yüzey dikdörtgen seklinde gözükmesine rağmen köselerini oval çizme ya da eğik dikdörtgeni paralelkenar seklinde çizme, (2) geometrik bir cismin farklı bakış yönlerinden nasıl bir geometrik bir şekilde görüneceğini bilmesine rağmen, görünecek geometrik seklin kenar uzunlukları ve açı ölçülerini belirleyememe (örneğin, bir dik silindirin ön ve sağ görünüşlerinin dikdörtgen olacağını bilme fakat, bu dikdörtgenlerin en ya da boylarının silindiri oluşturan dairenin yarıçapı kadar olacağını belirleyememe), (3) yapıyı oluşturan

geometrik cisimlerin geometrik özelliklerinin birbirileri ile olan ilişkileri hakkında muhakemede bulunmama (örneğin, tabana dik konumda bulunan yarım silindirin dikdörtgen seklindeki yüzü ile tabanı kare olan bir kare prizmanın yan yüzlerinden biri çakışıksa, kare seklindeki üst ve alt taban ayrıtlarının silindirin çapı ile aynı uzunlukta olması gerektiğini çıkarsayamama), (4) yapının ayrıtları arasındaki orantısal ilişkilerden yola çıkarak yapının en, boy ya da yüksekliğini birimlendirmeden yapılan görünüş çizimleri, (5) açılı geometrik yüzlerin görünüşleri hakkında muhakemede bulunamama, örneğin, yer düzlemiyle eğik bir açı yapan dikdörtgen seklindeki bir yüzün, dikdörtgen seklindeki ön görünüşünü çizerken, eğik yüzün yüksekliği ve görünüş, çizimi arasında bağlantı kuramama, başka bir deyişle görünüşün yüksekliğinin eğik yüzün yüksekliği ile aynı uzunlukta olacağını belirleyememe ve (6) yapının boyutlarını aynı birim cinsinden ifade etmeme durumunun yarattığı hatalar. Bu durumu şu şekilde açıklayabiliriz: Katılımcıların zihinlerinde örneğin yaklaşık yarım santimetre kadar olan bir uzunluk belirleyip, bu uzunluğu yapının uzunluk ölçü birimi olarak atamaları beklenir (örneğin, 1 birim). Bu uzunluk birimi katılımcıların yapının en, boy ve yüksekliğini aynı birim cinsinden ifade etmelerini sağlar. Örneğin, eni 2 birim, boyu dört birim, yüksekliği 7 birim gibi. Fakat katılımcılar yönelim sorularını cevaplarken, yapının boyutlarını aynı uzunluk cinsinden ifade etmedikleri için, yapının belirli bir yönden görünüşündeki geometrik özellikleri çizimlerine doğru biçimde yansıtamamaktadırlar. Yukarıda yer verilen geometrik ve orantısal yaklaşım eksiklikleri Y2 hatalarının temel nedenleri arasındadır. Y2 hatasına neden olan örnek bir katılımcı davranışı ve bununla ilgili görüşme kesiti aşağıda yer almaktadır.

Şekil 3.13'de orta derece karmaşık eğrisel bir yapı, ön görünüşü ve bu yapının Melis tarafından yapılan ön görünüş çizimi yer almaktadır. Melis yapının çizimini nasıl yaptığını şu şekilde tarif etmektedir:

M: Burdan baktığım zaman şöyle, dikdörtgen (orta üst kısım), şurası şöyle dairesel (üst kısım), öyle çizdim burayı da, şurayı da yine (sağ uç kısım), önden böyle dairesel olduğu için şöyle çizdim.

Şekil 3.14'deki yapının sağ görünüşü ile katılımcı çizimi karşılaştırıldığında, onun çizimine yapının geometrik özellikleri ve orantısal ilişkilerini yansıtmadığı, onun söylemlerinden ise yapının kendisine göre sağ uç kısmının oval bir şekilde görüleceğini düşünerek algılarına bağlı bir çizim yaptığı anlaşılmaktadır.

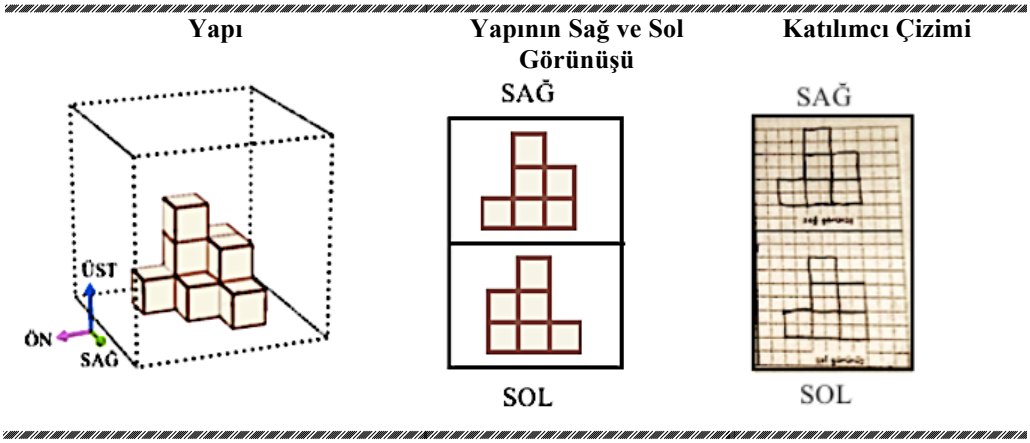


Şekil 3.14. *Ön Yazılı Değerlendirmelerde Melis'in Y2 Hatası*

Y4 yani yapıya soruda istenen şekilde yönelememe, katılımcılar tarafından en çok sergilenen ikinci hata profilidir. Görüşmelerden yararlanarak katılımcı Y4 hata nedenleri şu şekilde maddelenebilir: (1) Katılımcılar yapıda yer alan yön etiketlerine ya da soruda yer alan yönergelere dikkat etmeksizin çizimler yapabilmektedirler, örneğin, katılımcılar kendilerine göre ön, arka, sağ ve sol etiketleri oluşturmakta ve zihinlerindeki bu etiketlere göre yapıya yönelebilmektedirler, (2) yapıya görevde istenilen şekilde yönelebilmek için iki yönün dikkate alınmasını gerektiren durumlarda yapıya istenilen şekilde yönelememe (bilhassa yapıya ön-üst ya da ön-alt tarafından yönelememe), örneğin, yapıya ön-üst tarafından yönelmek yerine sağ-üst tarafından yönelme, (3) yapının ön ve arka, sağ ve sol, üst ve alt görünüşlerini birbiri ile aynı çizme, yani ön görünüşü çizerken bir kişinin kendi yönelimine görünüşü oluşturan yapı kısımlarının soldan sağa düzenini iki görünüş çiziminde de değiştirmeme ve (4) belirli bir taraftan yapıya bakarken kafasının nerede, kollarının nerede ve ayaklarının nerede olacağını belirleyememe. Y4 hatası ile sonuçlanan katılımcı davranışı görüşmelerden alınan bir kesitle birlikte aşağıda yer almaktadır.

Katılımcılar genellikle bir yapının ön ile arka, sağ ile sol ve üst ile alt görünüşü için aynı çizimleri gerçekleştirmektedirler, bu durum katılımcıların yapının farklı yönlerine kendilerini yönlendirememelerinden kaynaklanmaktadır. Şekil 3.15'deki birim küplü bütünleşik yapının sol tarafından görünüş çizimini, sağ görünüş çizimi ile aynı yapan Tuğçe, çizimini nasıl yaptığını şu şekilde anlatmaktadır:

T: Sol görünüşte, şu şekilde baktım, önce şu taraftaki küçük küpten başladım (çiziminde ve yapıda sol tarafta), şu küçük küpü çizdim, daha sonra, üst üste olan üç tane küpü gördüm (ortada), daha sonrada şurdaki üst üste olan iki küpü gördüm (sağ tarafta)



Şekil 3.15. *Ön Yazılı Değerlendirmelerde Tuğçe'nin Y4 Hatası*

Katılımcı yapının sağdan ve soldan görünüşünün benzer olacağının farkındadır, fakat yeni yönelimine göre kendi sağında yapının hangi kısımlarını göreceğini ve solunda hangi kısımlarını göreceği ile muhakemede bulunmaksızın bir çizim gerçekleştirmiştir. Halbuki yapının sol tarafına kendini yönlendirdiğini düşünmüş olsa, kendine göre üst üste iki tane birim kareyi sol tarafında, üç tane üst üste birim kareyi ortada ve tek kalan birim kareyi ise sağ altta kalacağı ile ilgili muhakemede bulunabilir.

Soru türlerine göre hata profillerinin sergilenme oranları: Y1 ve Y3 hataları en az üçüncü ve dördüncü soruda yapılmıştır (üçüncü soru Y1 hatası, %12.5 ve Y3 hatası, %29.15; dördüncü soruda Y1 hatası, %20.83 ve Y3 hatası %29.15). Üçüncü ve dördüncü sorudaki yapılar çok az sayıda cismin birbiri ile kombine edilmesi sonucunda oluşmuştur. Bu nedenle altı farklı yönden yapıların hangi kısımlarının görüneceği belirgindir, ayrıca bakış yönüne göre yapının hangi kısımlarının nerede görüneceği ile ilgili de çok az muhakeme yapmak görünüş çizimindeki görünüş çizimini eksik çizme ve görüntüyü oluşturan geometrik şekil örüntüsündeki şekilleri doğru konumlandırabilmesi için yeterli olmuştur. Y2 hatasının en fazla yapıldığı sorular eğik ve eğrisel yüz sayısının fazla olduğu cisimlerdir (4. Soruda, %100; 5. Soruda %100; 6. Soruda, %95.83). Dördüncü ve altıncı sorular iki eğrisel, beşinci soru ise dört eğik yüze sahiptir ve bu sorularda oldukça yüksek oranda Y2 hatası yapılmıştır. Bir eğik yüze sahip üçüncü soruda da bir ve ikinci sorudan daha yüksek oranda Y2 hatası yapılmıştır (%66.65).

Bakış yönlerine göre hata oranları: Her bir katılımcının ön görünüş çizimlerinin hepsinde yüzde kaç oranında Y1, Y2, Y3 ve Y4 hata profillerini sergilediği

hesaplandıktan sonra, sırayla arka, sağ, sol, üst ve alt görünüş için aynı işlemler tekrarlanarak Tablo 3.9 oluşturulmuştur.

Tablo 3.9. *Birinci Yönelim Bölümü Yazılı Değerlendirme Görevleri Katılımcı Y1, Y2, Y3 ve Y4 Hata Oranlarının Bakış Yönüne Göre Dağılımı*

B.Y.B. Ön Görüşmelerinde Yapıya Bakış Yönüne Göre Katılımcı Hata Yüzdeleri (%)							
K	**H.P**	**Ön**	**Ark**	**Sğ**	**Sl**	**Üst**	**Alt**
	Y1	16.7	16.7	0	0	0	16.7
T	**Y2**	66.7	50	50	50	50	50
	Y3	33.3	33.3	16.7	33.3	16.7	33.3
	Y4	0	33.3	0	33.3	66.7	100
	Y1	50	50	50	100	33.3	50
M	**Y2**	66.7	83.3	83.3	100	50	83.3
	Y3	50	50	50	100	66.7	50
	Y4	33.3	50	66.7	100	50	83.3
	Y1	50	66.7	0	16.7	33.3	33.3
P	**Y2**	100	83.3	50	66.7	83.3	50
	Y3	83.3	66.7	16.7	33.3	66.7	33.3
	Y4	83.3	100	100	100	100	100
	Y1	33.3	83.3	33.3	66.7	66.7	50
Ö	**Y2**	100	100	100	100	100	100
	Y3	66.7	83.3	50	66.7	66.7	50
	Y4	83.3	100	100	100	100	100
Ort	**Y1**	37,5	54,18	20,83	45,85	33,33	37,5
	Y2	83,35	79,15	70,83	79,18	70,83	70,83
	Y3	58,33	58,33	33,35	58,325	54,2	41,65
	Y4	49,98	70,83	66,68	83,325	79,18	95,83

Tablo 3.9, katılımcıların her birinin sırayla ön, arka, sağ, sol, üst ve alt görünüş çizimlerinin her birinde Y1, Y2, Y3 ve Y4 hata profillerini tekrarlama oranları hakkında bilgi vermektedir.

Katılımcıların sağ görünüş çizimlerinde sergiledikleri her bir hata profil ortalamaları (Y1: %20.83, Y2: %70.83, Y3: %33.35 ve Y4: %66.68), diğer bakış yönlerindekinden düşüktür. Çünkü sağ görünüş çizimi için katılımcıların kendilerini yapıya yönlendirmeleri gerekmemektedir, onların yapıya bakış yönleri yapıda etiketlenen sağ tarafla ilgili birçok görsel bilgiyi sunmaktadır. Başka bir deyişle kâğıt üzerindeki 3B'li görüntü sağ görünüş ile ilgili birçok ip ucu vermektedir. Sağ görünüş görevlerinde katılımcıların ne yapıya kendilerini yönlendirmelerine ne de yapının görünmeyen kısımları ile ilgili muhakemede bulunmalarına ihtiyaç vardır.

Bakış yönüne göre katılımcı hata oranları: Tuğçe sağ, sol ve üst görünüşte hiç Y1 hatası yapmazken, diğer bakış yönlerinde düşük oranda bu hata profilini sergilemiştir (ön, arka ve altta %16.7). Buradan katılımcının yapıya farklı yönlerden görülebilecek kısımlarını belirlemede ve çizimine yansıtmada fazla sorun yaşamadığı söylenebilir.

Tuğçe en fazla Y2 hatasını (%66.7) ön görünüşte sergilemiştir, bunun nedeni sorulardaki görevlerin sunuluş sırası olduğu düşünülmektedir. Çünkü katılımcılar yapıların orantısal ilişkileri ve yüz şekillerinin nasıl görüneceği hakkında ilk olarak ön görünüşte muhakemeye etmeye başlamaktadır, bu da ön görünüş görevlerinin bilişsel yükünü arttırmaktadır. Tuğçe en az Y3 hatasını (%16.7) sağ ve üst görünüşte sergilemiştir, çünkü kağıt düzlemi üzerinde sunulan yapı ön, sağ ve üst tarafı ile ilgili bir çok ipucu sunmaktadır. Tuğçe en fazla Y4 hatasını üst ve alt görünüşte yapmıştır, çünkü yapının en fazla üst ve altına kendini yönlendirmede zorlanmaktadır.

Melis yapıların sol görüş çizimlerin hiçbirini yapamamıştır, çünkü katılımcı yapıların soldan 3B'li bir şekilde görüneceğini düşünmüş ve oluşacak görüntüyü çizimine yansıtamayacağına inanmıştır. Bu da sol görünüş görevlerinde her bir hata profilini %100 oranında sergilenmesine neden olmuştur. Katılımcı en az Y1 ve Y2 hatasını (sırayla %33 ve %50) üst görünüşte yapmıştır. Çünkü kâğıt üzerindeki yapı üst görünüşle ilgili birçok görsel bilgi sunmaktadır. Fakat bunların aksine Melis en fazla Y3 hatasını (%66.7) üst görünüşte sergilemiştir. Üst görünüş çiziminin doğru bir şekilde yapılabilmesi için katılımcının yapının ön-üst tarafına yönlendirmesi, başka bir deyişle yapıya yönelirken iki yön etiketini dikkate alması gereklidir. Bu da görevin katılımcı tarafından algılanan bilişsel yükünü artırmaktadır. Katılımcı en fazla Y4 hatasını sol görünüşten sonra alt görünüşte (%83.3) yapmıştır, bunda hem üst görünüşte olduğu gibi yapıya iki yönden bakmanın hem de yapının görünmeyen tarafları hakkında muhakeme etmenin etkili olduğu düşünülmektedir. Çünkü alt görünüş çizimini doğru bir şekilde yapabilmek için yapıya ön-alt tarafından bakılması ve yapının gözükmeyen alt kısımları hakkında analitik olarak düşünülmesine ihtiyaç vardır.

Pınar ve Özge yapıya görevlerde istenilen şekilde yönelmede sorunlar yaşamışlardır, bu da Y4 hatasının tüm bakış yönlerinde yüksek oranda sergilenmesine neden olmuştur. Pınar en düşük Y1 hatasını sağ, Özge ise ön ve sağ görünüşte yapmıştır. Pınar en az Y2 hatasını sağ ve alt görünüşte yapmıştır, Y2 hatasının azlığı yapının alt tarafının düzlemsel bir yapıya sahip olması ile bağlantılı olduğu düşünülmüştür. Özge en fazla Y3 hatasını arka görünüş çiziminde yapmıştır, çünkü yapının arka tarafından görünüşünü doğru bir şekilde çizebilmesi için hem yapının görünmeyen kısımları hakkında da muhakemede bulunması hem de yapının görünmeyen tarafına kendini yönlendirmesi gerekmektedir.

Kâğıt düzlemi üzerine yansıtılmış yapı, görevde etiketlenen sağ, üst ve ön tarafları ile ilgili birçok görsel bilgi sunmaktadır. Oysa yapının sunum şeklinden dolayı onun arka, sol ve alt tarafları görünür değildir ve görünmeyen kısımlarla ilgili muhakemede bulunulması gerekmektedir. Görevlerin çoğunda yapının alt tarafı düzlemsel bir yapıya sahip olduğu için onun hakkında çıkarımlarda bulunmak arka ve sol görünüşe göre daha kolaydır, bundan dolayı en fazla Y1 hatasının arka ve sol görünüşte yapıldığı söylenebilir (sırayla %54.18 ve %45.85). En az oranda Y1 hatası ise sırayla sağ, üst, ön ve alt görünüşte yapılmıştır (sırayla %20.83, %33.33, %37.5 ve %37.5).

Yapının orantısal ve geometrik özellikleri ilk olarak ön görünüş çiziminde değerlendirilmektedir. Bundan dolayı en fazla Y2 hatasının ön görünüşte yapıldığı düşünülmektedir. Ayrıca yapının sol ve arka kısımları görünmediğinden ve onların görünmeyen yüzleri hakkında muhakeme etmenin zorluğundan dolayı ikinci olarak en fazla hata bu bakış yönlerinde yapılmıştır (Sol görünüşte, % 79.15 ve %79.18 arka görünüşte).

Konumlandırma hatasının en az sağ ve alt görünüşte yapılmıştır (sırayla %33.35 ve %41.65), bunda yapının kağıt düzlemi üzerine sunuluşunun sağ görünüş hakkında bir çok bilgi vermesi ve yapıların alt taraflarının genellikle düzlemsel bir yapıya sahip olmalarının bunda etkili olduğu sanılmaktadır. Diğer bakış yönlerindeki Y3 hata oranları birbirine yakındır.

Yapıya soruda etiketlenen sağ yönden bakmak için vücudumuzu yönlendirmemize gereksinim yoktur, çünkü zaten kâğıt üzerinde etiketlenen yapının sağ tarafı ile bakış yönümüz aynı doğrultudadır. Ön görünüş için ise kendimizi yapının biraz soluna yönlendirdiğimizi düşünmemiz, elde edilecek görüntünün belirlenmesini sağlamaktadır. Bu nedenle en az oranda Y4 hatası ön ve sağ görünüşte yapılmıştır (sırayla %49.98 ve %66.68). Üst görünüş görevlerinde ise katılımcılardan soruda oklarla belirtilen yapının ön tarafından üste yönelmeleri, alt görünüş için de benzer biçimde yapının ön tarafından altına yönelmeleri istenmektedir. Katılımcıların bu görevlerin gereklerini yerine getirebilmeleri için iki bakış yönünü de göz önünde bulundurmaları gerekmektedir. En yüksek oranda Y4 hatasının alt görünüş görevlerinde yapılmasının (%95.83) bu durumla bağlantılı olduğu düşünülmektedir, ayrıca üst görünüşte de önemli oranda Y4 hatası yapılmıştır (%79.18). Arka görünüş için bakış açımıza göre yapının sağ tarafına doğru biraz kendimizi yönlendirdiğimizi düşünmek yeterliyken, sol görünüş için bakış açımıza

göre yapının arka tarafına geçtiğimizi hayal etmemiz gerekmektedir. Bu nedenle sol görünüşte de önemli oranda Y4 hatası yapılmıştır (%83.33).

Yönelimin ikinci alt bölümünde katılımcılara bir modifiye ve bir kombine cisme küpün üst köşe noktalarından birinden baktıklarında elde edilecek görüntüyü zihinlerinde canlandırmaları ve izometrik kâğıda çizmelerini gerektiren iki, alt köşe noktalarından birinden baktıklarında elde edilecek görüntüyü zihinlerinden canlandırmaları, tarif etmeleri ve izometrik kâğıda çizmelerini gerektiren iki soru sorulmuştur. Yazılı değerlendirmede, katılımcıların cisimlere soruda istenen köşe noktalarından baktıklarını hayal ettikleri zaman, elde edilecek görüntünün yüz ya da yüz parçalarının hepsini belirleyemedikleri (Y5) ve bulundukları köşe noktasına göre cismin hangi yüzlerinin kendilerine göre nerede bulunacağını, yönlere göre tarif edemedikleri (Y6) gözlenmiştir. Ayrıca katılımcıların elde edilecek görüntüyü izometrik kâğıda 3B'li olarak yansıtamadıkları (Y7) tespit edilmiştir. Yazılı değerlendirme ve görüşmeler, katılımcıların her birinin dört sorunun her birinde üç hata profilini de sergilediklerini göstermiştir.

Görüşmelerden yararlanılarak Y5 hatası ile sonuçlanan katılımcı davranışları şu şekilde sıralanmıştır: (1) Cisme küpün üst ya da alt köşe noktalarından yönelememe, (2) cisme küpün üst ya da alt köşe noktalarından baktığında elde edilecek görüntüyü zihninde canlandıramama, (3) verilen köşe noktasına göre cismin görünecek yüzlerini hatalı söyleme, (4) verilen köşe noktasına göre cismin görünecek yüzlerini eksik söyleme ve (5) verilen köşe noktasına göre cismin yüzlerinin ne kadarının görüneceği ile ilgili muhakemede bulunamama şeklindedir. Aşağıda hataya neden olan katılımcı davranış örnekleri ve ilgili görüşme kesitleri yer almaktadır.

Şekil 3.16'da küpün ortasına yerleştirilmiş bir cisim yer almaktadır. Katılımcılardan cisme küpün üst kısmındaki A köşe noktasından baktıklarında elde edilecek görüntüyü tarif etmeleri istenmiştir.

Pınar, cisme küpün A köşe noktasından baktığında elde edilecek görüntüyü zihninde canlandıramadığını belirtmiştir. Katılımcıdan cismin hangi yüzlerini göreceği sözlü olarak ifade etmesi istendiğinde ise, cismin sol tarafındaki L şeklindeki yüzü göreceğini söylemiştir (Bkz. Şekil 3.16):

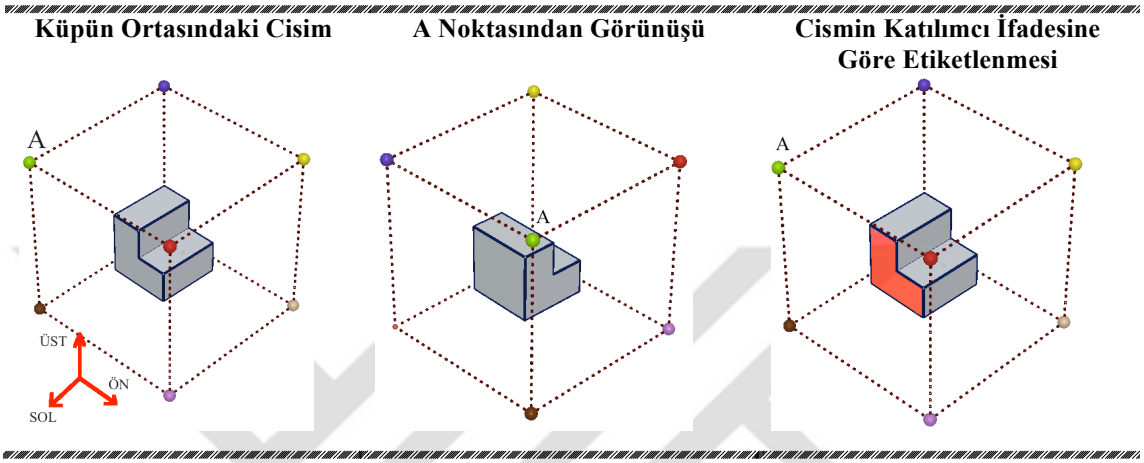
P: Bu noktadan bakıyorduk, A noktasından bakınca hangisi oluşur diyordu bize, ben o noktadan bakınca düşünemiyordum

A: Şimdi A noktasından baksan nasıl bir şey görürsün?

P: Ya üç boyutlu düşünemiyorum, mesela, A noktasından bakınca üç boyutlu çizmiş cismi (kendilerine sunulan örneğe atıfta bulunuyor), ben bakınca iki boyutlu gibi düşünüyorum L harfi gibi oluyor bende

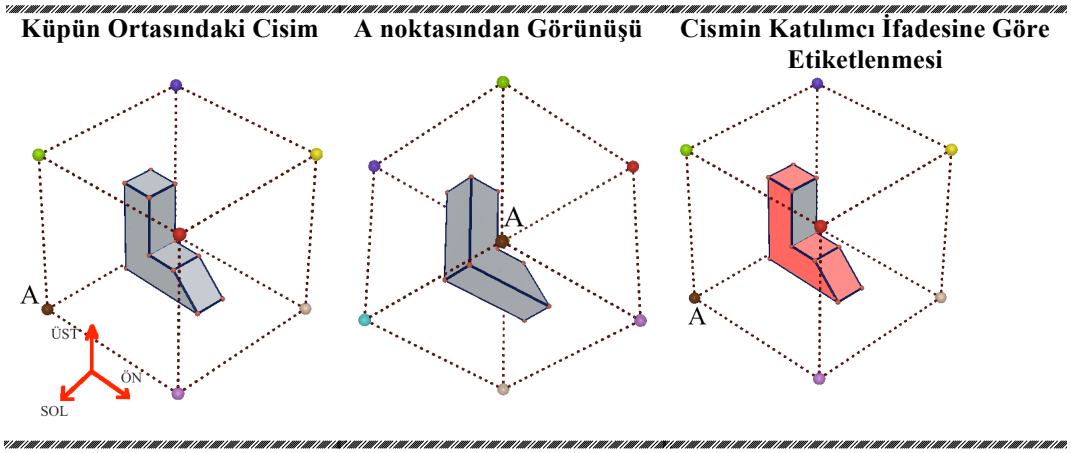
A: A dan bakınca ne görürsün neler görürsün?

P: Sanki, sol yüzünü görürüm gibi hissediyorum, L harfi çizerdim, ama iki boyutlu olur, 3B'li düşünemiyorum.



Şekil 3.16. *Ön Görüşmelere Göre Pınar'ın Y5 Hatası*

Katılımcılardan Şekil 3.17'deki modifiye cisme küpün A alt köşe noktasından baktıklarında elde edilecek görüntüyü tarif etmeleri ve çizmeleri istenmiştir. Ön görüşmelerde Melis'in bakılan köşe noktasından cismin görünmesi gereken kısımlarını yanlış belirlediği görülmüştür (Bkz. Şekil 3.17).



Şekil 3.17. *Ön Görüşmelere Göre Melis'in Y5 Hatası*

Şekil 3.17'de yer alan cisme küpün sol alt köşe noktasından baktığında nerelerini göreceğini Melis aşağıdaki biçimde tarif etmektedir:

M: A noktasından baktığım zaman şu yüzeyi görürüm (ön yüz), ama üst yüzeyi de görebileceğimi düşündüm… şurdan baktığımda bu şeklin de üst yüzeyini görebileceğimi düşündüm, şurda bir üçgensel yüzey ve bunun da yan yüzeyini bu şekilde görebileceğimi düşündüm.

A: Üst yüzeylerini de görebileceğini düşündün öyle mi?

M: Evet üst yüzeylerini de görebilirim diye düşündüm.

Melis'in söylemleri cismin A noktasından görünüşünü vermemektedir. Çünkü cisme A noktasından bakıldığında, cismin üst yüzleri gözükmez, sol, arka ve alt yüzleri görünür (Bkz. Şekil 3.17).

Katılımcıların Y6 hatası yapmamaları için göstermeleri gereken davranışlar: (1) Verilen köşe noktasına göre kendi sağında, solunda, üstünde ve altında cismin hangi yüzlerinin ya da yüz parçalarının görüneceğini tarif etme ve (2) verilen köşe noktasına göre cismin hangi parçalarının bakış noktalarına göre önde ya da geride olacağını belirleyebilme şeklindedir. Y7 hatası yapmamaları için ise (1) cismin ayrıt uzunlukları ve konumları arasındaki ilişkiyi ve (2) cismin ayrıtları arasındaki paralellik ilişkisini izometrik noktalı kâğıda yansıtabilmeleri gerekmektedir. Fakat katılımcılar cismin görünecek kısımlarını doğru olarak belirleyemedikleri için yeni yönelimlerine göre cismin hangi kısımlarının nerede olacağını da doğru bir şekilde ifade edememişlerdir. Ayrıca görüşmelerde katılımcıların 3B'li çizim yapamayacaklarını düşünerek, cisimlerin görünüşlerini çizmedikleri gözlemlenmiştir.

3.1.2.3.2. *Yönelim bölümü görevlerinin algılanan zorluğu*

Yönelim birinci alt bölümünde, katılımcılar yazılı değerlendir sorularının her birindeki altı görünüş görevinin her birini ne derece zor bulduklarını '1 den 9'a kadar (1 ve 9 dahil)' olan sayı değerleri ile eşleştirmişlerdir. Her bir sorunun herhangi bir katılımcı tarafından algılanan zorluğu, o katılımcının altı görünüş görevi ile ilgili derecelendirme puanlarının ortalaması alınarak bulunmuştur. Görünüş çizimlerinin zor ya da kolay olarak algılanmasında bakış yönünün etkisinin olup olmadığını belirlemek için, bir katılımcının sorulan tüm sorularda aynı bakış yönü için verdiği derecelendirme puanlarının ortalaması alınmıştır. Soru türlerinin ve bakış yönünün yönelim görevlerinin algılanan zorluğuna etkisini incelemek için Tablo 3.10 oluşturulmuştur.

Tablo 3.10'dan katılımcıların beşinci ve altıncı sorudaki eğik ve eğrisel yüzlere sahip karmaşık yapıların görünüşlerini çizme görevlerini, diğerlerinden daha zor

buldukları gözlenmiştir (sırayla ortalama 8.08 ve 8.04 puan). Birinci ve ikinci soruda yer alan birim küplü yapıların farklı yönlerden görünüşlerini çizme görevleri ise katılımcılar tarafından en kolay bulunan soru türleridir ve bu sorulara ortalama sırayla 4.88 ve 5.63 puan verilmiştir. Katılımcılar eğik ve eğrisel yüzlere sahip orta derece karmaşık yapıları ise ne kolay ne çok zor bulmuşlardır (3. ve 4. soru).

Tablo 3.10. *Birinci Yönelim Bölümü Yazılı Değerlendirme Görevlerinin Algılanan Zorluğu ile İlgili Katılımcı Derecelendirme Puanlarının Soru Türü ve Yapıya Bakış Yönüne Göre Dağılımı*

B.Y.B. Soru Türü ve Yapıya Bakış Yönüne Göre Ön Görüşme Görevlerinin Algılanan Zorluğu ile İlgili Katılımcı Derecelendirme Puanları													
K	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**Ort**	**Ön**	**Ark**	**Sğ**	**Sl**	**Üst**	**Alt**
Tuğçe	1	2	3,67	4,67	6,83	6,5	4,11	4,33	4,17	4,17	4,17	4,33	3,5
Melis	6,33	7,67	7,33	5,67	8,33	8,5	7,31	6,83	6,83	8,17	8,17	7,17	6,67
Pınar	4,17	4,83	6,5	7,5	8,17	9	6,70	6,33	6,5	7	7	6,83	6,5
Özge	8	8	7,67	7,67	9	8,17	8,09	8,17	8,33	7,83	8,17	8,17	7,83
Ort	4,88	5,63	6,38	6,38	8,08	8,04		6,42	6,46	6,79	6,88	6,63	6,13

Yapıdaki eğik ve eğrisel yüz sayısı artırılarak karmaşık hale getirildikçe, soruların algılanan zorluğu ile ilgili derecelendirme puanlarında da bir artış olduğu gözlenmiştir. Görüşmelerde karmaşıklık derecesi oldukça fazla olan eğik yüzlere sahip beşinci sorunun farklı yönlerden görünüşünü çizerken niçin zorlandığını Tuğçe şu şekilde anlatmıştır:

T: Bu cisimde biraz zorlandım

A: Nedeni ne?

T: Nedeni, çok fazla karmaşık geldi, karmaşıklığının sebebi de şuydu, çok fazla nasıl desem cisim çıkartılmış ya da eğik fazla, fazla bir eğik şeyler var burda, eğik düzlemler var diyim, bunlar var işte, çizerken biraz zorlandım yani

Öge ve etkileşimli öge miktarı fazla olan görevler, diğer görev türleri ile karşılaştırıldığında katılımcılar tarafından daha zor bulunmaktadırlar.

Katılımcıların soruların zorluğu ile ilgili derecelendirme puanları karşılaştırılırsa, Tuğçe'nin soruları biraz basit bulduğunu söyleyebiliriz (ortalama yaklaşık 4,11 puan). Pınar ve Melis'in derecelendirme puanlarından ise onların soruları yeterince zor buldukları söylenebilir (sırayla ortalama yaklaşık 6,70 ve 7,31 puan). Soruları en zor bulan katılımcı ise Özge'dir. Katılımcı soruların oldukça çok zor olduğunu düşünmektedir. Bunun nedeni onun daha önce bu tür görevlerle karşılaşmamış olması ve ilgili görevlerin bilişsel yükünün onun çalışan bellek kapasitesini aşmasıdır. Bu durumla ilgili olarak araştırmacı ve Özge arasında geçen diyaloglar şu şekildedir:

A: Daha önce perspektif için böyle bir çizim yaptın mı çocukluğunda

Ö: Yaptım

A: Ne zaman yaptın?

Ö: Lise birde, perspektif derken böyle değil, hani resim dersinde perspektif varya, ondan yapmıştım

A: Böyle bir çizim yapmadın mı şimdiye kadar?

Ö: Hiç yapmadım

Katılımcılar yapmaları gereken fakat ön bilgi ve deneyime sahip olmadıkları görevlerle karşılaştıklarında, çalışan bellek yükleri artmakta ve sorudaki öge ve etkileşimli öge miktarı fazla olmasa da onlar tarafından zor bulunabilmektedir.

Ön, arka, sağ, sol, üst ve alt görünüş katılımcı derecelendirme puanlarından, bakış yönünün puanlamaya etkisi olmadığı düşünülebilir (sırayla ortalama yaklaşık 6.42, 6.46, 6.79, 6.88, 6.63 ve 6.13 puan). Fakat katılımcılar tek tek ele alındığında, Tuğçe ön ve üst görünüşe, Melis ve Pınar sağ ve sol görünüşe, diğer görünüşlerden daha yüksek puanlar verdikleri belirlenmiştir. Yapılan görüşmeler katılımcıların, yapının orantısal ve geometrik özellikleri ile ilgili muhakemede bulunmaya başladıkları için ön görünüşleri, bakış yönüne göre yapının daha girintili ve çıkıntılı gözüktüğü sağ ve üst görünüşleri, görünmeyen yüzleri çıkarsamaları gerektiği için arka görüşleri diğer görünüşlerden daha zor bulabildikleri gözlenmiştir. Ön görüşmelerde Melis'in, yapıların sağ, sol ve üst taraflarının görünüşünün düzlemsel olamayacağı ile ilgili ön yargılara sahip olduğu anlaşılmıştır. Ona göre yapının bu yönlerden yapılacak çizimi 3B'li olmalıdır, ve o bu tür bir çizimi gerçekleştiremeyeceğini düşünmektedir. Bu nedenle altı yapının beşinde sağ ve sol görünüşlerin ikisini de çizmemiştir. Birim küplerden oluşan bütünleşik yapının sağ ve sol görünüşünü niçin çizmediğini Melis, şu şekilde anlatmaktadır:

M: Bu soruyu anlamakta güçlük çektim, üç boyutlu çizmem gerektiğini düşündüm, o yüzden sağdan görünüşlerde mesela, iki yüz görünecek gibi geldi, ön yüzü ve sol yan yüzünü (kendi bakış açısına göre yönleri ifade ediyor) görücekmiş gibi düşündüm, o yüzden sağ ve sol yüzleri çizmeden geçtim, ama ön görünüş ve arka görünüşü hani kolaylıkla çizebildim.

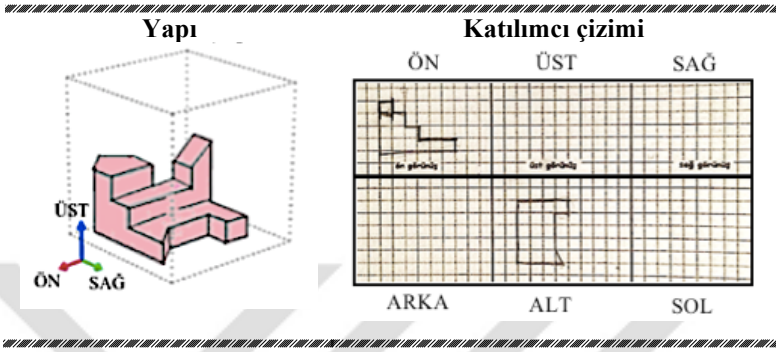
Bakış yönlerine göre yapının görülen kısmının girintili-çıkıntılı, eğik ve eğrisel yüzlere sahip olması da görevlerin algılanan zorluğunu etkilemektedir. Çünkü katılımcılar tarafından yapının farklı yönlerden görünüşünü çizme görevleri şema haline gelmemiş ve onlar ilgili görevleri cevaplandırırken algılarına dayalı olarak hareket etmişlerdir. Melis, beşinci sorudaki alt tabanı düzlemsel olduğundan daha kolay çizebildiğini görüşmelerde şu şekilde ifade etmiştir (Bkz. Şekil 3.18):

M: Üst görünüş, sağ, sol ve arka görünüşü çizemedim, bir tek alt görünüşle ön görüşü çizebildim

A: Onun nedeni ne?

M: Ya çok karışık bir şekil canlandıramadım, çok kesikli bir şekil çizemedim, alt görünüşü çizebildim, alt görünüşte düz bir yüzey böyle

Bakış yönlerine göre görevlere verilen puanlarda her ne kadar anlamlı bir fark görülmese de alt bakış görevlerinin katılımcılar tarafından algılanan zorluğu diğer görünüş türlerinden daha düşüktür (ortalama 6,13 puan).



Şekil 3.18. *Ön Görüşmelere Göre Melis'in Y1 Hatası*

Birinci yönelim bölümünden farklı olarak katılımcılardan, ikinci yönelim bölümündeki dört sorunun her birini ne derece zor bulduklarını sadece bir puan değeri ile eşleştirmeleri istenmiştir. Ön görüşmelerde katılımcıların ikinci bölümdeki tüm soruların hepsini çok çok zor buldukları ve soruların hepsine de 9 puan verdikleri gözlenmiştir. Araştırmacı Özge'ye bu dört sorudan hangisini diğer sorulardan daha zor bulduğunu sorulduğunda, katılımcı soruların hepsini çok zor bulduğunu söylemiştir:

A: Burda en zorlayan soru hangisi seni?

Ö: Burda hepsi zorladı beni hocam, farkettiyseniz hepsi cevapsız yani, şu zorladı bu zorlamadı diyemem

Katılımcılara görevlerin zor gelmesinin asıl nedeni elde edilecek görüntüyü zihinlerinde canlandıramamalarıdır. Pınar bunu şu şekilde ifade etmektedir:

P: Ya işte A noktasından, B noktasından bakıyorduk, görünen yüzleri çizmemizi istiyordunuz nasıl olur diye, zihnimde bile tam olarak şekli oluşmuyordu, aktarırken de zaten çok zordu.

Yönelim ikinci bölümündeki sorularda katılımcılardan, cisme küpün köşe noktalarından birinden bakıldığında elde edilecek görüntüleri çizmeleri istendiğinde, onlar 3B'li çizim yapamadıklarını söylemişlerdir. Bununla ilgili Tuğçe, Pınar ve Özge'nin söylemleri şu şekildedir:

A: Normalde üç boyutlu çizim yapabiliyor muydun?

T: Igıh yapamıyordum yani, çizim konusunda çok kötüyümdür, yani kendime de güvenemem bu konuda o yüzden yapmadım

M: A noktasından bakıldığında nasıl göründüğünü çizmiş, ama üç boyutlu mesela yukarı doğru kırılmış, bunları ben çizemiyorum

Ö: Üç boyutlu çizimim sıfır bende hiç yok.

3.2. BYT'ye Dayalı Öğretim Seanslarıyla Katılımcıların Uzamsal Görselleştirme Becerilerinin Gelişim Süreci

Açınım, döndürme ve yönelim görevleri bağlamında BYT referans alınarak tasarlanan Cabri3D öğrenme etkinlikleri ile öğretmen adaylarının uzamsal görselleştirme becerileri geliştirilmeye çalışılmıştır. Açınım, döndürme ve yönelim bölümü ğretim seanslarının nasıl gerçekleştirildiğine takip eden alt başlıklar boyunca yer verilmiştir.

3.2.1. BYT'ye dayalı açınım bölümü öğretim seansları

Uzamsal görselleştirme kapsamında katılımcıların öğretim seansları öncesi bilişsel yüklerini belirleyebilmek için yapılan ilk klinik görüşmelerde onlardan, kendilerine kâğıt üzerinde sunulan cisimlerin yüzey açınımlarını kâğıtta yer alan kareli zeminler üzerine çizmeleri ve tüm çizimlerini tamamladıktan sonra her bir açınım çizimini ne derece zor bulduklarını '1'den 9'a kadar (9 dahil) olan değerlerle eşleştirmeleri istenmiştir. Buradan katılımcıların her birinin her bir sorudaki hata oranları ile soruların katılımcılar tarafından algılanan zorluğu hesaplanmıştır. Görüşmelerde ayrıca katılımcılardan açınım çizimlerini nasıl yaptıklarını anlatmaları ve bazı soruları diğerlerinden niçin daha zor ya da kolay bulduklarını açıklamaları istenmiştir. Böylece katılımcıların hangi kavramsal şemalarındaki eksiklerin, onların bilişsel yüklerinde artışa neden olduğu belirlenmeye çalışılmıştır.

Yazılı değerlendirmelerde katılımcıların kategorik olarak hazırlanmış açınım görevlerinde cisimlerin yüz türlerini belirleyememe (A1), cismin yüzlerini geometrik özelliklerine göre çizememe (A2), cismin yüzey açınımını oluşturan geometrik örüntüye yüzleri doğru bir şekilde konumlandıramama (A3) ve açınımın kapanması için yüzlerin aynı uzunlukta olması gereken kenar uzunluklarını eşit uzunlukta çizmeme (A4), hatalarını sistematik olarak tekrarladıkları ve katılımcı hata oranlarının açınımı inşa edilen cismin algılanan karmaşıklığına göre artış gösterdiği bulunmuştur. Ayrıca çalışmada katılımcıların, yüksek oranda hata yaptıkları sorulara onların algılanan zorukları ile ilgili verdikleri derecelendirme puanlarının da nispeten yüksek olduğu belirlenmiştir. Bu durum, kategorik görevlerdeki katılımcı hata oranları ile soruların her

birinin katılımcılar tarafından algılanan zorlukları arasında anlamlı ilişki olduğu şeklinde yorumlanabilir. Yapılan görüşmelerin ise büyük oranda yazılı değerlendirme ve algılanan zorluk ile ilgili katılımcı derecelendirme puanlarından elde edilen bulguları desteklediği gözlenmiştir. Bu nedenle BYT'ye dayalı hazırlanan öğretim seanslarında katılımcıların hata oranlarını minimuma indirme ve soruların algılanan zorluğunda azalma meydana getirme kriterleri göz önünde bulundurulmuştur. BYT'ye göre yürütülen öğretimde, katılımcıların çalışan belleklerindeki asıl, konu dışı ve etkili yüklerinin toplamının, onların çalışan bellek kapasitelerini geçmemesi ilkesi göz önünde bulundurulmuştur. Seans içi ve seanslar boyunca katılımcıların asıl bilişsel yüklerinde aşırı bir artış meydana getirmemek için, seans içi ve seanslar boyunca görevlerin karmaşıklık derecesi aşamalı olarak arttırılmıştır. Takip eden dört alt bölüm boyunca katılımcıların açınım becerilerini geliştirebilmek için BYT'ye dayalı olarak tasarlanan ve dinamik geometri ortamında yürütülen öğretim anlatılmaktadır.

3.2.1.1. *Birinci öğretim seansı*

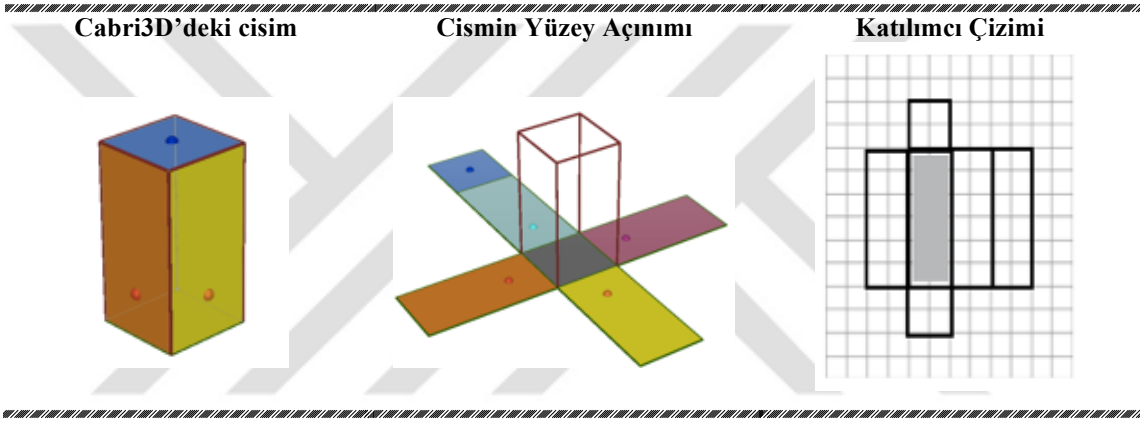
Birinci öğretim seansı boyunca katılımcıların iç bilişsel yüklerini belirli bir seviye tutmak için öğretim seansının ilk bölümünde katılımcılardan altı prizmanın, ikinci bölümünde ise piramitlerin yüzeylerini taban düzlemine açmaları istenmiştir. Fakat klinik görüşmelerde bazı katılımcıların cisim yüzeyini soruda kendilerinden istenildiği şekilde taban düzlemine açamadıkları, cismi ya yan yüzlerinden biri üzerine yatırdıktan sonra ya da tabana dik konumdayken arka yan yüzün bulunduğu düzleme açma yoluna gittikleri gözlenmişti. Cismi tabanına değil de farklı bir yüzüne açma istendik bir durum değildir. Bu durum katılımcının aşina cismin yüzey açınımı ile ilgili eylem zincirini zihninde canlandırmadan ezbere bir şekilde gerçekleştirmesinden kaynaklanmış olabilir. Bu durumla ilgili olarak Özge ve araştırmacı arasında geçen diyaloglar şu şekildedir:

A: Hangi şekli taban olarak belirledin Özge?

Ö: İkincisi, taban olarak belirlediğim ikincisi (Bkz. Şekil 3.19).

Diyaloglardan anlaşıldığı üzerine katılımcı cismi kare şeklindeki tabanına açmak yerine, dikdörtgen şeklindeki yan yüzlerden biri etrafına açmıştır. Bu durumun üstesinden gelmek için katılımcıdan Cabri3D'deki cismin yüzeyini farklı düzlemde bulunan iki yüzünü aynı anda hareket ettirmeden açması istenmiştir. Katılımcıların bu yolu takip etmeleri, Cabri3D'deki cismin yüzey açınımını ardışık eylemsel bir sıra halinde görmelerine olanak tanımaktadır. Özge'nin Cabri3D'deki açma sürecini gözlemlemesine

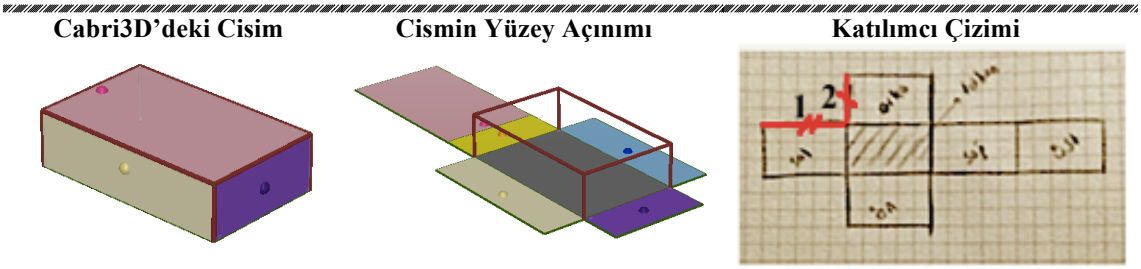
fırsat verilerek, materyal kaynaklı dış yükü azaltılmaya, Cabri3D'deki cismi açarken, cismin yüzlerinin konumlarında meydana gelen değişikliği anlatması istenerek ise etkili yükü artırılmaya çalışılmıştır. Şekil 3.19'daki cismin yüzey açınımını katılımcıların şu şekilde tarif etmesi beklenmektedir: 'Cismin gri kare şeklindeki taban düzlemine açmak için, önce cismin ön tarafındaki sarı yüzünü 90 derece aşağıya doğru açtıktan sonra, sağ turuncu ve sol pembe yüzlerini benzer biçimde taban ayrıtlarından aşağıya doğru 90 derece aşağıya doğru açtım. Daha sonra cismin mavi renkli üst yüzünü, turkuaz renkli arka yüzüne 90 derece açtığımda, üst yüz arka yüzle aynı düzleme geldi. Son olarak bu iki yüzü tabana komşu ayrıtından 90 derece arkaya doğru açtım'.



Şekil 3.19. *Açınım Bölümü Birinci Öğretim Seansında Özge Örneği*

Katılımcıların cismi taban düzlemine açamaması cisimlerin yüzeylerini açma ile ilgili kavram şemalarında eksiklikler olduğuna işaret etmektedir. Öğretim etkinlikleri katılımcıların cisimlerin yüzey açınımı ile ilgili mevcut şemalarını geliştirmelerini ve değiştirmelerini sağlamıştır. Cabri3D materyalleri ve öğretim etkinlikleri ile katılımcılar, açınım sürecinin analitik bir yol içerisinde gerçekleştiğini gözlemleyebilmiş ve kendi açınımlarını yaparken bu yolu takip etmişlerdir.

Katılımcılar aşina cisimlerin yüzeylerin hangi geometrik şekillerden oluştuğunu ve onların geometrik özelliklerini belirlemeksizin çizimler yapmakta, bu da A2 ve A4 hatalarının devam etmesi ile sonuçlanmaktadır. Örneğin, seans sırasında Pınar'ın dikdörtgenler prizmasının ikişer ikişer birbiri ile aynı büyüklükte olması gereken dikdörtgen şeklindeki altı yüzünün hepsini aynı büyüklükte çizdiği gözlenmiştir (Bkz. Şekil 3.20a).



Şekil 3.20a. *Açınım Bölümü Birinci Öğretim Seansında Pınar Örneği-1*

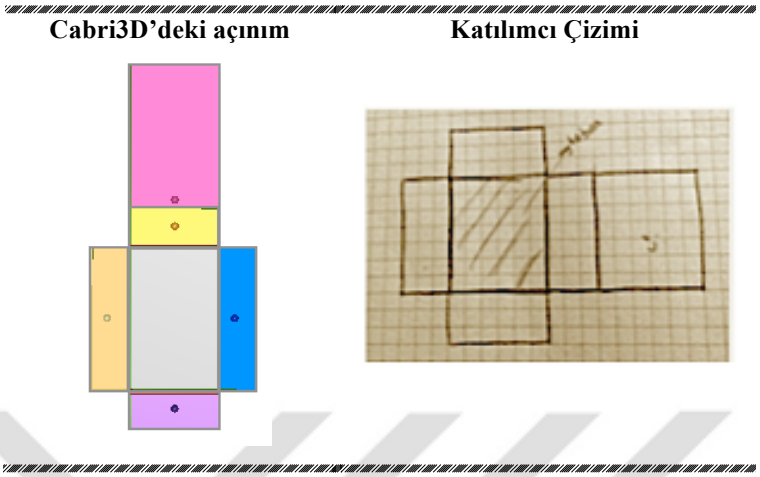
Pınar'ın dış yükünü azaltmak için Cabri3D'deki cismi çevirerek incelemesi, etkili yükünü artırmak için ise cismin yüzleri ile kendi çizimindeki yüzleri karşılaştırıp, benzerlik ve farklılıkları ifade etmesi istenmiştir. Katılımcının kendi açınımında da cisimde de tüm yüzlerin dikdörtgen olduğunu belirtmesi üzerine, ondan Cabri3D'deki cismi açması ve oradaki açınımla kendi açınım çizimini karşılaştırması istenmiştir. İki açınımdaki yüz şekilleri arasındaki farklıkları belirleyen Pınar'dan daha sonra Cabri3D'deki cismi kapatması ve kendi açınımının kapanabilmesi için neler yapması gerektiğini zihninde canlandırması istenmiştir. Açınım çizimindeki hatalarının nedenlerini belirleyen Pınar'ın açıklamaları şu şekildedir:

P: Açıkta kalmaması gerekiyor ve birbirlerini tamamlaması gerekiyor uzunluk ölçülerinin …şu an anladım hatamı…ben bu kenarı daha uzun aldım (Bkz. Şekil 3.20a'da Pınar'ın çiziminde '1 ve 2' sayısı ile etiketlenen kenarlar), yani şey, hatamı anladım, bunlar katlanınca şurdaki kenar uzunluklarının (1 ve 2 sayısı ile etiketlenen kenarlar) aynı olması gerekiyor birbirini örtmesi için benim örtmüyor, daha uzun (1 numaralı kenar) olduğu için açıkta kalıyor.

Pınar hatalarını fark ettikten sonra, cismin açınımını tekrar yapması istenmiştir. Katılımcı ise kareli sayarak dikdörtgenler prizmasının doğru açınımını yapmıştır. Pınar cismin yüzeyine Cabri3D'dekinden farklı bir açma eylem zinciri uygulamıştır. Cabri3D'deki açınımda cismin üst yüzü, arka yüzüne açıldıktan sonra, taban düzlemine açılmaktadır, oysa Pınar cismin üst yüzünü sağ yan yüzüne açtıktan sonra, bu iki yüzü taban düzlemine açmıştır (Bkz. Şekil 3.20b).

Katılımcı cismin açınımını yapmak için hem farklı bir strateji uygulamış hem de cismin kapanınca birleşecek kenarlarını aynı uzunlukta çizerek hatasını düzeltmiştir. Pınar sonraki süreçte açınımını nasıl kapatacağını anlattıktan sonra, kapatma ile açınım çiziminde hangi kenarların birleştirileceğini de tarif etmiştir. Şekil 3.20b'de görüldüğü üzere katılımcı cismin kapanınca aynı uzunlukta olması gereken kenarlarını doğru bir

şekilde çizimine yansıtmış ve çizimini eşit uzunlukta olması gereken kenarları nasıl belirlediğini ve açınımını nasıl kapatacağını mantıklı bir şekilde anlatmıştır.



Şekil 3.20b. *Açınım Bölümü Birinci Öğretim Seansında Pınar Örneği-2*

Öğretim seansında katılımcıların A2 hata oranlarını azaltmak için Cabri3D'deki cisimlerin yüzeyleri üzerinde bulunan geometrik şekillerin kenar uzunluklarını ve açılarını ölçmelerine izin verilmiş ve cisim açınımları ile kendi açınımlarını karşılaştırmaları istenerek geometrik yaklaşım eksiklerini fark etmeleri sağlanmıştır, böylece materyalden kaynaklı dış yüklerinin azaltılması hedeflenmiştir. Açınım çizimlerinde katılımcılar geometrik yaklaşım eksiklerini belirledikten sonra, açınım çizimlerine cisim yüzeyi üzerinde bulunan geometrik şekillerin özelliklerini nasıl yansıtabileceklerini tarif etmeleri istenerek, etkili yükleri artırılmak istenmiştir. Tuğçe eşkenar üçgen prizmanın dikdörtgen şeklindeki yan yüzlerini paralelkenara benzer biçimde çizmiştir (Bkz. Şekil 3.21). Tuğçe'den Cabri3D'deki cismi açtıktan sonra, kendi açınım çizimi ile karşılaştırması istendiğinde, hatasını fark edememiş ve açınımını doğru bir şekilde yaptığını belirtmiştir:

A: Sence aynı mı çizdiğinle?

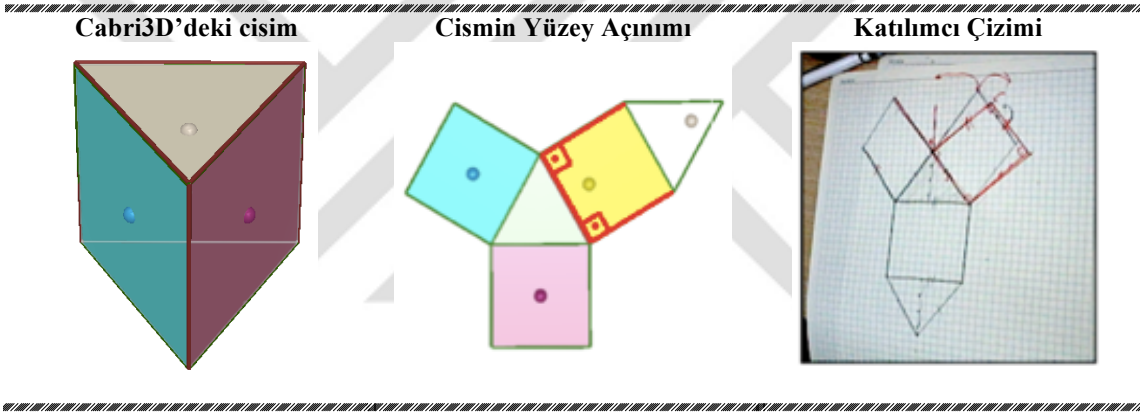
T: Böyle bakıldığında aynı, bence aynı o da tabanı üçgen kabul edersek sonra burasındaki kenarları çizmiş altına da dikdörtgeni çizmiş çevresindeki dikdörtgenleri çizmiş sonra da kapatıcak şekilde aynı üçgeni çizmiş

A: Senin dikdörtgenler dikdörtgene benziyor mu?

T: Yaa, karşılıklı şu kenaları beşer santim, şunlarda dört buçuk dört buçuk olması gerekiyor

Tuğçe açınımında üçgenin eğik kenarları üzerine yerleştirdiği dikdörtgenleri paralelkenara benzer şekilde çizmiştir. Hatasını fark etmeyen Tuğçe dikdörtgenleri doğru

bir şekilde inşa ettiğini düşünmektedir, ona göre karşılıklı kenarların birbirine paralel ve eşit uzunlukta yapılması dikdörtgenlerin oluşturulması için yeterlidir. Dikdörtgenlerin köşe açılarının dik yani 90'ar dereceye sahip olması gerektiğini göz önünde bulundurmamaktadır. Araştırmacı Cabri3D'deki dikdörtgen yüzlerden birinin açınım yönü ve onun taban ayrıtı ile arasındaki ilişkiye dikkat çekerek ve dörtgenlerin açılarını ölçmelerine izin vererek diklik kavramına ulaşmasını sağlanmıştır. A2 hatalarının nedenlerini belirleyen Tuğçe'den dikdörtgenleri açınım çizimine doğru olarak nasıl yansıtacağını anlatması istenmiştir. Katılımcı eğik kenarların uç noktalarına dik doğru parçaları çizmesi gerektiğini söylemesine rağmen, iletki yardımı ile açıları inşa edememiştir. Araştırmacı bir doğru parçasının uç noktalarından birine belirli bir ölçüye sahip açıyı nasıl çizeceğini anlattıktan sonra, açınım çizimindeki hataları düzeltmiştir.



Şekil 3.21. *Açınım Bölümü Birinci Öğretim Seansında Tuğçe Örneği*

Düzgün altıgen bir piramidin yüzey açınımını doğru bir şekilde inşa etme süreci, kâğıt üzerine düzgün bir altıgen oluşturduktan sonra, onun etrafına birbirine eş altı ikizkenar üçgeni doğru bir şekilde konumlandırmayı içermektedir. Doğru bir açınım çizimi için katılımcıların iletki ve cetvel kullanarak belirli ölçülere sahip açılar ve belirli uzunluklara sahip kenarlar inşa etme ve taban kenarı verilen ikizkenar üçgeni taban açılarından ya da tabanın orta dikmesinden yola çıkarak inşa etmeyi içeren şemalara sahip olmaları gerekmektedir. Fakat doğru açınım çizimi için bunlar tek başlarına yeterli değildir, cismin yüz şekillerindeki oranlar da açınım çizimine doğru bir şekilde yansıtılmalıdır. Oransal ilişkilerin açınım çizimine yansıtılmaması da katılımcıların A2 ve A4 hataları yapmalarına neden olmaktadır. Pınar'ın Şekil 3.22'deki cismin yüzey açınımını çizerken, cismin yan yüzeyini oluşturan ikizkenar üçgenleri olması gerekenden küçük çizdiği gözlenmiştir. Pınar'ın dış yükünü azaltmak için Cabri3D'deki cismi

açması, etkili yükünü artırmak için oradaki açınımı kendi yaptığı açınımla karşılaştırması istenmiştir. Böylece Pınar cismin yüzeyindeki üçgenlerin oransal ilişkilerini açınımına yansıtamadığını fark etmiştir. Bu durumla ilgili olarak katılımcı ve araştırmacı arasında geçen diyaloglar şu şekildedir:

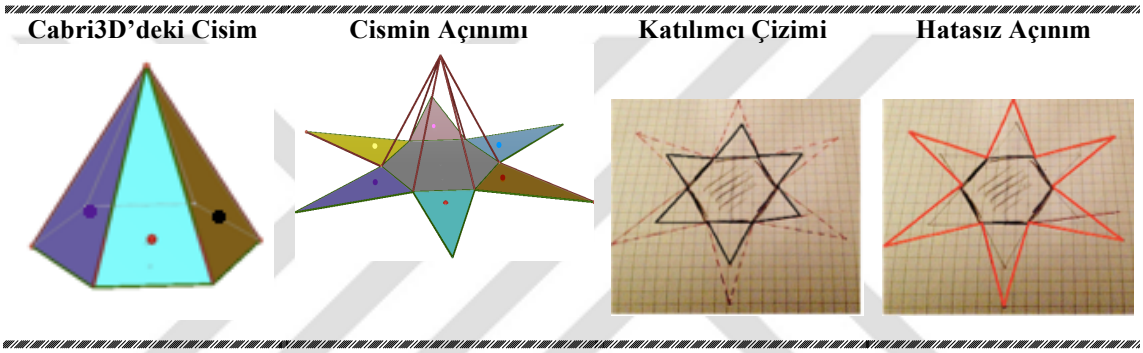
P: Benim üçgenlerim küçük oldu… birleşmicek, kapanmıcak

A: Kapanmıcanı düşünmenin nedeni ne?

P: Tabanımın uzunluğu, tabanımın yüksekliğinin üçgenlerimin yüksekliğine eşit olması

A: O ne demek oluyor, tabanımın yüksekliği

P: Mesala tabanımın yüksekliği 7 birim, üçgenlerimin yüksekliği de 7 birim oldu, (üçgenin yüksekliğini sayıyor) benimki3 birim olmuş



Şekil 3.22. *Açınım Bölümü Birinci Öğretim Seansında Pınar Örneği-3*

Düzgün altıgenin alt ve üst tabanları arasında kalan yükseklik, üçgenlerin birinin yüksekliğinin iki katına eşit olursa, açınım kapansa bile belirli bir hacme sahip düzgün bir altıgen piramit oluşmamaktadır. Eğer ikizkenar üçgenlerin yüksekliği düzgün altıgenin yüksekliğine eşit olursa, yüksekliği altıgenin yüksekliğinin yarısının $\sqrt{3}$ katına eşit bir piramit elde edilebilir. Cismin yüksekliğini artırmak için, yan yüzlerdeki üçgenlerin yüksekliklerini de artırmak gerekmektedir. Pınar açınım çizimindeki hata nedenlerini belirleyip, sözlü olarak ifade ettikten sonra, ikizkenar üçgenlerin yüksekliklerini artırarak açınım çizimini düzeltmiştir (Bkz. Şekil 3.22).

İlk öğretim seansı ile katılımcılar mevcut şemalarını yeni durumlar içine transfer edebilmişlerdir. Bu seans sayesinde açınımı analitik ve geometrik bir yaklaşım içinde ele almaya başlamışlardır. Katılımcıların aşina cisimlerin yüzey açınımını yapmak için gerekli becerileri elde etmeleri ile ikinci öğretim seansına geçilmiştir.

3.2.1.2. *İkinci öğretim seansı*

Bu öğretim seansına iç bükey prizmaların yüzey açınımlarını yapma etkinlikleri ile başlanmış, kesik prizmaların yüzey açınımını yapma etkinlikleri ile devam edilmiştir. İç bükey prizmaların yüzey açınımlarını yapma etkinlikleri, dış bükey prizmalara göre, cisimlerin yüz şekilleri, açınımı elde etmek için uygulanacak eylem zinciri, açınımdan kapalı cismi elde etmek için açınımı çizmeye hangi yüz şekillerinden başlanacağı ve birçok durum hakkında muhakeme yapmayı gerektirir. Oysa prizmalar gibi, bu cisimlerin de yüzlerinin ikisi hariç hepsi dikdörtgendir. Yüzeyini tabana açmak için iç bükey kısımda bulunan yüzleri dikdörtgen şeklindeki yüzlere açtıktan sonra, aşina cisimleri açmak için kullanılan eylem zincirini takip etmek yeterlidir. Kesik prizmaların ise dış ve iç bükey prizmalara göre dikdörtgen şeklinde olmayan daha fazla yüzü vardır. Bu cisimlerin yüz şekillerinin geometrik özellikleri ve bilhassa kesik yüzün açınımda nasıl konumlanacağı gibi durumların katılımcıların bilişsel yüklerini iç bükey prizmalara göre daha fazla artıracağı düşünülmektedir. Bu nedenle öğretim seansında iç bükey prizmalardan sonra, kesik prizmaların yüzey açınımlarını yapma etkinliklerine yer vermenin daha uygun olacağı düşünülmüştür.

Öğretim seansı boyunca cismin tüm yüzlerini açınım çizimine yansıtamama hatası (A1) ile üç durumda karşılaşılmıştır, katılımcılar: (1) Cismi tek bir cisim olarak algılamamakta, onu iki ya da daha fazla aşina cismin birleşimi olarak algılamakta, bu nedenle cismin bazı yüzlerini bölerek açınımı yapmaya yoluna gitmekte, (2) cismin yüzlerini saymadıkları için açınımlarına bu yüzlerin hepsini yansıtmamakta ya da (3) cismin bazı yüzlerini nasıl konumlandıracaklarını belirleyemedikleri için açınımlarına bu yüzleri çizmemektedirler. Bu duruma örnek olarak Pınar'ın yaptığı açınımı verebiliriz. Pınar, Cabri3D'de kendine gösterilen cisme baktığında (Bkz. Şekil 3.23), onu küp ve yamuk prizmanın birleşimi olarak algılamış ve açınımı yaparken 'kesik L' şeklindeki yüzü bölmüştür (Bkz. Şekil 3.23). Bu durumla ilgili Pınar ve araştırmacı arasında geçen diyaloglar şu şekildedir:

P: (Çizime başlamadan önce düşünürken) Üstteki küpü mü çizsem önce diye düşünüyorum sonra alt tarafı çizsem bence olur herhalde öyle yapalım bakalım

A:(Öğrenci çiziminin belirli bir kısmını tamamladıktan sonra) Pınar ne çizdin tarif edermisin?

P: Şurdaki küpü açtım, üst tarafını, sağ, sol ve arkayı yaptım sonra ön şeklimi çizdim bunun arkası da var (Bkz. Şekil 3.23)

Pınar'ın Şekil 3.23'deki çizimi gerçekleştirmesinin nedeni cismi, iki cismin birleşimi olarak görmesi ve asıl cismin yüz türlerini belirleyememesidir. Bu tür durumlarda katılımcıların dış yüklerini azaltmak için Cabri3D'deki cismi çevirerek incelemeleri, etkili yüklerini artırmak için cismin yüzlerinin özelliklerini anlatmaları istenmiştir. Pınar birkaç hatalı çizim denemesinden sonra doğru açınım geometrik örüntüsünü oluşturmuş fakat cisimdeki yüzlerden birini açınımına yansıtmamıştır ve kapanınca birleşecek kenar uzunluklarının bazılarını göz ardı etmiştir (Bkz. Şekil 3.23). Bu durumda Pınar'dan Cabri3D'deki cismi açarak orada yer alan yüzleri kendi açınımındaki yüzlerle karşılaştırması istenmiştir, böylece onun cismin yüz sayısı ile kendi açınımına yansıttığı yüz sayısına odaklanması ve eksik çizdiği yüzü fark etmesi sağlanmıştır. Pınar'dan eksik çizdiği yüzü açınım çizimine konumlandırmış olsaydı nereye ve nasıl konumlandıracağını anlatması, daha sonra da bu yüzü farklı bir renk kalemle açınımına eklemesi istenmiştir. Burada katılımcının açınımına yansıtamadığı yüzün konumunu zihinde canlandırması sağlanarak ve bu yüzü açınımına nasıl konumlandıracağını anlatması istenerek etkili yükü artırılmaya çalışılmıştır. Pınar Cabri3D'deki yüzleri saydıktan sonra, açınımına bu yüzü nasıl konumlandıracağını şu şekilde tarif etmiştir:

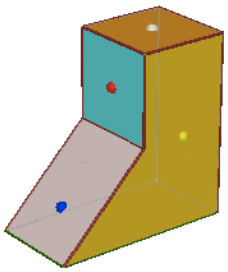
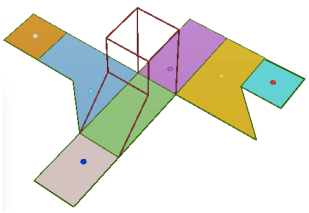
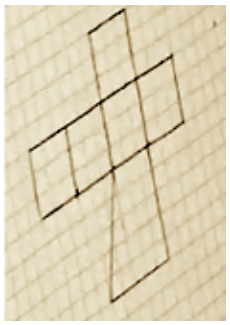
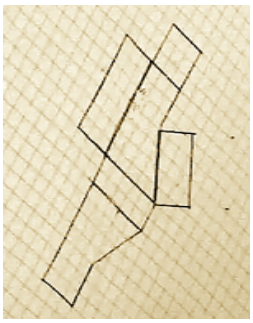
P: (Cabri3D açınımında) Bir iki üç, yedi yüzü var.

A: Sen kaç yüz çizdin?

P: Ben altı yüz çizdim, bir, iki, üç, dört, beş, altı yüz, neyi çizmedim? ben şunu çizmedim.

A: Onu nasıl çizmen lazım?

P: Şunun yanına bir tane daha çizmeliyim, diye düşündüm şu an, o zaman şurayı kapatırım, şurdaki açıklığı, şu yan tarafımda açıklık kalıyor, onu kapatırım.

Cabri3D'deki Cisim	Cismin Açınımı	Katılımcı Çizimi	Katılımcı Çizimi
			

Şekil 3.23. *Açınım Bölümü İkinci Öğretim Seansında Pınar Örneği-1*

Öğretim seansının devamında katılımcı üst yüzün hemen sağına, üst yüz ile aynı büyüklükte bir kare daha çizerek hatasını düzeltmiştir. Öğretim seansında katılımcıdan önce Cabri3D'deki açınımı anlatarak kapatmaları istenmiş, böylece dış yükleri azaltılmıştır. Ardında onun etkili yükünü artırmak için açınımını zihninde kapatmaya çalışması ve kapanınca birleşecek kenar çiftlerini etiketlemesi istenmiştir. Pınar açınımındaki hangi kenar çiftlerinin birleşmesi gerektiğini söyledikten sonra, ondan birleşeceğini söylediği kenarları cetvelle ölçmesi istenmiştir. Bu şekilde Pınar A4 hatalarını da düzeltme imkânı bulmuştur.

Katılımcılar içbükey çokgen prizma biçimindeki cisimlerin açınımını yaparken, dikdörtgenleri çizdikten sonra iç bükey çokgenleri çizmeye çalışmakta, bu nedenle iç bükey çokgenleri açınımlarında yerleştirmekte problem yaşamaktadırlar. Bu durum katılımcıların sadece açınıma odaklandığını, cismin kapanışını ve cisim kapanırken hangi yüzlerin birbiri ile birleşeceğini düşünmediklerini göstermektedir. Oysa katılımcı cismi açarken, nasıl kapatacağını da düşünse hangi yüzlerin birbiri ile ilişkilendirileceğini ve hangi yüz kenarlarının eşit uzunlukta olması gerektiğini çıkarsayabilir. Örneğin Melis Şekil 3.24'teki cismi açarken, önce tabanı, sonra onun sağ ve sol taraflarındaki dikdörtgen şeklindeki yüzleri konumlandırdıktan sonra, iç bükey altıgen şeklindeki yüzleri çizmek istemiş, bu durum ise onun A2 ve A4 hataları yapmasına neden olmuştur. Cismin yüzeyini açmada kullanılan belirli eylem ya da eylemlerin sırasını değiştirmenin, açınım çizimini yaparken kapanınca birleşecek kenarları zihinde canlandırmayı sağlayacağı düşünülmüştür. Benzer biçimde Cabri3D'deki cisimlerin bazı yüzeylerinin açma sırasını değiştirmek de, elde edilecek açınım örüntüsünün görüntüsünde bir değişiklik yaratmamaktadır. Katılımcıların dış yükünü azaltmak için Cabri3D'deki kapalı yüzeyi farklı şekillerde açmaları ve etkili yüklerini artırmak için kendilerinin de cismin hangi yüzlerinin açık şeklini önce çizerlerse, hatasız bir açınım elde edebileceklerini düşünmeleri istenmiştir. Melis açınımının kapanması için bir araya gelecek kenar çiftlerinin aynı uzunlukta olmadığını, hatasını düzeltmek için neler yapabileceğini anlattıktan sonra, araştırmacının yönlendirmesi ile iç bükey prizmaların açınımına, iç bükey yüzlerden başlamanın hata yapmasını engelleyeceğini ifade etmiştir:

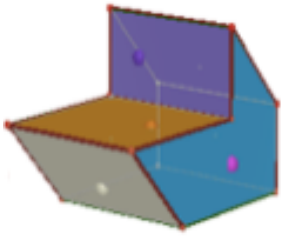
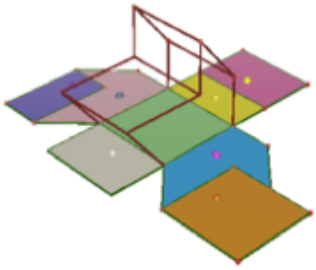
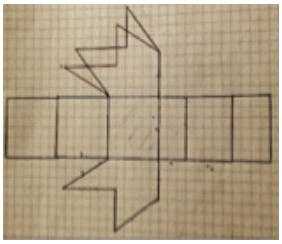
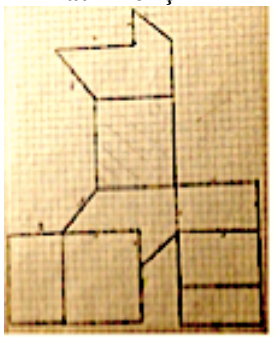
M: Eşit çizmeliydim burayı ikişer santim. Yarım santim daha fazla çizmeliydim burayı.

A: Sanırım bir önceki çiziminde de benzer bir şey olmuştu.

M: Evet.

A: Çizimine başka bir yerden başlasan, bu sorunu ortadan kaldırabilir misin?

M: Buralardan başlasam (iç bükey çokgenlere işaret ediyor) ve tüm kenarları bunu düşünerek çizsem olabilir.

Cabri3D'deki Cisim	Cismin Açınımı	Katılımcı Çizimi	Katılımcı Çizimi
			

Şekil 3.24. *Açınım Bölümü İkinci Öğretim Seansında Melis Örneği-1*

Melis Cabri3D'deki cismi açmak için uygulanan farklı eylemler ve yüzlerin kapanışı hakkında düşünmeye başladıktan sonra Şekil 3.24'teki çizimi gerçekleştirmiştir. Bu açınım geometrik örüntüsü katılımcının Cabri3D'deki incelediğinden farklıdır. Katılımcı açınım çizimini doğru bir şekilde gerçekleştirdikten sonra, açınımının nasıl kapatacağını anlatmış ve kapatma eylem ya da eylemlerini uyguladığında hangi kenar çiftlerinin bir araya geleceğini tek tek göstermiştir.

Modifiye cisimlerin yüzeyini oluşturan geometrik yüz şekilleri katılımcılar tarafından doğru olarak belirlenebilmesine rağmen, yüzler üzerine açma eylem ya da eylemleri doğru bir şekilde uygulanamamakta bu ise açınım için oluşturulan geometrik şekil örüntüsünde yüzleri konumlandırma hatalarına (A3) neden olmaktadır. Bu tür zorlukların üstesinden gelmek için katılımcıların, Cabri3D'deki cismin tabanını inceledikten sonra, bu yüzü referans alarak kareli kâğıt üzerine açınım çizimlerini yapmaları istenmiştir. Katılımcıların dış yükünü azaltmak için önce Cabri3D'de cismin tabanına komşu olan yüzlerden birini açması ve açınım sonucu oluşan görüntüyü incelemesi, etkili yüklerini artırmak Cabri3D'de yer alan tabana komşu her bir yüzün konumunu ve geometrik özellikleri inceledikten sonra, bu yüzleri taban ile birleşik ayrıtları boyunca çevirerek açtığını hayal etmesi istenmiştir. Buna örnek olarak Özge'nin kesik küp açınımı verilebilir. Özge'den kesik küpün yüzey açınımını yapması istendiğinde Şekil 3.25'teki çizimi oluşturmuştur. Açınım çiziminde kesik küpün yüzlerini konumlandırmada sorun yaşayan Özge'nin, çalışan belleğindeki etkileşimli öge

miktarını azaltmak için her bir yüz ve konumları hakkında tek tek ve ardışık olarak düşünmesi için yönlendirmelerde bulunulmuştur:

A: Şimdi, bunu açacaksın (Cabri3D'deki cismin yan yüzlerinden birini gösteriyor) nasıl açacaksın bir tarif et önce.

Ö: Şunu 90 derece aşağıya katlarım.

A: Tamam. Tabanın hangisi?

Ö: Yeşil olan.

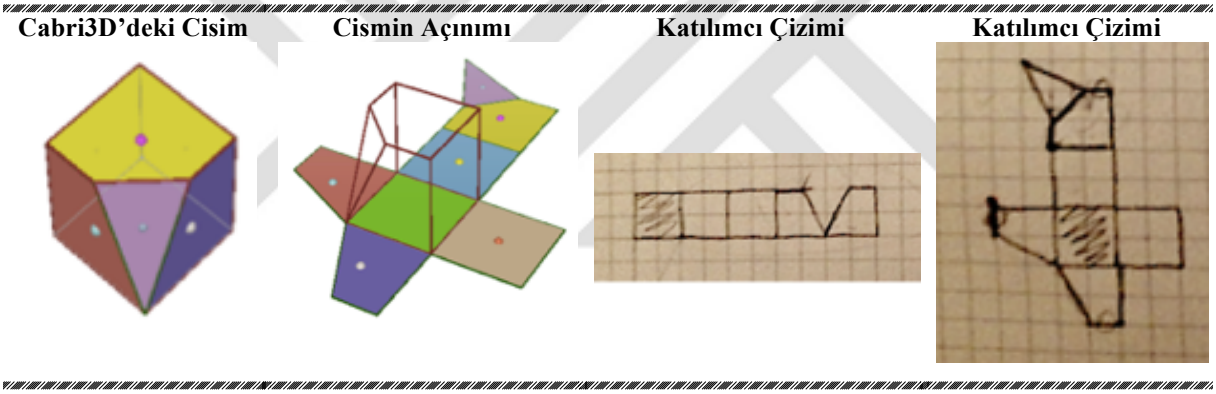
A: Tamam, çiz bakalım onları. Tabanı bir çiz, cetvel kullanabilirsin.

Ö: Şöyle bu tabanı (kare şeklinde tabanı çiziyor).

A: Şimdi ön tarafında gözüken yüzü aşağıya doğru katladığını düşün nasıl bir şey oluşacak? Ö: şöyle bir şey oluşucak (işaret edilen yüzü çiziyor).

A: Hıhı tamam, başka ondan sonra ne yaparsın?

Ö: Sonra sağ yanındaki kareyi katlarım, ondan sonra şu tarafındakini katlarım yan tarafa doğru, sonra arkadakini katlarım o da bir kare, sonra üçgenimle üst tabanım kaldı.



Şekil 3.25. *Açınım Bölümü İkinci Öğretim Seansında Özge Örneği-1*

Özge Cabri3D'deki kapalı cismi inceledikten sonra tabana komşu her bir yüzü, taban ayrıtları etrafında döndürerek açtığını düşünerek Şekil 3.25'teki çizimi gerçekleştirmiştir. Katılımcı doğru açınım çizimini tamamladıktan sonra, Cabri3D'de cismi açması ve kendi açınımı ile karşılaştırması istenmiştir. Katılımcı iki açınımın da aynı olduğunu söyledikten sonra, oluşturduğu yeni açınımını kapatmak için hangi kenar çiftlerinin bir araya geleceğini renkli kalemlerle anlatarak işaretlemesi istendiğinde, onun açınımın kapanması için birleşmesi gereken kenar çiftlerini belirlemede sorunlar yaşadığı ve Cabri3D'i açınımında bir araya gelecek yüz ve kenar çiftlerini belirlemede kullandığı tespit edilmiştir. Örneğin, pembe ikizkenar üçgenin kenarlarından biri ile kırmızı yamuğun eğik kenarları birleşmeli gibi. Bu durum Özge'nin açınımını kapatabilmek için

birleşmesi gereken kenar çiftleri hakkında muhakemede bulunmada zorlandığı anlamına gelmektedir.

İkinci öğretim seansı katılımcıların mevcut şemalarında birtakım değişiklikler yapmalarını sağlamıştır. Katılımcılar mevcut şemalarını iç bükey prizma ve kesik cisimlerin açınımlarını doğru bir şekilde yapabilmek için genişletmiş ve yeniden düzenlemişlerdir. Öğretmen adaylarının bu tür cisimlerin yüzey açınımlarını analitik ve geometrik bir yaklaşım içinde ele aldıkları, onların yüzeyini açmak için doğru stratejiler geliştirdikleri ve bu stratejileri doğru bir şekilde uyguladıkları gözlemlenmiştir. Katılımcı kazanımları dikkate alınarak üçüncü seansta öge sayısının ve öge etkileşiminin daha fazla olduğu görev ve etkinliklere yer verilmiştir.

3.2.1.3. *Üçüncü öğretim seansı*

Üçüncü öğretim seansında kapsamında yürütülen etkinliklerde katılımcılardan öncelikle ‘aşina iki cismin çakıştırılarak kombine edilmesiyle oluşan’, daha sonra ‘biri aşina biri modifiye iki cismin çakıştırılarak kombine edilmesiyle oluşan’ ve son olarak ‘biri aşina biri modifiye iki cismin kesiştirilerek kombine edilmesiyle ve biri aşina biri modifiye iki cismin birleşim düzleminde iç bükey bir çokgen oluşacak biçimde çakıştırılmasıyla oluşan’ cisimlerin yüzey açınımlarını inşa etmeleri istenmiştir. Aşina ve modifiye cisimlerden farklı olarak, bu öğretim seansında kullanılan cisimlerin yüz türleri ve cisimleri açma-kapamada uygulanacak eylem zincirleri daha fazla geometrik ve analitik muhakeme gerektirmektedir. Bu tür cisimlerin yüzey açınımlarında uzmanlık kazanma için, (1) kombine etme sonucunda değişen yüz sayısı ve yüz şekillerini belirleyebilme, (2) kombine etme ile iki cisme ait yüz şekillerinden bazıları aynı kalırken, diğerlerinin kombine etme işleminden etkileneceğinin ve geometrik özelliklerinin değişeceğinin farkında olma, (3) yeni cisimleri açmada kullanılacak eylem zincirlerinin kombine edilen cisimlerin yüzey açınımlarını yapmada kullanılanlarla benzerlikler barındırabileceğini ya da barındırmayabileceğini sezme, (4) açınım çizimine kapatma eylem zinciri uygulandığında birleşecek kenar çiftlerinin kombine edilen hangi cismin hangi ayrıtını oluşturacağını zihninde canlandırma gibi yeni şemalar edinmeleri gerekmektedir.

Katılımcılar Cabri3D’deki cisimlerin yüzeyini oluşturan yüz şekillerini incelemeksizin, algılarına dayalı olarak bu yüzleri çizdikleri zaman A2 hatası, cismin yüzeyini açmak için gerekli eylem zincirini uygulamalarına rağmen, komşu iki yüzün,

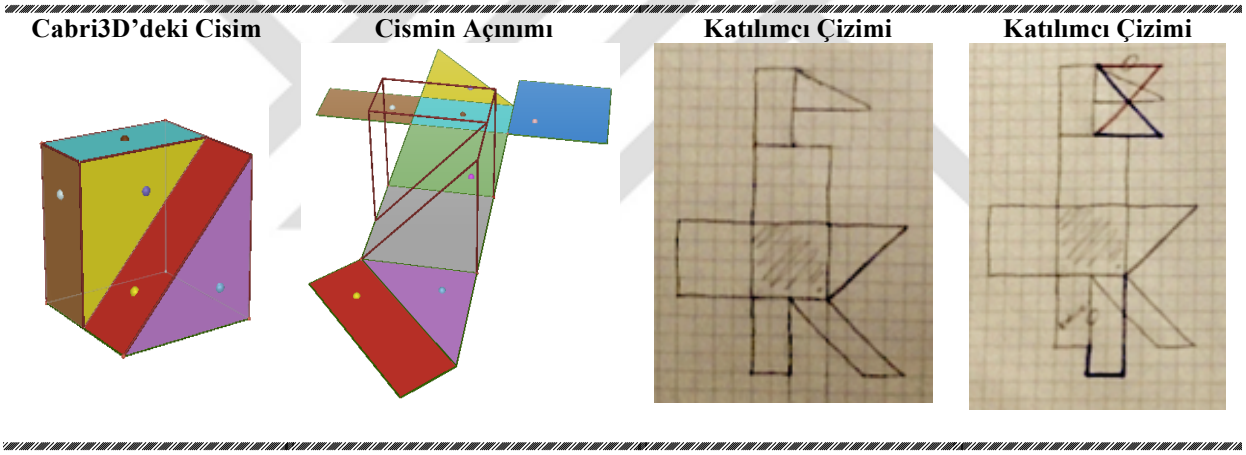
açınım öncesi ve sonrası açı ölçüleri ve kenar uzunlukları arasındaki ilişkiyi göz ardı ettiklerinde ise A3 hatası yaptıkları gözlenmiştir. Özge, dik üçgen dik prizma ve kare prizmanın kombine edilmesi ile oluşan cismin açınımını yaparken, cismin taban düzlemine eğik duran dikdörtgen biçimindeki yüzlerden birini paralelkenar şeklinde çizmiş ve dik üçgen şeklindeki yüzlerden birini açınımında yanlış konumlandırmıştır (Bkz. Şekil 3.26). Özge'nin yaptığı A2 hatasını fark etmesi için Cabri3D'deki cismi çevirerek incelemesi ve cismin yüzlerinin hangi geometrik şekillerden oluştuğunu ifade etmesi istenmiştir:

A: Bir çevir bakalım kendinden tarafa nasıl bir şekilmiş o, incele bakalım nasıl bir şekilmiş (Cabri 3D'deki cismi çevirerek incelemesini istiyor)

Ö: Dikdörtgen dikdörtgen

A: Hıhı sen ne çizdin?

Ö: Ben paralelkenar çizdim



Şekil 3.26. *Açınım Bölümü Üçüncü Öğretim Seansında Özge Örneği-1*

Özge ilk olarak Cabri3D'deki cismi çevirip inceleyerek paralelkenar olarak gördüğü yüzün aslında dikdörtgen şeklinde olduğunu anlamış ve bunun yerine çizdiği dik üçgenin hipotenüsü ile aynı uzunlukta boya sahip bir dikdörtgen yerleştirerek, hatasını düzeltmiştir. Öğretim seansında Özge ayrıca, cismin dik üçgen şeklindeki yüzlerinden birini geometrik özelliklerine dikkat etmeden çizmiş ve onu açınımına yanlış konumlandırmıştır. Seans sırasında Özge dik üçgen şeklindeki yüzü geometrik özelliklerine göre çizmediğini fark edip hatasını düzeltmesine rağmen, aynı şekli dikdörtgen şeklindeki üst yüze konumlandırmada hala sorun yaşadığı gözlenmiştir. Bu durumda katılımcının dış yükünü azaltmak için Cabri3D ile kendi açınımdaki yüzler

arasında bağlantı kurması sağlanmış, etkili yükünü arttırmak için yanlış konumlandırılan yüzün kapatma eylemleri sonrasındaki konumunu zihninde canlandırması istenmiştir:

A: Şimdi kapatınca çizdiğin şu dikdörtgen önünde duran dikdörtgen hangi dikdörtgen Cabri deki

Ö: Şu kahverengi

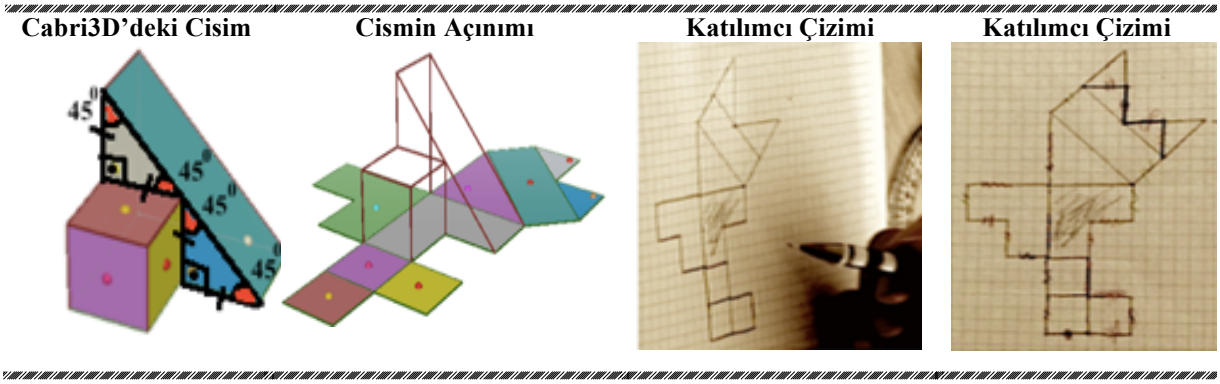
A: Şimdi yukarda çizdiğin üçgen hangisi

Ö: Yeşil (sarı ile yeşil arasında bir renk)

A: Cabri programına bak, orda katlanınca kahverengi ve sarı(yeşil) yüzler birleşiyor değil mi? sen katlayınca birleşir mi seninkiler?

Ö: Bi hata yaptım. Şimdi birleşir (Hatasını düzeltiyor). Şu yüzü ile şu yüzü birleşir (birleşecek kenarları yuvarlak semboller kullanarak etiketliyor).

Öğretim seansı boyunca en fazla hata konumlandırma ve buna bağlı olarak kapanınca birleşecek kenarları ilişkilendirmede yapılmıştır. Pınar küp ve dik üçgen dik prizmanın kombine edilmesi ile oluşan cisimde, iki cismin kesiştiği düzlemde yer alan üçgenleri yanlış konumlandırmıştır (Bkz. Şekil 3.27). Bu şekillerin dikdörtgen şeklindeki yüze açılması ile, dik üçgenlerin hipotenüslerinin dikdörtgenin uzun kenarı ile çakışması gerekmektedir. Pınar kapalı yüzeyde yer alan bu cisimleri dikdörtgen şeklindeki yüze açmayı düşünmesine rağmen, doğru açınım için onların kenar uzunlukları ve açı ölçülerinin nerede olması gerektiğini belirleyememiştir. Yani üçgenlerin açı ve kenarlarının konumlarının açma eylemindeki etkisini göz önünde bulundurmamış ve bu nedenle konumlandırma hatası yapmıştır.



Şekil 3.27. *Açınım Bölümü Üçüncü Öğretim Seansında Pınar Örneği-1*

Öğretim seansında Pınar'ın dış yükünü azaltmak için Cabri3D'deki cisimle yaptığı çizim arasında bağlantı kurması sağlandıktan sonra, etkili yükünü arttırmak için Cabri3D'deki açınım ile kendi açınım çizimini karşılaştırması, hatasının altında yatan nedenleri belirlemesi ve açıklaması istenmiştir. Katılımcının açınım çiziminde komşu iki

yüzün açı ölçüleri ve kenar uzunlukları arasındaki ilişkiyi belirlemesi ve ifade etmesi beklenmektedir. Bu durumla ilgili olarak Pınar ve araştırmacı arasında geçen diyaloglar şu şekildedir:

A: Beyaz üçgenin tepe noktası hangisi? Beyaz üçgenin tepe noktasını belirler misin?

P: Şurası oluyor (Cabri3D'de gösteriyor)…Burası dik açım benim (Cabri3D'de üçgenin dik açısını gösteriyor), ben burayı dik aldım (kendi çiziminde dik açıyı gösteriyor), şurayı dik almam lazımdı (dik olması gereken yukarıda kalan 45 derecelik açıyı gösteriyor), ama bu dikliği nasıl sağlıcam, orta noktasını belirledim (üçgenleri konumlandırdığı dikdörtgenin orta noktasını tekrar işaretliyor)

A: Onlar nasıl üçgenler

P: Bunlar dik açılı üçgenler…şurdaki uzunlukları da eşit (Cabri3D'de eşit uzunlukta olan kenarları gösteriyor), şurası dik (Cabri3D'de dikliği gösteriyor)?…ikizkenar üçgen

A: İkizkenar üçgense ordaki açılar kaçar derecedir?

P: Kırkbeş kırkbeş hıımmm (yanlış konumlandırdığı üçgenleri düzeltiyor).

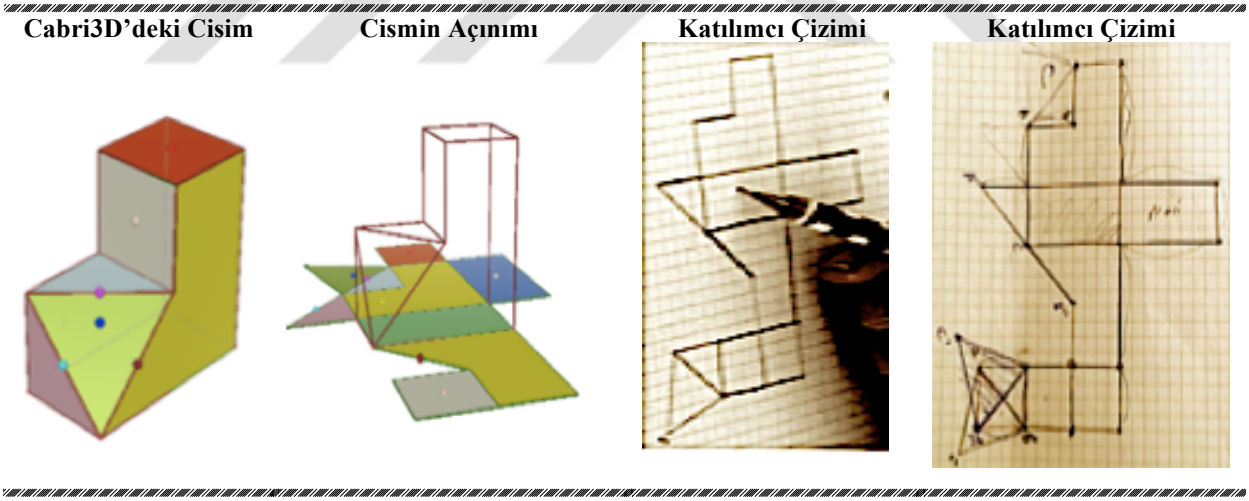
Yapılan yönlendirmelerle Pınar hatalarını farketmiş ve düzeltmiştir.

Katılımcılar kombine cisimleri açarken ya tabanı etrafına önce yan yüzlerini konumlandırma yoluna gitmekte ya da kombine edilen cisimleri (aşina cisimler) açmada kullandıkları eylem zincirlerini birleştirerek açmayı tercih etmektedirler. Öğretim seansında cisimleri açmak için kombine edilen cisimleri açmada kullanılan eylem zincirlerinden farklı bir eylem zincirini uygulayarak cisimleri açmaya çalışan katılımcıların, çizimlerinde konumlandırma hataları yaptıkları gözlenmiştir. Kesik küp ve kare prizmanın birleşiminden oluşan cismi açmak için kesik küpün ve kare prizmanın açınımından yararlanmayan Tuğçe, açınım çizimine iki yüzü hatalı bir şekilde konumlandırmıştır. Katılımcı Şekil 3.28'deki cismi açarken, kesik küpe ait dik üçgen ve eşkenar üçgen biçimindeki yüzleri önce kare prizmanın üst yüzüne açmış, sonra bu yüzleri kesik L şeklindeki yan yüze açmış, daha sonra ise aynı düzlemde bulunan dört yüzü taban düzlemi ile aynı düzleme getirmiştir. Tuğçe açınım için seçtiği eylem zincirinin karmaşıklığından dolayı, dik üçgenlerden biri ile eşkenar üçgen biçimindeki yüzü yanlış konumlandırmıştır. Öğretim seansında katılımcıdan Cabri3D'de verilen cismi açması ve kendi açınımı ile karşılaştırması istenmiştir, böylece onun, doğru ve tutarlı açınım için farklı açınım eylem zincirlerinden haberdar olması sağlanarak dış yükü azaltılmaya, iki açınım arasındaki benzerlik ve farklılıkları anlatması istenerek etkili yükü artırılmaya çalışılmıştır. Bu durumla ilgili olarak katılımcı ve araştırmacı arasında geçen diyaloglar şu şekildedir:

A: Bir karşılaştır bakalım kendi açılımınla

T: Karşılaştırdığımda bir kere şurdaki mavi yüzeyi (Cabri3D'de) burdaki L şeklinin şurasına almış (çiziminde gösteriyor), bense tabanın etrafında bulunan ortak kenardan yola çıkarak açmıştım bunu, şurdaki kenardan, ıı daha sonra, pembe üçgeni farklı yere eklemiş mesela o yine L şeklinin ucuna eklemiş (Cabri3D'de), ben de tabanla ortak kenarından yola çıkarak açmıştım bunu, daha sonra şeyi farklı eklemiş mesela benim kesik L şeklinde dediğim şekil varya, onun ucuna kırmızıyı eklemiştim (kare prizmanın üst yüzeyi), kırmızının ucuna şeyi eklemiştim griyi (kare prizmaya ait kare yüz parçası) eklemiştim ucuna eklememin nedeni de ortak kenarlarının bulunmasıydı şurdaki kenarı ile şurdaki kenarının ortak kenarının olmasıydı bu yüzden ucuna eklemiştim onu daha sonra üçgenleri de bu ortak kenarlardan yola çıkarak bu yüzeye eklemiştim ama orda şey yapmış mesela L yüzeyi ile ortak şeyleri olanları bulmuş (kesik küpü yine kesik küpe ait yüzlere bağlı olarak açmasından bahsediyor) üçgenlerin L şekline odaklanarak çizmiş daha çok benim ek yaptığım yer buralardı kesik L şeklinin bulunduğu yüze üçgenleri açmışken o L yüzeyi üzerinden üçgenleri açmış.

Öğretim seansının devamında araştırmacı katılımcıya cismin yüzeyini farklı bir şekilde açmak istese nasıl açabileceğini sormuştur. Katılımcının cismin yüzeyini açmada kullanabileceği farklı eylem zincirlerini zihninde canlandırabildiği gözlenmiştir. Katılımcıların kendi açınımları ile Cabri3D'deki açınımları karşılaştırmaları, cismin yüzeyinin farklı açınımlarının farkında olmalarını sağlamıştır.



Şekil 3.28. *Açınım Bölümü Üçüncü Öğretim Seansında Tuğçe Örneği-1*

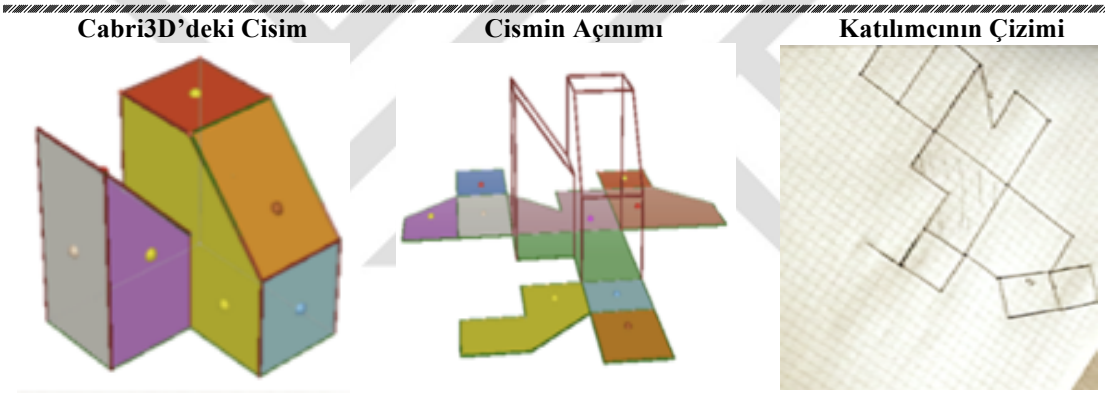
İki cismin iç bükey çokgen oluşturacak biçimde çakıştırılması ile oluşturulmuş kombine cisimlerin yüzey açınımlarını çizmede katılımcıların, iç bükey çokgen şeklindeki yüzü konumlandırmada hatalar yaptıkları gözlenmiştir. Bu tür durumlarda katılımcılardan ya iç bükey çokgen yüzü, komşu yüzüne açıp, konumunu ve görünüşünü incelemeleri ve zihinlerinde bu yüzü taban düzlemine açtıklarında elde edilecek görüntüyü canlandırmaları ya da Cabri3D'deki cismin yüzeyini tamamen açıp, eksik

çizdikleri yüzü açınımlarında nasıl konumlandırabilecekleri ile ilgili muhakemede bulunduktan sonra anlatmaları istenmiştir.

Şekil 3.29'daki dik yamuk ve kesik kare prizma birleşiminin açınımını çizerken iki cismin kesiştiği düzlem üzerinde bulunan iç bükey yedigeni konumlandıramadığını belirten Melis'ten, ifade ettiği yüzü zihninde dönme hareketi uygulayarak açması istenmiştir. Yönlendirmelerden sonra Melis, yüze zihninde dönme hareketi uygulayarak açmayı başarmıştır. Bu durumla ilgili olarak araştırmacı ve Melis arasında geçen diyaloglar şu şekildedir:

A: Onu açmayı dene bakalım…zihninden o şekli çevir bakalım

M: Düşünüyorum, tekrardan 90 derece yere doğru yatırdığım zaman (sonra taban düzlemine aynı yüzü 90 derece çevirerek açmasından bahsediyor)… aşağı doğru açtığımda şurdan şöyle, şöyle, şöyle, şöyle, şurdan da şöyle 2 cm gidicek, şöyle olucak (çizimini tamamlıyor)



Şekil 3.29. *Açınım Bölümü Üçüncü Öğretim Seansında Melis Örneği-1*

Katılımcıların aşina iki cismin (ya da biri aşina diğeri kesik iki cismin) kombine edilmesiyle oluşturulan yeni cisimlerin yüzey açınımlarını doğru bir şekilde yapabilmeleri için hem mevcut şemalarını geliştirebilmeleri hem de yeni şemalar edinmeleri gerekmektedir. Seans ile tüm katılımcıların bu tür cisimlerin yüzey açınımını nasıl yapmaları gerektiğini anladıkları belirlenmiştir. Dördüncü seansa geçişte, katılımcıların uzmanlaşma seviyelerine göre çeşitli görevlerde hiç hata yapmamaları ya da belirtilen hataları tekrarlama sıklarında meydana gelen azalma etkili olmuştur.

3.2.1.4. *Dördüncü öğretim seansı*

Dördüncü öğretim seansında katılımcıların 'üç aşina cismin çakıştırılarak kombine edilmesiyle oluşan cisimlerin', yüzey açınımlarını, cisimdeki yüzlerin geometrik

özelliklerini ve ilişkilerini hesaba katarak cetvel, gönye ve iletki yardımıyla çizmelerini gerektiren etkinlikler üzerinde durulmuştur. Aşina iki cismin açınımında, iki ayrı cisme ait iki farklı eylem zincirinin belirli bir yol içerisinde birleştirilmesi gerekirken, aşina olunan üç cismin kombine edilmesi ile oluşan cisimlerin yüzey açınımlarında üç ayrı cisme ait üç farklı eylem zincirinin belirli bir yol içerisinde birleştirilmesi gerekmektedir. Eğer bir kişi cisimlerin yüzey açınımlarında uzmanlaşmış ise, açınım için farklı stratejiler geliştirebilir örneğin, kombine olunan cismi yan yüzlerden birinin bulunduğu düzlem üzerine diğer yan ve üst yüzleri açtıktan sonra, bu düzlemde bulunan yüzleri taban düzlemi üzerine açabilir ya da açınımında belirli parçaların konumlarında değişiklikler yaparak aynı cisme ait farklı açınımlar elde edebilir. Fakat uzman olmayan bir kişi tabanları aynı düzlemde olucak şekilde kombine edilmiş cisimlerin yüzlerini genellikle kombine cismin taban çevresindeki yüz şekli etrafına açarak gerçekleştirmeye çalışmaktadır.

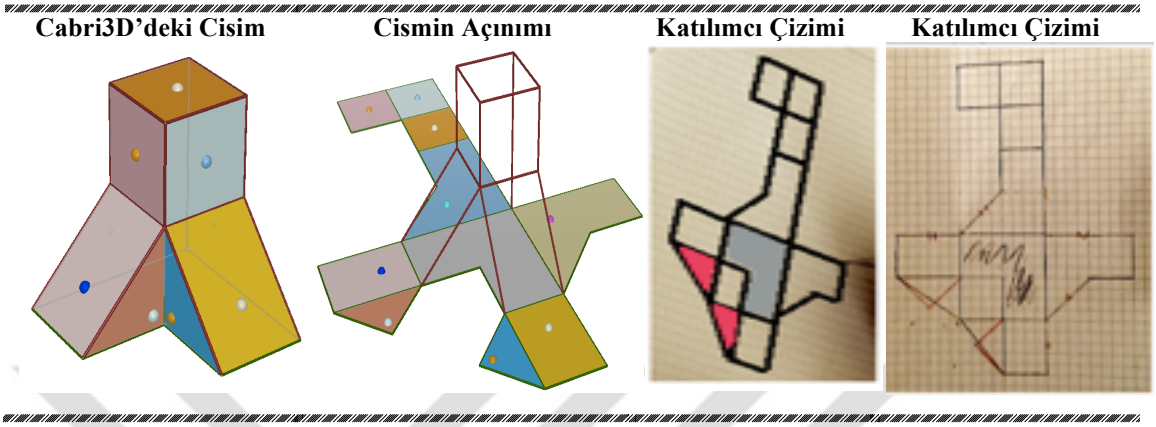
Öğretim seansında katılımcıların genel olarak bir cismin yüzlerini taban düzlemi etrafından başlayarak yaptıkları açınım çizimlerinde hata yapmazken, farklı açma stratejileri uyguladıkları ya da taban düzlemi etrafına açamadıkları bilhassa eğik kenarlara sahip yüzleri konumlandırmada hatalar yapmaya devam ettikleri gözlenmiştir. Katılımcılar cisimlerin açınımı ile ilgili eylem zincirlerini doğru bir şekilde belirlemelerine rağmen, açınımlarında komşu iki yüzün açı ve kenar ilişkilerinden bazılarını göz ardı etmektedirler, bu ise konumlandırma (A3) ve ilişkilendirme (A4) hatalarına neden olmaktadır. Böylesi bir durumda katılımcıların dış yükünü azaltmak için Cabri3D'de yer alan cismi ya konumlandırma hatalarını fark edecek kadar açmalarına ya da ihtiyaç duyuyorlarsa tamamen açmalarına izin verilmiştir. Çünkü eğer Cabri3D'de materyali izin veriyorsa katılımcılar konumlandırma hatası yapılan yüzü, komşu yüze açarak, cismin yüzeyindeki yüz şekilleri arasındaki geometrik ilişkileri fark edebilmektedirler. Ardından onların etkili yükünü arttırmak için Cabri3D'de konumlandırma hatası yapılan yüz ve komşu yüzün açı ve kenar ilişkilerini inceleyip, anlatmaları istenmiştir. Bu durumla ilgili olarak araştırmacı ve Pınar arasında devam eden diyaloglar şu şekildedir:

P: Aynı şekilde, bunu buraya da kaldırabilirim şöyle (Cabri3D'de gösteriyor)

A: Kaldırdığın zaman nasıl durar üçgenin

P: Şurası 90, 45 45 olur ikizkenar üçgen olur, şurları 45 alıp şöyle çizicem (nasıl düzeltmesi gerektiğini gösteriyor. Bkz. Şekil 3.30)

Katılımcı Cabri3D'deki diküçgen şeklindeki yüzü dikdörtgen şeklindeki komşu yüze açarak, iki yüzün birbirine göre konumlarını gözlemleme imkânı bulmuştur. Böylece açınım çizimini Şekil 3.30 daki gibi düzeltmiştir.



Şekil 3.30. *Açınım Bölümü Dördüncü Öğretim Seansında Pınar Örneği-1*

Dört öğretim seansı göz önünde bulundurulduğunda katılımcıların en çok, açınımlarına kapatma eylem zincirini uyguladıklarında hangi kenar ya da kenar parçalarının birbiri ile birleşeceğini belirlemede zorlandıkları gözlenmiştir. Katılımcılar bir cismin yüzeyine ait doğru açınım çizimlerini yapabilseler de, ürettikleri 2B'li açınım örüntüsünün nasıl kapanacağını belirleyememektedirler. Onların Cabri3D'deki cismin renkli yüz şekillerinden, açınımlarının kapanması için hangi kenar çiftlerinin birleşmesi gerektiğini belirlemesi, açınımlarının kapanışını zihinlerinde canlandırabildikleri anlamına gelmemektedir. Öğretim seansında Özge dik yamuk prizma, kare prizma ve küp birleşiminden oluşan cismin yüzey açınımını yapan Özge (Bkz. Şekil 3.31), çizdiği 2B'li açınımının kapanması için birleşmesi gereken kenarları zihninde canlandıramamakta bu nedenle sık sık Cabri3D'ye başvurmaktadır.

İlgili etkinliklerde Özge Cabri3D'de renkli yüzler ve onların birleşim yeri olan ayrıtlar ve çizimi arasında eşleştirme yaparak hangi kenar çiftlerinin birleşmesi gerektiğini belirtmektedir. Bu katılımcının dış yükünü azaltmasında etkili olsa da, onun kapatma eylem zinciri sonucu birleşecek kenar çiftlerini zihninde canlandırmasına izin vermemekte, yani etkili yükünde bir artış meydana getirmemektedir. Bu durumda katılımcının açınımını Cabri3D'den bağımsız olarak zihninde kapatması istenmiştir. Bu durumla ilgili olarak Özge ve araştırmacı arasında geçen diyaloglar şu şekildedir:

A: O yeşilli olan kenar hangi kenarla birleşecek (Özge'nin kağıdında yeşil renkle etiketlediği kenar)?

Ö: O yeşil kısım, neyle birleşmesi gerekiyor? pembeyle (Cabri3D'deki pembe yüz, bkz, şekil 3.31)

A: Burdaki pembeyle mi (kâğıtta önceden etiketlediği ve eşleştirdiği pembe kenarın birinden bahsediyor)?

Ö: Pembe dediğim o pembe değil hocam (Cabri3D'deki pembe yüzden bahsediyor, bkz, şekil 3.31)

A: Yine sen Cabriye gittin

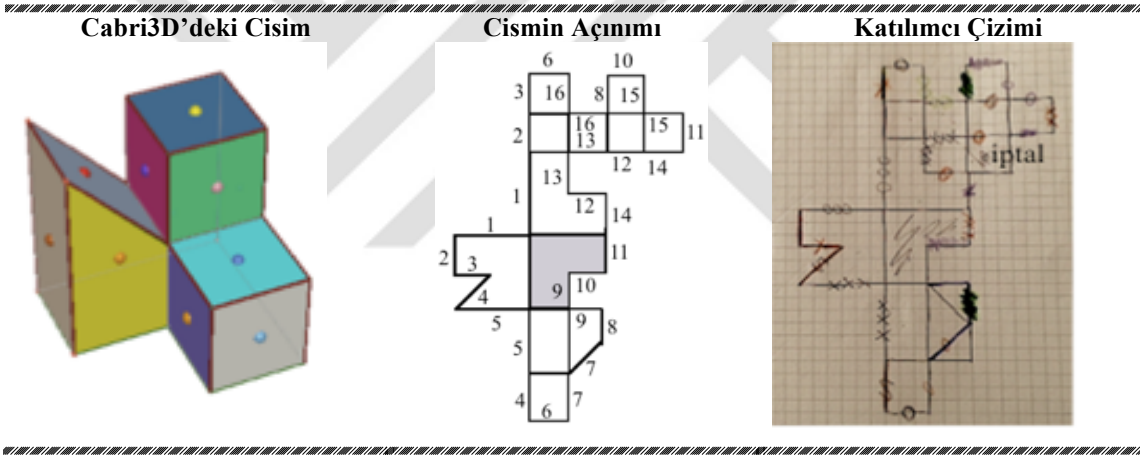
Ö: Evet

A: Orayı düşünmeden kendi şeklinin içerisinde düşünsen, sadece.

Ö: Ama ben görüp hayal ediyorum ki.

A: İşte ordan bağımsız olarak hareket ettiğini düşünsen, kendi şeklinde hareket etsen. Sen hep o şekilde mi hayal ediyorsun? Cabri programla o kenarların hangisinin hangisi olduğunu mu hayal ediyorsun?

Ö: Birazcık, galiba, evet. Birazcık değil, direkt öyle.



Şekil 3.31. *Açınım Bölümü Dördüncü Öğretim Seansında Özge Örneği-1*

Öğretim seansında açınım çizimlerinde zorlanmayan katılımcılardan, cismin farklı bir yüzey açınımını yapması istenmiştir. Şekil 3.32'de Tuğçe'nin üç aşina olunan cismin kombine edilmesi ile oluşan cisimle ilgili açınımları yer almaktadır. Tuğçe'nin diğer öğretim seanslarındaki çizimlerinde açınım çizimlerini tabanın etrafına diğer yan yüzleri yerleştirerek daha acemi bir yol içerisinde gerçekleştirdiği fakat burada ise farklı açınım stratejilerine başvurduğu gözlenmiştir. Bu durumla ilgili araştırmacı ve Tuğçe arasında geçen diyaloglar şu şekildedir:

(Birinci Açınım Çizimi)

A: Tabanın hangisi?

T: Tabanım şurdaki L şekli, …çizerken tabanla ortak bir tane yüzey aldım (tabana komşu diğer L yüzünden bahsediyor), bu yüzeyin etrafından çizerek başladım bu sefer, (bir yamuk, bir iç bükey altıgen, altı kare ve bir dikdörtgen yüzden bahsediyor) diğerlerinden farklı yani

A: Nasıl yaptın bi defa daha anlatırmısın?

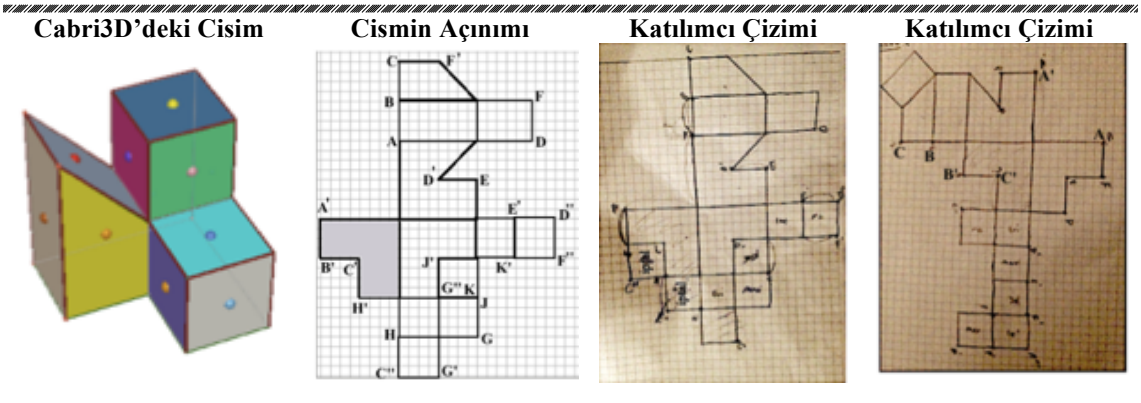
T: Hımm tekrar anlatim, bu taban ya, tabanın hep etrafından başlıyordum ya çizmeye bu sefer, tek bir ortak olan kenardan başlayarak çizdim…(devamında açınımını nasıl kapatacağını anlatıyor)

Öğretim seansında Tuğçe aynı cismin yan ve üst yüzlerini önce tabana komşu L şeklindeki yüzle aynı düzleme gelicek şekilde açtıktan sonra, L şeklindeki yüz düzlemindeki tüm yüzleri taban düzlemine açtığı gözlenmiştir. Fakat ikinci açınım çiziminde yan ve üst yüzlerden bazılarını önce iç bükey yedigen şeklindeki yüze bazılarını ise kare şeklindeki bir yüze açtığı görülmektedir. Tuğçe'nin yaptığı iki farklı açınım çizimi Şekil 3.32'de yer almaktadır. İkinci açınım örüntüsünün kapanışı ile ilgili olarak araştırmacı ile arasında geçen diyaloglar şu şekildedir:

(İkinci Açınım Çizimi)

A: Kapatmak istesen nasıl kapatırsın?

T: Nasıl kapatırım, L şeklim şöyle taban kabul edelim, ıı napardım, bunu şöyle dik getirirdim (L yüzü), şurdaki uç noktalar çakışacaktır, bunu da dik getirdiğimde (içinden dik üçgen çıkarılmış kare biçimindeki iç bükey altıgen şekil), kenar uzunlukları ve taban dik konumda olduğundan dolayı, şurdaki A noktası ile A' noktası çakışacaktır (iki köşeyi sırayla A ve A' olarak etiketliyor), daha sonra, şurdaki B noktası ile şurdaki B' noktası çakışacaktır (iki köşeyi sırayla B ve B' olarak etiketliyor), bunlar çakışacaktır 90 derece çevirdiğimde, ondan sonra şurdaki C noktası ile C' noktası 90 derece döndürdüğümde, içeri doğru döndürdüğümde şunlar çakışacaktır, böylelikler buranın etrafı kapanmış oldu (yamuk prizmayı oluşturan yere atıfta bulunuyor ve devam ediyor)



Şekil 3.32. *Açınım Bölümü Dördüncü Öğretim Seansında Tuğçe Örneği-1*

Öğretim seansında Tuğçe ve Melis'in açınım çizimlerini kapatmak için birleşmesi gereken kenar çiftlerini belirleyebildikleri, hatta Tuğçe'nin çizdiği 2B'lu açınım

örüntüsünde kapanınca bir araya gelecek köşe noktalarını doğru bir şekilde etiketlediği gözlenmiştir. Oysa Pınar ve Özge doğru açınım örüntüsü elde ettikleri çizimlerde bile açınımlarını kapatmak için birleşmesi gereken kenar çiftlerini belirlemede zorlanmaktadırlar. Tuğçe açınımındaki bir köşeyi büyük bir harfle etiketledikten sonra kapanınca aynı köşede bulunacak başka bir köşeyi aynı harfin üzerine tire işareti yerleştirerek doğru bir şekilde etiketlemiştir. Katılımcının açınım kapanınca bir araya gelecek köşe noktalarını doğru bir şekilde belirleyebilmesi, onun kapanma süreci, kapanınca birleşecek kenar çiftleri ve köşe noktalarını tespit edebildiğini göstermektedir, ki bu Tuğçe'nin cismin yüzeylerini açma-kapama eylemlerinde uzmanlaştığı şeklinde yorumlanabilir.

Seansta açınım görevlerinde uzmanlaşan katılımcıların kombine cisimlerin farklı yüzey açınımını yapabildikleri ve kapanma sürecinde bir araya gelecek kenar çiftlerinin çoğunu ya da hepsini belirleyebildikleri hatta daha üst düzey çıkarımlarda bulunabildikleri belirlenmiştir. Görevlerde daha acemi olanların, açınımlarında belirli hata profillerini nispeten düşük oranda da olsa tekrarlamaya devam ettikleri ve kapanma süreci ile birleşecek kenar çiftlerini belirlemede zorlandıkları gözlenmiştir. Katılımcı şema gelişimleri ve kazanımları göz önünde bulundurularak açınım seanslarının tamamlanmasına karar verilmiştir.

3.2.2. BYT'ye dayalı döndürme bölümü öğretim seansları

Öğretim seansları öncesi katılımcıların dönme bölümündeki bilişsel yüklerini ölçmek için, onlara zorluk derecesi aşamalı olarak artan sorular sorulmuştur. İki kategoriden oluşan sorularda katılımcıların bir cisme uygulanan dönme hareketlerinin hangi eksen, yön ve açı ölçüsüne göre gerçekleştirildiğini belirlemeleri ve analitik olarak ifade etmeleri ya da başka bir cisme bu dönme hareketlerini kendilerine sunulan eksen, yön ve açıda gerçekleştirmeleri gerekmektedir. Öğretim seansları öncesinde katılımcıların her birinin bu tür soruların her birini yüzde kaç oranında doğru cevaplandırdıkları ve bu soruların her birinde yüzde kaç oranında eksen ve açı belirleme hatası (sırayla D1 ve D2) yaptıkları hesaplanmıştır. Ayrıca onlara bu soruların her birini ne derece zor bulduklarını derecelendirmeleri istenmiştir. Buradan elde edilen verilerle katılımcıların bilişsel yükleri ölçülmüştür. Ön klinik görüşmelerde ayrıca katılımcılardan soruları nasıl yaptıklarını, hangi soruların kendilerini daha zor geldiğini, nerelerde zorlandıklarını ve benzeri durumları anlatmaları istenmiştir. Böylece hata oranlarında ve

soruların algılanan zorluk derecesinde artışta etkili olan dönme hareketleri ile ilgili kavramsal şema eksikleri belirlenmeye çalışılmıştır. Böylece öğretim seanslarında katılımcıların dönme hareketi ile ilgili görevleri doğru bir şekilde yapmaları için gerekli şemaları kazanmalarına yönelik etkinliklere yer verilmiştir.

Ön görüşmelerde katılımcıların tek eksende döndürülmüş bir cismin hangi eksen, yön ve açı ölçüsüne göre döndürüldüğünü belirlemede çok miktarda D1 ve D2 hataları yaptıkları gözlenmiştir. Kategorilere göre öğrenci hata oranlarının dağılımı incelendiğinde, dört dönme hareketini içeren ikinci kategorideki döndürme görevlerindeki katılımcı hata oranlarının, diğer görevlerdeki hata oranlarından oldukça yüksek olduğu belirlenmiştir. Görevlerin katılımcılar tarafından algılanan ortalama zorluğu incelendiğinde ise birinci kategori görevlerin ikinci kategori görevlerden daha kolay bulunduğu söylenebilir. Öğretim seansları katılımcıların D1 ve D2 hata oranlarında ve soruların algılanan zorluğunda azalma meydana getirecek biçimde, onların asıl, konu dışı ve etkili yükleri göz önünde bulundurularak tasarlanmıştır. Döndürme bölümü öğretim seansları ve takip edilen etkinlikler, katılımcı örnek görüşme kesitleri ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

3.2.2.1. *Birinci öğretim seansı*

İlk öğretim seansı boyunca katılımcıların iç bilişsel yüklerini belirli bir seviyede tutmak için, onların önce 'Cabri3D'de kendilerine sunulan bir cismi belirli bir eksen (x, y ya da z), yön (saat yönü ya da tersi) ve açı ölçüsüne (90, 180 ya da 270) göre zihinlerinde döndürmeleri ve elde ettikleri görüntüyü tarif etmelerini gerektiren etkinlikleri', sonra 'kendilerine Cabri3D'de bir cisim ve onun tek eksen etrafında döndürülmüş görüntüsü sunulduğunda, bu cismin hangi eksen, yön ve açı ölçüsüne göre döndürüldüğünü analitik olarak ifade etmelerini gerektiren etkinlikleri' yapmaları sağlanmıştır.

Öğretim seansı başında ilk olarak katılımcılardan belirli 3B'li bir cismi zihinlerinde x ekseni etrafında, önce saat yönünde 90, sonra sırayla 180 ve 270 derece döndürdükten sonra elde edilecek görüntüleri tarif etmeleri istenmiştir. Fakat seans sırasında katılımcıların belirtilen eksende cismi döndüremedikleri görülmüştür. Onların dış yüklerini azaltmak için Cabri3D'deki sanal manipülatifleri sarı renkli buton yardımı ile mouse'ı kullanarak hareket ettirmeleri, etkili yüklerini artırmak için ise bu hareket sırasında cisimde ne tür değişiklikler meydana geldiğini anlatmaları istenmiştir.

Katılımcıların ön klinik görüşmelerde yüksek oranda D1 hatası yapması, dönme ekseni ile ilgili kavram şemalarının eksikliği ile açıklanabilir. Oysa bu soruların doğru cevaplandırılabilmesi için, katılımcıların, verilen 3B'li cismi kendilerinden istenilen x, y ya da z ekseni etrafında zihinlerinde döndürebilmesi ve elde edilecek görüntüleri zihinlerinde canlandırabilmeleri gerekmektedir. Katılımcıların dönme eksenleri ile ilgili dış yüklerini azaltmak için Cabri3D'deki materyallerde eksenler etiketlenmiş, döndürülme eyleminin gerçekleştirileceği eksen diğerlerinden daha kalın yapılmış ve farklı renkte boyanmıştır. Fakat seans sırasında katılımcılardan Şekil 3.33'deki cismi zihinlerinde x ekseni etrafında saat yönünde 90 derece döndürmeleri istendiğinde, cismi hangi eksen etrafında döndüreceklerini yine belirleyemedikleri gözlenmiştir. Bu duruma örnek olarak Melis ve araştırmacı arasında geçen diyalog verilebilir:

M: Hocam x i bura mı almış,

A: Evet x mavi olan eksen

M: x ekseninde 90 derece döndürdüğümde yani bu gördüğüm kesikli yüzün üzerinde durur (Cabri3D'de cismin ön yüzünü gösteriyor)..bu büyük yüz hani böyle (cismin ön yüzünden bahsediyor) şu an gördüğümüz (Bkz. Şekil 3.33)

A: x ekseninde saat yönünde 90 derece döndürüyoruz dimi

M: Saat yönünde o zaman arkaya mı gidicek…arkaya doğru mu dönücek anlamadım yani… arka yüz varya şu an göremediğimiz onun üzerinde mi yatıcak

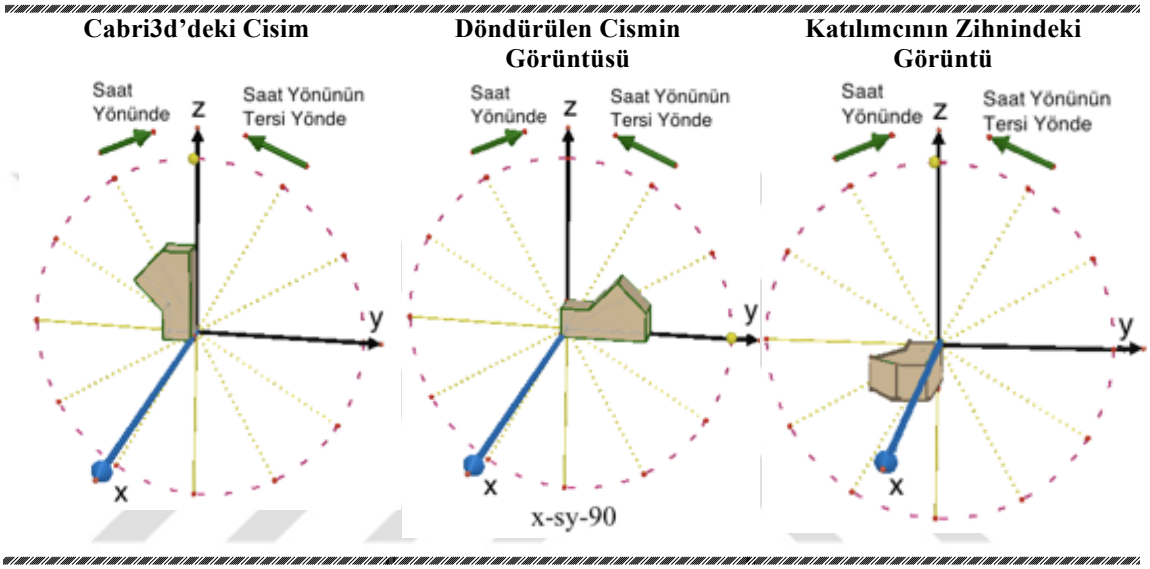
Melis'ten cismi x ekseni etrafında döndürmesi istense de o, cismi Cabri3D'de etiketlenen y ekseni etrafında çevirdiğinde elde edilecek görüntüden bahsetmiştir. Yani dönme ekseninin diğer eksenlerden kalın yapılması ve kullanılan etiketler, dış yükün azaltılmasında etkili olmamıştır. Katılımcının bu görevin gereklerini yerine getirebilmesi için, dönme ekseninin ne olduğu ile ilgili kavramsal şemasının gelişmiş olması gerekmektedir.

Dönme eksenlerinin diğer eksenlerden ayırt edici bir şekilde yapılması ya da eksen etiketlerinin işe yaramadığı durumlarda katılımcıların dış yükünü azaltmak için materyaldeki sarı butonu Mouse ile çekip cismi hareket ettirmeleri istenmiştir. Sarı buton çekilince cisim kendilerinden istenen eksen etrafında hareket etmeye başlamıştır. Cisim kendilerinden istenen eksen etrafında dönmesine rağmen, onun hangi eksen etrafında döndürüldüğünü anlayamayan katılımcılara cismin hangi eksen etrafında döndüğü sözlü olarak belirtilmiştir. Katılımcıların etkili yükünü artırmak için dönme hareketiyle cismin görüntüsünde ne tür değişiklikler olduğunu anlatmaları istenmiştir. Katılımcıların cismin 'hangi eksen etrafında döndüğü, nasıl döndüğü, dönme hareketi ile cismin görüntüsünde

meydana gelen değişiklikler ve dönme hareketi ile cismin hangi eksene uzaklığının sabit kaldığı' ve benzeri durumlara odaklanmaları sağlanarak, dönme ekseni ile ilgili şema eksiklerini gidermeleri sağlanmıştır. Örneğin, Melis'in Şekil 3.33'deki cismin x ekseni etrafında döndürüldüğünü anlaması için yapılan yönlendirme ve katılımcı cevabı şu şekildedir:

A: Cisim ne etrafında dönüyor şu an, ne sabit?

M: Tamam, şey sabit x, anladım.



Şekil 3.33. *Döndürme Bölümü Birinci Öğretim Seansı Melis Örneği-1*

Ön klinik görüşmelerde katılımcıların dönme açısını belirleme hatalarının da oldukça yüksek olduğu belirlenmiştir. Öğretim seansı sırasında katılımcıların dış yükünü azaltmak için onlardan Cabri3D materyallerinde yer alan dönme yön etiketlerini ve oklarını takip etmeleri istenmiştir. Dönme açı ölçülerini ise Cabri3D materyallerinde dönme eksenine dik konumda bulanan düzlem üzerinde yer alan 30'ar derecelik daire dilimlerinden yararlanarak belirlemeleri istenmiştir. Her ne kadar Cabri3D materyalleri üzerinde dönme yön ve açıları ile ilgili dış yükü azaltan birçok görsel ipucu bulunsa da, katılımcıların seanslarda Cabri3D deki görsel ipuçlarını incelemeksizin dönme yön ve açısını ifade etme girişiminde oldukları gözlenmiştir.

Pınar'dan Cabri3D'de yer alan cismi (Bkz. Şekil 3.34) y ekseni etrafında saat yönünde 90 derece döndürmesi istendiğinde, onun cismin dönme eksenini belirleyebildiği fakat dönme yönünü belirleyemediği gözlenmiştir:

A: Bi döndür istiyorsan, şimdi saat yönünde mi döndürüyorsun tersi yönde mi döndürüyorsun?

P: Saat yönünde değil mi? (Saat yönü tersinde cismi çeviriyor)

A: Oku bakalım o okları, ne diyo?

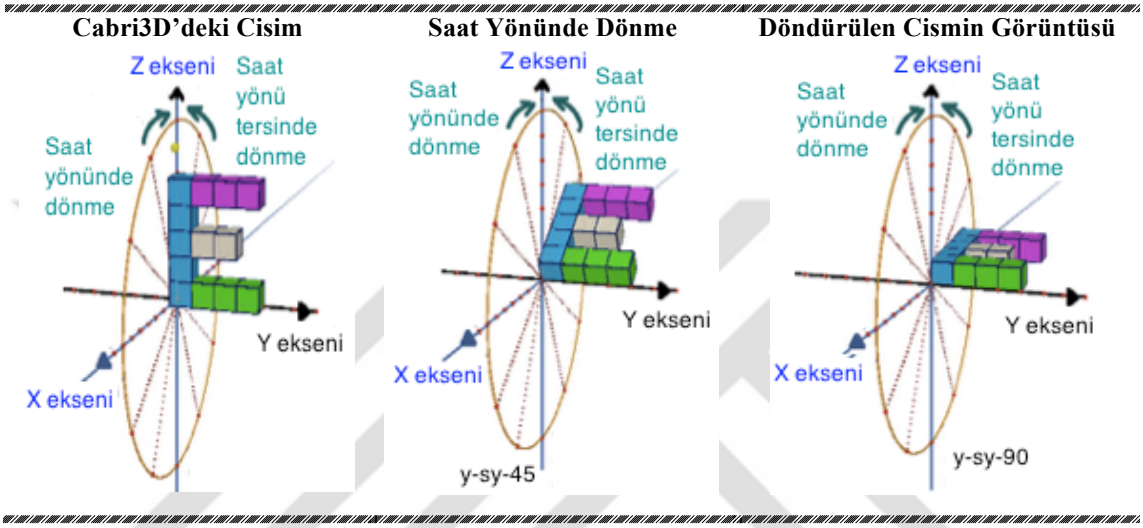
P: Saat yönünün tersi yönde dönme diyor (dönme yönünü değiştiriyor)

A: Bu?

P: Saat yönünde dönme diyor

A: Sen hangi yönde çevireceksin

P: Saat yönünde çeviricem



Şekil 3.34. *Döndürme Bölümü Birinci Öğretim Seansı Pınar Örneği-1*

Öğretim seansında katılımcıdan cismi y-ekseni etrafında saat yönünde 90 derece döndürdükten sonra, istenen hareketin cismin duruşunda nasıl bir değişiklik meydana getirdiğini tarif etmesi istenerek etkili yükü artırılmaya çalışılmıştır. Örneğin, cisim dikey konumdan yatay konuma geldi, cismin alt kısmındaki üç yeşil küp ve üst kısmındaki üç pembe küp dönme sonunda sırayla cismin ön ve arka kısmını oluşturdular gibi.

Öğretim seansının başlangıcında kullanılan materyallerde katılımcıların dış yükünü azaltmak için birçok görsel ipucu bulundurulmuştur. Öğretim seansının devamında, katılımcıların hem eksen, yön ve açı ölçüsü ile ilgili şemaları edindikleri hem de görsel ipuçlarının katılımcılar için gereksiz olduğu ve onlarda dış yük meydana getireceği düşünülerek, devam eden aktivitelerde kullanılan Cabri3D materyallerinde dönme eksenleri birbiri ile aynı büyüklükte yapılırken, yön ve açı ölçüsü ile ilgili ipuçları tamamen ortadan kaldırılmıştır.

Öğretim seansı sırasında katılımcılardan Şekil 3.35'de yer alan cismi z-ekseni etrafında saat yönünde 270 derece döndürdükten sonra elde edecekleri görüntüleri

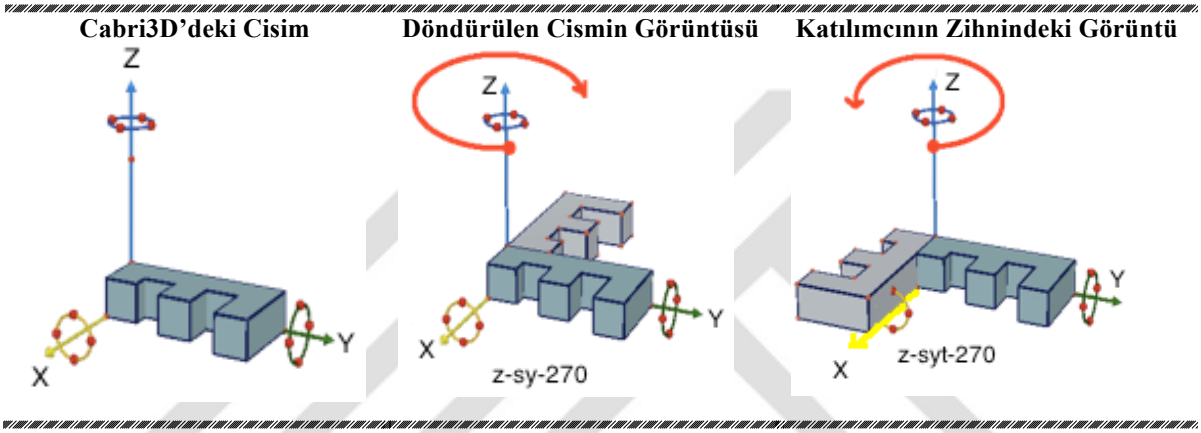
anlatmaları istendiğinde, Melis'in saat yönü ve tersi yönü birbiri ile karıştırdığı gözlenmiştir:

A: z ekseninde saat yönü 270 derece, nasıl döndürürsün (Bkz. Şekil 3.35)?

M: …Şey olmazmıydı, şu yüz bana doğru gelirdi (cismin sağ yüzü), cisim şu tarafa doğru yönelirdi, şu fazlalık kısımları bu tarafa doğru (E harfinin taraklarının sola bakacağını gösteriyor), ve şu daha önde (sağ yüzüne eli ile dokunuyor), uzun olan kısım önde (sağ yüz), arkada kısa olan kısım var, böyle olucaktır.

A: Nasıl çeviriyorsun?

M: z ekseninde şöyle çevirdim arkadan öne doğru böyle...saat yönü böyle olmuyor mu?



Şekil 3.35. *Döndürme Bölümü Birinci Öğretim Seansı Melis Örneği-2*

Öğretim seansında katılımcılar yön ve açılarını birbiri ile karıştırdıkları zaman, iki farklı yol takip edilebilmiştir. Bunlar, (1) ilk öğretme materyallerine geri dönülerek dış yükü azaltmaya çalışma, (2) aynı materyalde cisme belirtilen eksen tarafındaki yönden baktıklarını düşünerek saat yönü ve tersi yönü zihinlerinde canlandırmalarını isteyerek, etkili yüklerini artırmaya çalışma.

Öğretim seansının ikinci bölümünde katılımcıların iç yükünü artırmak için onlara bir cisim ve onun tek eksende döndürülmüş görüntüsü sunulmuştur. Onlardan kendilerine sunulan cismin hangi eksen, yön ve açı ölçüsüne göre döndürüldüğünde, görüntünün elde edileceğini analitik bir yol içerisinde ifade etmeleri istenmiştir. Ön görüşmelerdeki bu tür sorularda çok sayıda D1 ve D2 hatası yapan katılımcıların, öğretim seansında benzer hatalar yapmaya devam ettikleri gözlenmiştir. Katılımcılara Şekil 3.36'da z-ekseni etrafında saat yönünde 180 döndürülmüş cisim sunulduğunda, Tuğçe cismin dönme açısını ve ona bağlı olarak dönme yönünü yanlış bir şekilde ifade etmiştir.

T: z ekseninde döndürüyorum ben bunu, z ekseninde 270 derece döndürdüğüm anlamına geliyor bu uzunluk sıralaması bunun şu uç noktalarının

A: Bu 270 derece mi çevrilmiştir?

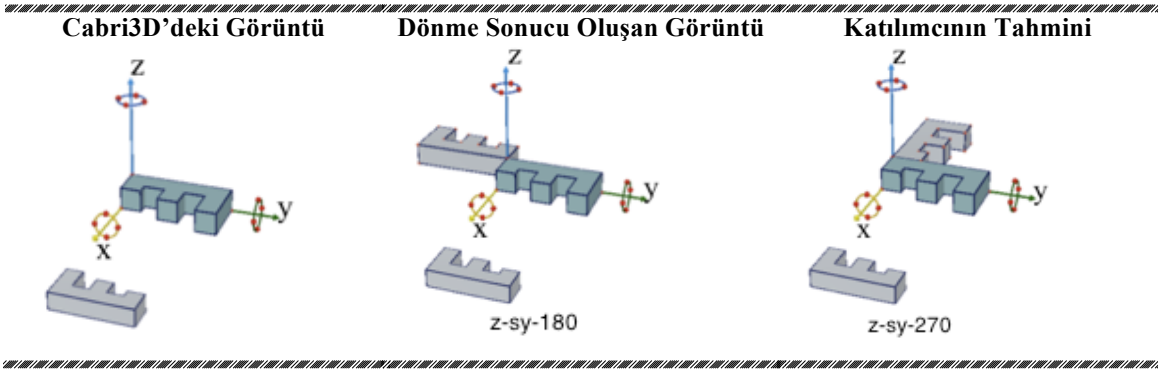
T: Saat yönünün etrafında z de 270.

Katılımcılar bu görev türlerinde hatalar yaptıkları zaman, onların materyalden kaynaklanan dış yüklerini azaltmak için Cabri3D'de yer alan cismi ifade ettikleri şekilde döndürmeleri, etkili yüklerini artırmak için Cabri3D'de sunulan görüntüyü verecek dönme hareketini zihinlerinde tekrar canlandırdıktan sonra tahminlerini sözlü olarak ifade etmeleri istenmiştir. Katılımcılar dönme hareketini doğru bir şekilde ifade ettikten sonra, onlardan görüntüyü üreten dönme hareketinin cisimde ne tür bir değişiklik yarattığını sözlü olarak ifade etmeleri istenmiştir. Şekil 3.36'daki görüntü ile ilgili olarak Tuğçe ve araştırmacı arasında geçen diyaloglar şu şekildedir:

T: Şimdi böyle ya ondan sonra şöyle (eliyle 90 derecelik bir dönme hareketi yapıyor) ve şöyle çevirdim (eliyle yaptığı hareketi 180'e tamamlıyor) bu 180 derece, …z ekseninde saat yönünde 180 derece döndürülmüş hali, 90 değil

A: Nasıl belirledin?

T: Uçların sıralamasına göre 180 derece, uzundan kısaya doğru gitmiş ya,… burda uçların yönleri yani, uçların kısalık uzunluğuna göre yani kaç derece döndüğünü tahmin ettim.



Şekil 3.36. *Döndürme Bölümü Birinci Öğretim Seansı Tuğçe Örneği-1*

Seans sırasında katılımcıların belirli bir eksende saat yönünde ve saat yönünün tersi yönde 90, 180 ve 270 derecelik dönme hareketleri sonucu elde edilen görüntülerin eş olduğunu belirleyebildikleri gözlenmiştir. Bu durumla ilgili olarak araştırmacı ve Tuğçe arasında geçen diyaloglar şu şekildedir:

A: Şimdi bu ilk cisim bu konumdayken Tuğçe saat yönünün tersi 90 derece döndürseydik y ekseninde

T: Saat yönünün tersinde 90 derece döndürdüğümüzde 270'e denk gelicekti çünkü taban değişecekti döndürme olduğundan dolayı, taban değişicek, uç noktalar değişicek uç noktalar falan hep artı x yönüne bakıcak, artı x yönüne bakan yön de saat yönünde çevirdiğimizde 270 dereceye denk geliyor (saat yönünde 270 derece olan dönme hareketi ile ilgili çizimini gösteriyor)

Ön görüşmelerde ve öğretim seansının başında katılımcıların dönme hareketlerini tarif ederken ya günlük konuşma dilini kullandıkları ya da ekran üzerinde cismin parçalarına işaret ederek anlatımlarını gerçekleştirdikleri gözlenmiştir. Örneğin bir nesnenin x ekseninde 180 derece saat yönünde döndürülmesi ile oluşan görüntüsünü Melis, *'şimdi şey olucak tepe taklak olucak'*, Pınar, *'aşağıya inicek'* biçiminde anlatmışlardır. Katılıcıların anlatımlarını ekranda yer alan Cabri3D'deki cisimlerin yüz ve yüz parçalarına dokunarak gerçekleştirmeleri ve günlük konuşma dilini kullanmaları anlatılanların anlaşılırlığını engellemektedir. Araştırmacı bu durumun üstesinden gelmek için öğretim seansları boyunca anlamlı, anlaşılır ve geometrik bir dil kullanımını sağlamak için katılımcıları yönlendirmiştir. Örneğin, Cabri3D'deki cismin başlangıçtaki yüzlerin konumları ile döndürüldükten sonraki konumları arasındaki ilişkilere odaklanma, anlatımlarda sağ-sol ve yukarı-aşağı gibi yön ifadelerini kullanma gibi. Öğretim seansının sonlarında katılımcıların anlatımlarında önemli miktarda ilerleme kaydettikleri belirlenmiştir. Buna örnek olarak öğretim seansı sonlarında araştırmacı ve Pınar arasında geçen diyaloglardan birini verebiliriz:

A: Bu cismi z ekseninde saat yönünde 90 derece çevirirsek, nasıl bir görüntü elde ederiz?

P: Şurayı görürüm (ekranda cismin sağ tarafındaki yüzüne dokunuyor) üstündede şunu görürüm (küçük prizmanın sağ tarafındaki yüzünü gösteriyor), ön yüzüm burası olur

A: Sağ yüzün neresi olur?

P: Sağ yüzüm ön yüzüm olur, şu sol yüzüm arkaya gelir, ön yüzüm sola gelir, arka yüzüm de sağa gelir

Birinci döndürme öğretim seansında katılımcılar dönme eksen, yön ve açısı ile ilgili yeni şemalar edinmişler ve tek dönme hareketini içeren görevlerde edindikleri şemaları doğru bir şekilde kullanabilmişlerdir. Katılımcı kazanımları göz önünde bulundurularak ikinci seanstaki etkinliklerin karmaşıklık derecesi düşük oranda da olsa artırılmıştır.

3.2.2.2. *İkinci öğretim seansı*

İkinci öğretim seansı kapsamında katılımcılara, 3B'li bir cisim ve onun tek eksen boyunca döndürülmüş görüntüsü sunulmuş, onlardan başka 3B'li bir cisme aynı dönme hareketini uyguladıklarında elde edilecek görüntüyü zihinlerinde canlandırmaları ve tarif etmeleri istenmiştir.

Cabri3D'de bir cisim ve onun tek eksen boyunca döndürülmüş görüntüsü verildiğinde, başka bir cismi bu harekete göre döndürme etkinlikleri iki aşamadan oluşmaktadır: (1) İlk cismin dönme hareketinin belirlenmesi, (2) Belirlenen dönme hareketinin ikinci cisme uygulanması. Ön görüşmeler ve öğretim seansı boyunca katılımların bu etkinliklerin birinci ve ikinci aşamasında D1 ve D2 hataları yaptıkları gözlenmiştir. Öğretim seansında katılımcıların dış yüklerini azaltmak için Cabri3D materyallerini aşağıdaki durumlarda kullanmalarına izin verilmiştir: (1) Birinci cisme nasıl bir dönme hareketi uygulandığını tahmin etmede zorlandıklarında, (2) Zihinlerinde birinci cismin nasıl hareket ettiğini canlandırmalarına rağmen bu harekete karşılık gelen sözlü analitik ifadeyi bulmada zorlandıklarında (3) Birinci cismin dönme hareketine karşılık olarak belirledikleri sözlü ve yazılı analitik ifadenin doğruluğunu kontrol etmede, (4) ikinci cisme aynı dönme hareketini uygulamada zorluk yaşıyorlarsa ya da oluşacak görüntüyü zihinlerinde canlandıramıyorlarsa, (5) ikinci cisme aynı dönme hareketini uygulamaları sonucunda elde edilecek görüntüyü, ikinci cismin ilk görünüm ve konumuna göre anlamlı bir yol içerisinde anlatamıyorlarsa ya da (6) ikinci cismin dönme hareketi sonrasındaki görüntüsüne karşılık gelen sözlü anlatımlarının doğruluğunu test etmek için.

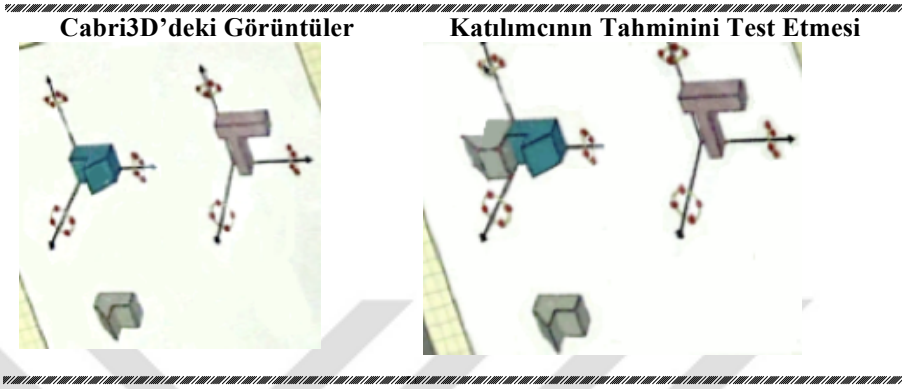
Öğretim seansı sırasında katılımcıların etkili yüklerini artırmak için onlardan, Cabri3D'de sunulan birinci cismin nasıl döndürüldüğünü zihinlerinde canlandırmaları, dönme hareketinin nasıl gerçekleştiğini anlatmaları, analitik olarak ifade etmeleri (örneğin, x ekseni etrafında saat yönünde 90 derece) ve yazmaları istendiğinde, onların bazı görevlerde cismin dönme eksen, yön ve açısını belirlemede hatalar yaptıkları gözlenmiştir. Bu durumun üstesinden gelmek için katılımcılardan Cabri3D'de yer alan ilk cismi tahminleri doğrultusunda döndürmeleri istenerek dış yükleri azaltılmıştır. Böylece katılımcılar tahminlerinin doğru olup olmadığını test etmişler ve yanlış belirledikleri dönme hareketi ile ilgili yeni tahminlerde bulunmuşlardır (Bkz. Şekil 3.37). Şekil 3.37'de yer alan cisim ve onun x ekseni etrafında saat yönünde 180 derece döndürülmüş görüntüsü katılımcılara sunulduğunda Özge'nin cismin dönme eksen, yön ve açı ölçüsünü belirleyemediği gözlenmiştir.

Ö: Bu z ekseninde…saat yönünün tersine 270

A: Bi deneyelim, rotation'a gel, z eksenini seç, this polyhedron deyince cismi seç, hah burdan saat yönünün tersine 270 derece seçtin, oldu mu?

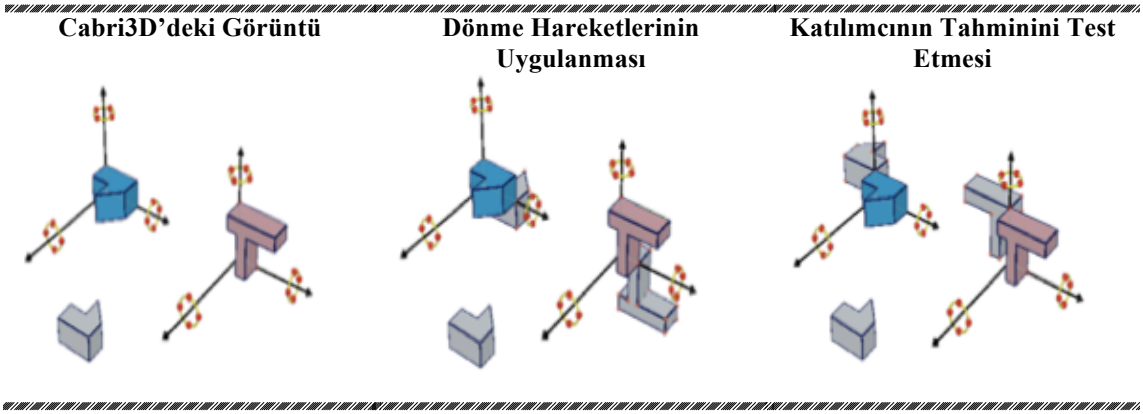
Ö: (Araştırmacı Cabri3D'deki cismi nasıl çevirceğini hatırlatırken Özge cismi döndürme işlemini tamamlıyor) Cıkkk, olmadı

Özge Cabri3D'deki birinci cisme tahminini uygulamış ve Cabri3D'deki görüntüyü elde edemediğini görmüştür. Katılımcı cisme ifade ettiği dönme hareketini uygulayarak, hatasının neden kaynaklandığını gözlemlemiş ve cismin dönme hareketini tekrar zihninde canlandırmaya çalışarak, onunla ile ilgili yeni tahmin ya da tahminlerde bulunmuştur.



Şekil 3.37. *Döndürme Bölümü İkinci Öğretim Seansı Özge Örneği-1*

Katılımcılar ilk cisme uygulanan dönme hareketini zihinlerinde canlandıramadıkları için ikinci cisme bu dönme hareketini yanlış bir şekilde uygulayabilmişlerdir. Şekil 3.38'de y ekseni etrafında 180 derece döndürülmüş bir cisim ile görüntüsü yer almaktadır.



Şekil 3.38. *Döndürme Bölümü İkinci Öğretim Seansı Pınar Örneği-1*

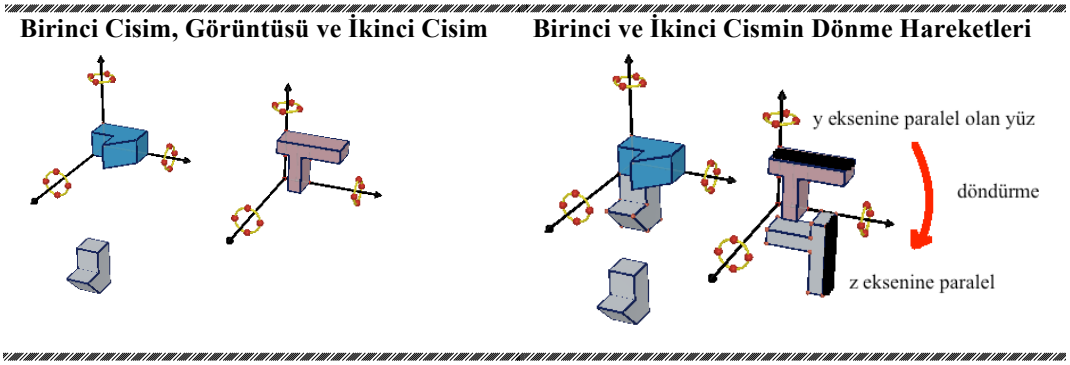
Pınar Şekil 3.38'deki bu cismin z ekseninde saat yönünde 180 derece döndürüldüğünü düşünmüş ve ikinci cisme de belirttiği dönme hareketini uygulayarak, dönme sonucu oluşması gereken görüntüyü de yanlış bir şekilde tarif etmiştir:

P: z ekseninde dedik, saat yönünde 180 derece, şimdi sağ yüzü sol yüzü olucak, sol yüzü de sağ yüzü olucaktır, sonra arka yüzü ön yüzü, ön yüzü de arka yüz olucak, uzun kenarı solda, kısa kenarı sağda kalıcak

Katılımcılar ilk dönme hareketini yanlış belirleyip, ikinci cisme de bu hareketi uygulayıp yanlış görüntü elde ettikleri zaman onlardan ifade ettikleri dönme hareketini Cabri3D'deki iki cisme de uygulamaları istenmiştir. Böylece katılımcıların ilk dönme hareketindeki hatalarının ikinci dönme hareketinde de hatalara neden olacağını görmeleri sağlanmıştır.

Katılımcılar birinci cisme uygulanan dönme hareketini, ikinci cisme uygulamada, elde edilecek görüntüyü zihinlerinde canlandırmada ve bu görüntüyü tarif etmede sorun yaşamasalar da ilk cismin dönme hareketini analitik olarak ifade etmede hatalar yapabilmektedirler. Bu durum katılımcıların cismin dönme hareketine uygun eksen, yön ve açı ölçülerini zihninde yanlış etiketlemiş olmasından kaynaklanmaktadır. Araştırmacı, katılımcının cismin döndürülüşünü mü zihninde canlandıramadığını yoksa etiketleme hatası mı yaptığını anlamak için ona, 'birinci cismin nasıl döndürülmüş olduğunu gösterir misin?' sorusunu yönelterek katılımcının sözlü ifadesi ile zihninde canlandırdığı hareketlerin birbiri ile uyuşup uyuşmadığı kontrol etmiştir. Bu durum katılımcının ikinci cismi, analitik olarak ifade ettiği dönme hareketinden bağımsız bir şekilde döndürdüğüne işaret etmektedir. Örneğin, birinci cisim tepe taklak edilmiş, ikinci cisim de tepe taklak döndürülecek o zaman, cismin üst yüzü taban, tabanı üst yüz olacaktır gibi.

Öğretim seansındaki görevlerde zorlanmayan Tuğçe'nin, diğer katılımcılardan farklı olarak ikinci cismin dönme hareketi sonucu oluşan görüntüsünü, bulunduğu 3B'li koordinat sistemini referans alarak tarif ettiği gözlenmiştir. Şekil 3.39'da bir cisim, onun x-sy-90 derece döndürülmesi elde edilmiş görüntüsü ve başka bir cisim yer almaktadır.



Şekil 3.39. *Döndürme Bölümü İkinci Öğretim Seansı Tuğçe Örneği-1*

Şekil 3.39'da yer alan ikinci cisme, birinci cismin dönme hareketini uyguladığında elde edilecek görüntüsünü ve bu görüntünün koordinat sistemi üzerindeki konumunu Tuğçe şu şekilde anlatmıştır:

T: Şurdaki şey varya +y ye ya da +y de olan yer (y eksenine paralel üst yüz), nolucak –z de olucak, -z ye paralel olucak…sağ yüzü şeye bakıcak aşağıya doğru bakıcak, -z yönüne bakıcak, üst yüzü, şu an ki üst yüzü ise sağ taraftan görünüşü olucak, sol taraf, bu taraf da üst taban olucak, ondan sonra arka yüzü arkada kalıcak yine

Dönme ikinci seansında katılımcıların genel olarak tek dönme hareketi uygulanmış cismin hangi eksen, yön ve açı ölçüsünde döndürüldüğünü belirledikleri ve tek dönme hareketi uygulanmış bir cisme göre başka bir cismi döndürdüklerinde oluşacak görüntüyü tarif ettikleri belirlenmiştir. Acemi öğrenenler tek dönme hareketi uygulanmış cismin hangi eksen, yön ve açı ölçüsünü belirlemek için deneme-yanılma yöntemine başvururken, daha uzman olanların ulaştıkları genellemeler yoluyla görevlerin gereklerini yerine getirdikleri görülmüştür. Ayrıca tek eksende döndürülmüş bir cisme göre başka bir cismi döndürürken, acemi öğrenenlerin sadece görüntünün belirli özellikleri hakkında bilgi verdikleri, oysa daha uzman olanların görüntü ile ilgili birçok görsel detaya söylemleri içinde yer verdikleri gözlenmiştir. Bu seans sonunda katılımcıların tek eksende dönmeyi içeren görevleri yapabildikleri görülmüş ve onları karmaşıklık derecesi daha fazla olan görev ve etkinliklere yönlendirmek gerektiğine karar verilmiştir.

3.2.2.3. *Üçüncü öğretim seansı*

Bu seansta ikinci seansa göre katılımcı iç bilişsel yüklerini artırmak için aşağıda iki madde halinde sunulan etkinlikler üzerinde durulmuştur:

(1) Belirli 3B'li bir cisme iki eksen boyunca, belirli yön ve açı ölçüsüne göre dönme hareketi uygulandığında elde edilecek cisim görüntüsünü zihninde canlandırma ve oluşacak görüntüyü tarif etme

(2) Belirli 3B'li bir cisim ve onun iki eksen boyunca (belirli yön ve dönme açılarına göre) döndürülerek elde edilmiş görüntüsü verildiğinde, bu cismin hangi eksenler boyunca, hangi yönler ve hangi açı ölçülerine göre döndürülmüş olduklarını belirleme, analitik olarak ifade etme ve yazmayı gerektiren aktiviteler

Katılımcıların ilk aktivite türünde bir cisme art arda iki dönme hareketini de uyguladıktan sonra elde edilecek görüntüyü zihinlerinde canlandırabilmeleri için, (1) cisme birinci dönme hareketini uyguladıktan sonra elde edilecek görüntüyü zihninde canlandırmaları, ardından (2) (1)'de elde edilen görüntüyü zihinlerinde tutup, bu görüntü

üzerine ikinci dönme hareketini uygulayarak, iki dönme hareketi sonucundaki son görüntüyü zihinlerinde canlandırabilmeleri gerekmektedir. Bu kapsamda katılımcılara analitik iki ifade sunulmuştur. Örneğin, 'x ekseni etrafında saat yönünde 90 derece (birinci dönme hareketi), z ekseni etrafında saat yönü tersinde 90 derece (ikinci dönme hareketi)' gibi. Etkinlikte katılımcıların etkili yükünü artırmak için ilk olarak, Cabri3D'de yer alan cisme önce birinci dönme hareketini uyguladıklarını düşünmeleri, elde edilecek görüntüyü zihinlerinde canlandırmaları ve oluşan görüntüyü anlaşılır ve ayrıntılı bir şekilde cisimle karşılaştırarak anlatmaları istenmiştir. İkinci olarak, tarif ettikleri görüntüye ikinci dönme hareketini uyguladıklarını düşünmeleri, elde edilecek ikinci görüntüyü zihinlerinde canlandırmaları ve bu görüntüyü gerek cisimle gerek birinci dönme sonucu oluşan görüntü ile karşılaştırarak ayrıntılı bir şekilde anlatmaları istenmiştir. Katılımcı bu iki aşamadan en az birinde zorluk yaşıyorsa onun dış yükünü azaltmak için Cabri3D'deki cismi birinci analitik ifadedeki gibi, buradan elde edilen görüntüyü ise ikinci analitik ifadedeki gibi çevirmesi istenmiştir. Bir katılımcının bu tür görevlerde uzmanlaşabilmesi, Cabri3D'deki cisim ile çevirme sonucu oluşan görüntüleri arasındaki yön ve konum ilişkilerini genellemesi ile bağlantılıdır. Öğretim seansında katılımcılar kendilerine verilen iki dönme hareketini de cisim ve görüntüsü üzerine uygulayıp, oluşacak görüntüyü doğru bir şekilde tarif etseler de, zihinlerinde oluşan görüntünün doğruluğunu test etmek için Cabri3D'deyi kullanmaları istenmiştir.

Öğretim seansındaki ilk aktivitelerde katılımcıların cisme bilhassa ikinci dönme hareketini uygulamada sorunlar yaşadıkları gözlenmiştir. Bu aktivite türünde katılımcıların cismin ilk dönme hareketi sonucu oluşan görüntüsünü zihinlerinde tutup, ikinci dönme hareketini bu görüntü üzerine uygulamaları gerekmektedir. Bu tür sorularda katılımcıların bu görüntüyü zihinlerinde, görüntü üzerine ikinci dönme hareketini uygulayabilecek kadar uzun süre tutamadıkları gözlenmiştir. Katılımcılardan Şekil 3.40'daki cisme sırayla x-syt-90 ve z-syt-90 biçimindeki dönme hareketlerini uygulamaları istendiğinde, Pınar'ın ikinci cismi yanlış yönde döndürdüğü belirlenmiştir (Bkz. Şekil 3.40).

P: En sonu söylüyorum şu an ki tabanım, ön yüzüm olucak, ve şunlar sola bakıcak (kesik C harfinin uç kısımları), üst yüzüm arka yüzüm olucak, sol yüzüm tabanım olucak, sağ yüzüm de üst yüzüm olucak.

Böylesi bir durumda katılımcıların dış yükünü azaltmak için Cabri3D'deki cismi birinci dönme hareketinde ifade edilen şekilde çevirmelerine izin verilmiş. Katılımcıların D1 ya da D2 hatalarını fark etmeleri sağlandıktan sonra, onların etkili yükünü artırmak için

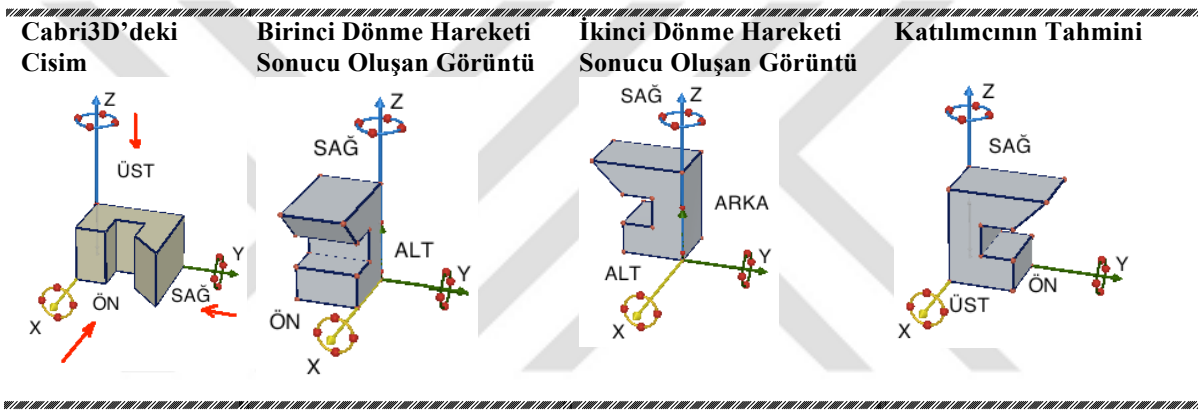
Cabri3D'de elde edilen görüntü üzerine ikinci dönme hareketini uyguladıklarında elde edilecek görüntüyü ilk cisimle karşılaştırarak tarif etmeleri istenmiştir. Bu durumla ilgili olarak araştırmacı ve Pınar arasında geçen diyaloglar şu şekildedir:

A: Şimdi bu görünen cismi, sakla, şimdi bunu tekrar z ekseninde saat yönünde değil, saat yönünün tersi yönde, saat yönünün tersini bir gösterir misin bana elinle?

P: Böyle (z eksenine göre saat yönünün tersini gösteriyor)

A: Şimdi nasıl olacağını bir tarif et bakalım, z ekseninde saat yönü tersi 90 derece çevirdiğinde?

P: Şey olucak, bunlar sağa bakıcak (C harfinin uç kısımlarından bahsediyor), ımm, şu üst yüzüm ön yüzüm olucak, tabanım arka yüzüm olucak, arka yüzüm sol yüzüm olucak, şunlarda sağ yüzüm olucak dedim zaten.



Şekil 3.40. *Döndürme Bölümü Üçüncü Öğretim Seansı Pınar Örneği-1*

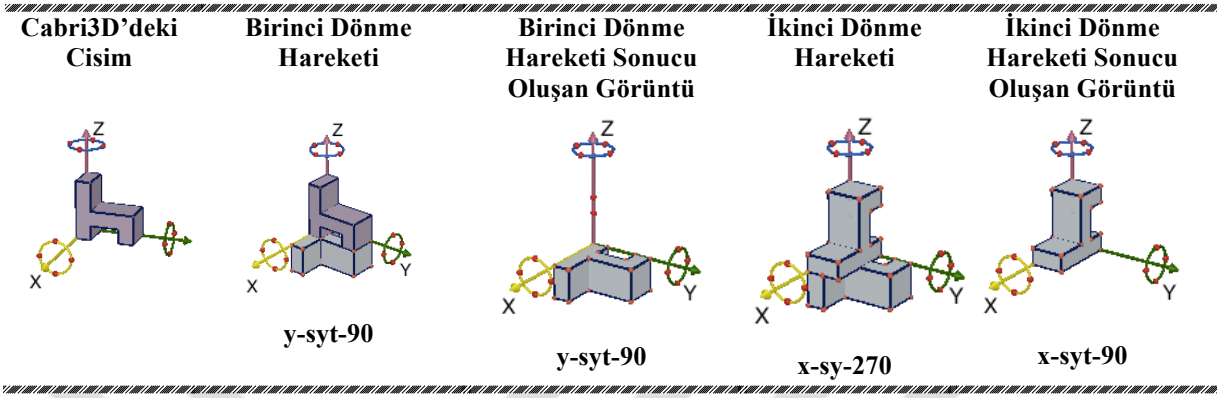
Katılımcılar cismi kendilerinden istenilen yön ve açıya göre zihinlerinde döndürmede zorlandıklarında, bilişsel yüklerini azaltmak için cisme aynı görüntüyü üreten başka bir dönme hareketi uygulama yoluna gitmektedirler. Melis'den Şekil 3.41'deki cismi y-syt-90 derece döndürdükten sonra elde ettiği görüntüye x-sy-270 derece dönme hareketini uygulaması istenmiştir. Melis birinci dönme hareketi sonucu oluşan görüntüyü doğru bir şekilde tarif etse de, elde ettiği görüntüyü saat yönünde 270 derece döndürmede zorlanmıştır, o zaman görüntüyü zihninde saat yönü tersinde 90 derece çevirdiğinde oluşacak görüntüyü anlatmıştır:

A: Şimdi elde ettiğin bu görüntüyü saat yönünde 270 derece çevirirsen?

M: O da x ekseninde saat yönünde 270 (uzun süre düşünüyor), saatin tersi 90 çevireyim 270 çok fazla geliyor

A: Tamam saatin tersine 90 çevir

M: Saatin tersinde 90, sandalyenin sırtı olur ya, sırt tarafı yerde olucak, (ilk cisme göre tarif ediyor) şu an sol taraftaki kısım tabanda, ıı mesela, şu an yan yüz olan yüz üstte olucak (sağ yan yüz), ön yüz sağ yüz olucak, arka yüz de sol tarafta kalıcak.



Şekil 3.41. *Döndürme Bölümü Üçüncü Öğretim Seansı Melis Örneği-1*

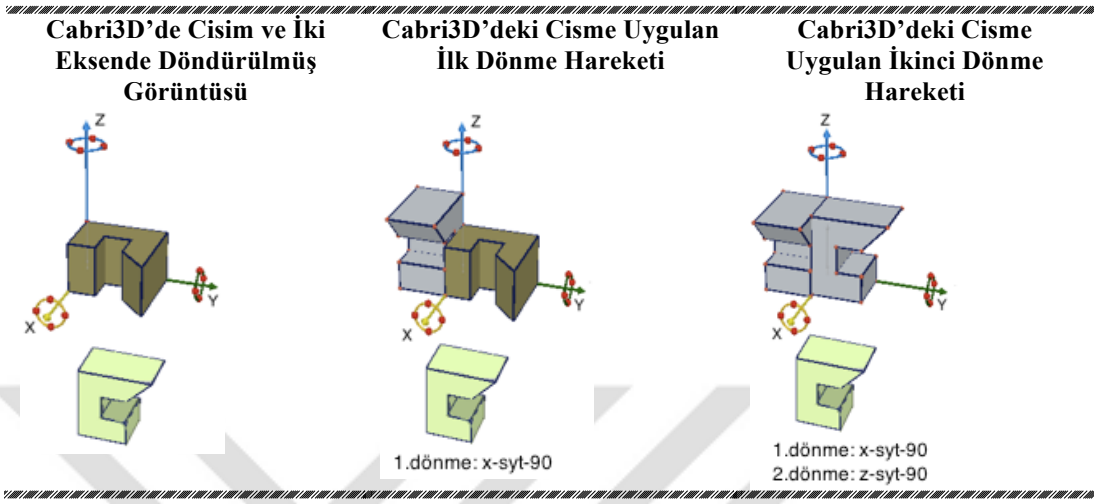
Katılımcıların ikinci aktivite türünde cismin görüntüsünü üreten ardışık iki dönme hareketini zihninde canlandırması ve bu dönme hareketlerine karşılık gelen analitik ifadeleri belirlemeleri gerekmektedir. Böylesi bir durumda katılımcılar iki farklı yolu takip edebilirler. Zihinlerindeki cisme belirli eksen, yön ve açı ölçülerine göre rastgele iki dönme hareketini uygulayıp cismin nasıl döndürüldüğünü bulmaya çalışırlar, ki bu doğru hareketleri buluncaya kadar dönme eksen, yön ve açı ölçülerinde değişiklik yapmayı gerektirir ve zaman alıcıdır. Cisim ve görüntüsünde değişen yüzler ve konumları arasında bağlantı kurarak, çıkarımlarda bulunmalarını gerektirir. Bir birey ikinci yol ile ilgili gerekli kazanımlara sahipse tek bir tahmin ile dönme hareketlerini belirleyebilir.

Ardışık iki dönme hareketi uygulanmış bir cismin nasıl döndürüldüğünü belirleme görevlerinde katılımcılar dönme hareketlerinden ikisini ya da birini zihinlerinde canlandıramadıkları için ya da zihinlerinde eksen, yön ve açı ölçülerini yanlış etiketlemelerinin sonucunda D1 ve D2 hataları yapabilmektedirler. Şekil 3.42'de yer alana cisim önce x ekseni etrafında saat yönünün tersinde 90 derece döndürülmüş, sonra elde edilen görüntü, z ekseni etrafında saat yönü tersinde 90 derece döndürülmüştür. Pınar'ın öğretim seansında cismin nasıl döndürüldüğünü belirleyemediği görülmüştür.

P: Piüvvv, deneme yanılma yoluyla şu an bulmaya çalışıcam, iki kere döndürme sonucunda mı elde edildi bu şekilde

A: Evet iki kere döndürülerek elde edilmiş

P: Artık önce (sessizlik) x'de 90 döndürsem (sessizlik) sonra y'de ayyy düşünemiyorum (sessizlik), x de 180 yapsak…şurası tabana gelicek, sonra onun üst yüze gelmesi için y ekseninde 180 derece mi döndürücem



Şekil 3.42. *Döndürme Bölümü Üçüncü Öğretim Seansı Pınar Örneği-1*

Katılımcının dış yükünü azaltarak cisme uygulanacak dönme hareketini zihninde oluşturmasını sağlamak için Cabri3D'de yer alan cismi ifade ettiği şekilde döndürmesine izin verilmiştir. Katılımcı Cabri3D'deki cismi x ekseninde 180 derece döndürmeye çalışırken, ilk dönmenin x ekseninde saat yönünde 90 derece olması gerektiğini fark etmiştir. Katılımcının etkili yükünü artırmak için cismin ilk konumu ile birinci dönme hareketi sonrası oluşan konumu arasında bağlantı kurması sağlanmıştır. Bu şekilde katılımcıların cismin değişen konum ya da konumları ile dönme hareket ya da hareketleri arasında bağlantı kurmayı sağlayıcı şemaları edinebilmesi istenmiştir. Örneğin, cisim yatay konumdan dikey konuma getirecek hareket 90 derecelik bir dönme hareketidir gibi.

Cisim ve iki eksende dönme sonucu elde edilecek görüntüsü verildiği zaman eğer bir katılımcı cisme uygulanacak birinci dönme hareketlerini yanlış olarak belirlemişse, ikinci dönme hareketini buradan elde edeceği görüntü üzerine uygulayacağı için, belirlediği hareketler kendisine sunulan görüntüyü üretmeyecektir. Bu tür durumlarda katılımcılardan analitik olarak ifade ettikleri dönme hareketlerini ardışık olarak önce Cabri3D'de yer alan cisme sonra, birinci dönme hareketi sonucu elde ettikleri görüntü üzerine uygulamaları istenerek, düşünme hatalarının farkına varmaları sağlanmıştır.

Şekil 3.43'de önce z ekseni etrafında saat yönünde 90, sonra x ekseni etrafında saat yönünde 90 derece döndürülmüş bir cisim yer almaktadır. Özge cisme uygulanan ilk

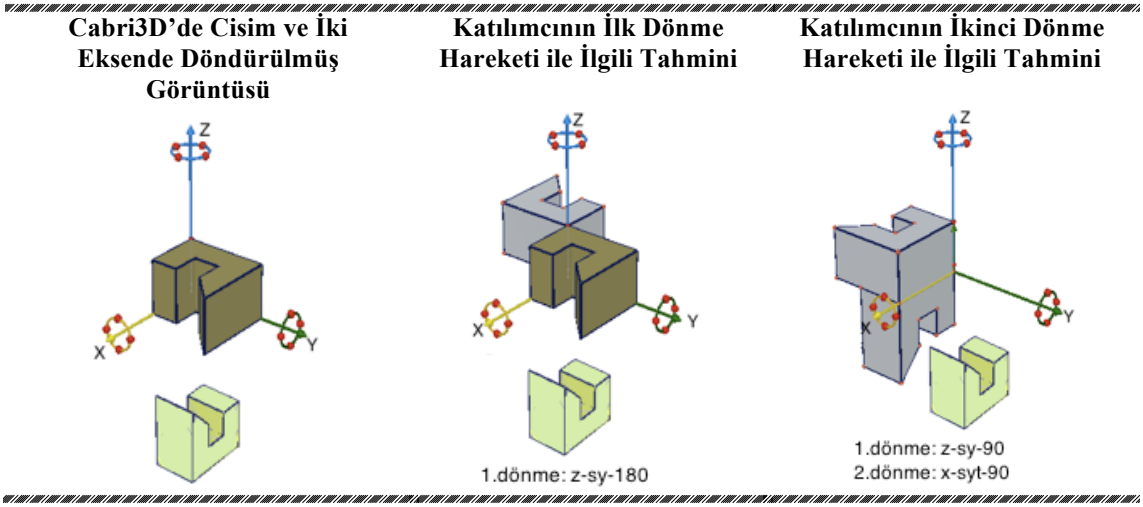
dönme hareketinin eksenini doğru bir şekilde belirlemesine rağmen, yön ve açısını yanlış belirlemiştir. Bu da katılımcının bir kez D1, iki kez hatası yapmasına neden olmuştur.

Ö: Bu da, z ekseninde saat yönünde 180 derece, bi de x ekseninde saat yönünün tersi 90 derece

A: Bi kontrol et bakalım, ilk baş ne dedin

Ö: z ekseninde saat yönünde 180, z eksenini seçtik, cismi seçtik, şöyle 180, haa 270 olması lazım (cismi Cabri3D'de çevirirken hatasını fark ediyor)

Öğretim seansında Özge dış yükünü azaltmak için yanlış belirlediği birinci dönme hareketini Cabri3D'de yer alan cisme uygularken, yaptığı hatayı fark etmiştir. Özge, cismi Cabri3D'de z ekseninde saat yönü tersine 270 çevirdikten sonra, ikinci cisim için belirlediği dönme hareketini, Cabri3D'de elde ettiği görüntü üzerine uygulamıştır. Görüntüyü Cabri3D'de x ekseni etrafında saat yönü tersinde 90 derece döndüren Özge'nin sunulan dönme hareketlerini zihninde canlandıramadığı anlaşılmaktadır. Katılımcının dış yükü azaltılarak dönme hareketini zihninde canlandırabilmesi için Cabri3D'deki cisimden faydalanılmış, onun etkili yükünü artırmak için cismin ilk konumu, birinci dönme hareketi sonrası konumu ve ikinci dönme hareketi sonrası oluşan konumunu Cabri3D'deki cismi çevirirken anlatması istenmiştir. Böylece katılımcının cismin konumundaki değişiklikler ve dönme hareketleri arasındaki bağlantıları görmesi, incelemesi ve birtakım genellemelere ulaşması amaçlanmıştır.



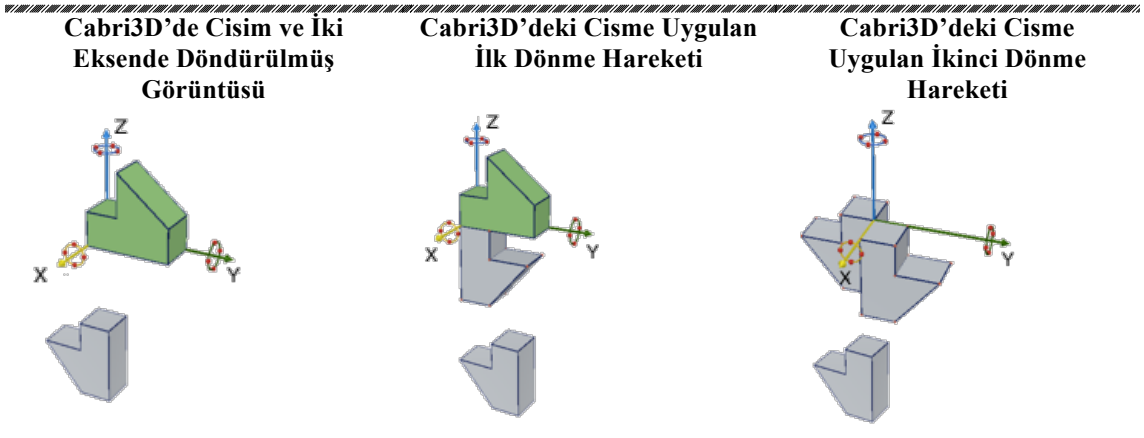
Şekil 3.43. *Döndürme Bölümü Üçüncü Öğretim Seansı Özge Örneği-1*

Öğretim seansı boyunca Melis, Pınar ve Özge'nin iki eksende döndürülmüş cisimlerin dönme hareketlerini deneme yanılma yoluyla belirledikleri gözlenmiştir.

Onlar, cismi zihinlerinde belirledikleri iki eksen etrafında, çeşitli yön ve açılarda döndürüp, bu dönme hareketlerinin kendilerine sunulan görüntüyü verip vermediğini test ettikten sonra, birinci ve ikinci dönmeyi sırayla analitik olarak ifade etmektedirler. Bu tür durumlarda, dönme görevinde etkileşim halinde bulunan öge sayısı katılımcıların çalışan bellek kapasitesini geçebilmektedir. Çünkü iki dönme hareketi için farklı şekillerde eksen, yön ve açı ölçüsü seçimi yapılabilmektedir. Oysa cismin başlangıçtaki ve dönme hareketleri sonrası konumu arasındaki ilişkiler, dönme hareketlerini oluşturan eksen, yön ve açılar ile ilgili bilgi vermektedir. Cisimde meydana gelen değişim ile dönme hareketlerini belirleyebilen bir kişinin dönme hareketleri ile ilgili kavramsal şemasının geliştiği söylenebilir.

Öğretim seansında Tuğçe'nin Cabri3D'de sunulan cisim ve görüntüsü arasında ilişkilerden dönme hareketlerini belirleyebildiği gözlenmiştir. Bu durum katılımcının iki eksende döndürülmüş cisimlerin dönme hareketlerinde uzmanlaştığı şeklinde yorumlanabilir. Öğretim seansında önce x ekseni etrafında saat yönünde 90 derece, sonra z ekseninde saat yönünde 180 derece döndürülen cismin (Bkz. Şekil 3.44) dönme hareketlerini nasıl belirlediğini Tuğçe şu şekilde anlatmaktadır:

T: Bunu bir x ekseninde çevireyim ben, x ekseninde 90 çevirsem, bunu ben şey düşünüyorum, x ve z ekseninde çevircem, x ekseninde saat yönünde 90 derece çeviricem, böylelikle şurdaki yeri taban haline getirmiş olurum, daha sonra şu uç kısmını benim –y yönüne bakması gerekiyor, -y yönünde bakması için de z ekseninde çevirmem gerekiyor bunu, bunu da z ekseninde 180 derece saat şöyle çevircem bi dakka saat yönünde çevircem 180 derece böylelikle bunu elde etmiş olucam.



Şekil 3.44. *Döndürme Bölümü Üçüncü Öğretim Seansı Tuğçe Örneği-1*

Seansta uzman katılımcıların iki eksende döndürülmüş bir cismin hangi eksen, yön ve açılarla döndürüldüğünü belirlemede sorun yaşamadıkları fakat daha uzmanlaşmamış olanların deneme-yanılma yoluyla ürettikleri ara görüntüleri hafızalarında tutmada sorunlar yaşayabildikleri belirlenmiştir. Bir cisme analitik olarak ifade edilen iki dönme hareketini uygulama görevleri için de benzer durum geçerlidir. Bazı katılımcılar görevleri doğru yapmak için gerekli şemaları otomatik olarak kullanamasalar da, ilgili görevleri nasıl yapmaları gerektiğini anladıkları ve hatalı düşünme yollarını fark edip düzettikleri için öğretime dördüncü seansla devam edilmiştir.

3.2.2.4. *Dördüncü öğretim seansı*

Katılımcıların bu seans kapsamında, '3B'li bir cisim ve onun iki eksen etrafında döndürülmüş görüntüsü verildiği zaman, başka 3B'li bir cisme aynı dönme hareketlerini uygulama, elde edilecek görüntüleri zihinlerinde canlandırma ve tarif etme aktivitelerini' gerçekleştirmeleri sağlanmıştır.

Katılımcıların öğretim seansı boyunca etkili yükünü artırmak için: (1) İlk cismin birinci dönme hareketini belirlemeleri yani, birinci dönme hareketinin hangi eksen, yön ve açı ölçüsüne göre gerçekleştirildiğini zihinlerinde canlandırmaları ve analitik olarak ifade etmeleri, (2) ilk cismin ikinci dönme hareketini belirlemeleri yani, ikinci dönme hareketinin hangi eksen, yön ve açı ölçüsüne göre gerçekleştirildiğini zihinlerinde canlandırmaları ve analitik olarak ifade etmeleri, (3) ikinci cisme ilk cismin birinci dönme hareketini uygulamaları yani, ilk cismin ilk dönme hareketini yeni cisme uyguladıklarında elde edilecek görüntüyü zihinlerinde canlandırmaları ve oluşacak görüntüyü anlamlı bir yol içerisinde sözlü olarak anlatmaları, (4) ikinci cisme ilk cismin ikinci dönme hareketini uygulamaları yani, ilk cismin ikinci dönme hareketini, ikinci cismin birinci dönme hareketi sonucunda oluşan görüntüsüne uygulamaları ve son durumda oluşacak görüntüyü anlamlı bir yol içerisinde sözlü olarak tarif etmeleri istenmiştir.

Katılımcılar ilk cisme ait dönme hareketinin nasıl gerçekleştirildiğini belirleyemiyor ya da belirledikleri dönme hareketlerinin ilk cismin döndürme hareketleri sonucu oluşacak görüntüsünü verip vermeyeceğini merak ediyorlarsa, dış yüklerini azaltmak için Cabri3D'deki ilk cismi programın özelliklerini kullanarak döndürmeleri sağlanmıştır. Katılımcıların ilk cisme ait dönme hareketlerini ikinci cisme uyguladıklarında elde edilecek durumu zihinlerinde canlandırmada yaşadıkları güçlükleri

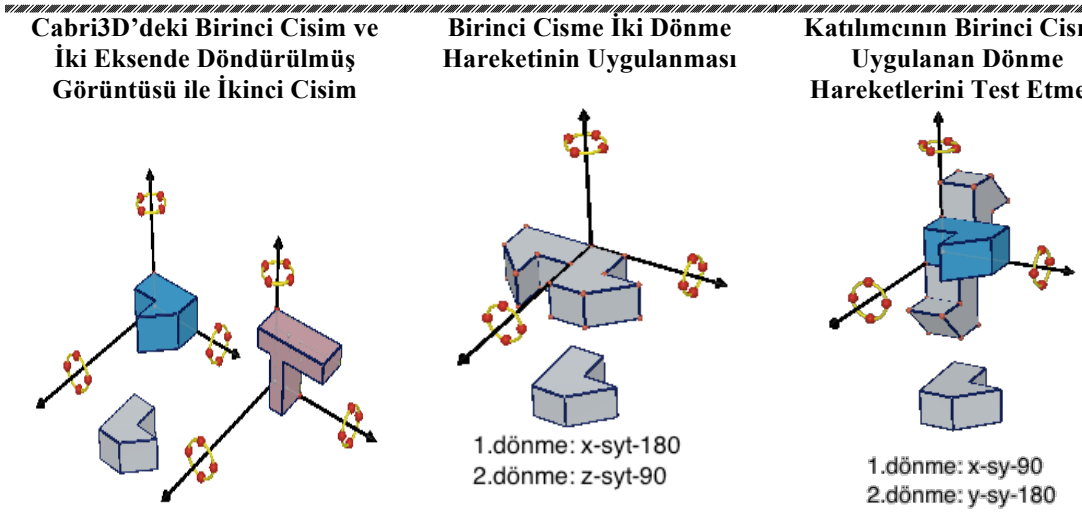
gidermek için ya da ikinci cisme uyguladıkları dönme hareketlerinin doğruluğunu kontrol etmeleri için Cabri3D'deki ikinci cisme dönme hareketlerini uygulamaları istenmiştir, böylece onların dış yükleri azaltılmaya çalışılmıştır.

Katılımcıların iki eksende döndürülmüş bir cisme göre başka bir cismi döndürebilmeleri için, birinci cismin dönme hareketlerini doğru bir şekilde belirleyip, ikinci cisme uygulayabilmeleri gerekmektedir. İlk cismin dönme hareketlerini zihninde canlandıramayan katılımcılar bu tür bir soruda dörder kez eksen ve açı belirleme hatası (D1 ve D2) yapabilmektedirler. Öğretim seansında Tuğçe haricindeki katılımcıların birinci cisme ait dönme hareketlerini analitik bir yol içerisinde belirlemede zorluklar yaşadıkları görülmüştür. Her ne kadar üçüncü öğretim seansında yapılan aktiviteler bir cismin iki eksen etrafında döndürülmesi ile ilgili olsa da, bu seansın başında bazı katılımcılar iki eksende döndürülmüş birinci cismin nasıl döndürüldüğünü belirlemede zorlanmışlardır.

Katılımcılara Şekil 3.45'deki cisim ve onun x ekseni etrafında saat yönünde 180, z ekseni etrafında saat yönü tersinde 90 derece döndürülmesiyle elde edilmiş görüntüsü sunulduğunda, Pınar'ın bu cisme ait dönme hareketlerini belirleyemediği gözlenmiştir.

(1. Cisme uygulanan dönme hareketi)

P: Sanki bir eksende döndürülmüş gibi, bişey dicem, y ekseninde direk 180 derece döndürsek olmuyor mu, hayır olmuyor, olmuyormuş tamam anladım, anladım. Iıımm ay nasıl çevirsek, hımmm, y de bunu bir 180 yapıp, sonrada onu x ekseninde ıgh x ekseninde 90 döndürürüm sonra y ekseninde 180 döndürsem.



Şekil 3.45. *Döndürme Bölümü Dördüncü Öğretim Seansı Pınar Örneği-1*

Pınar birinci cismin nasıl döndürüldüğünü zihninde canlandıramamıştır, onun dış bilişsel yükünü azaltmak için cismi yazılı olarak ifade ettiği biçimde Cabri3D'de döndürmesi istenmiştir. Cismi ifade ettiği biçimde döndüren Pınar, Cabri3D'de kendisine sunulan görüntüyü elde edememiştir. Böylece belirttiği dönme hareketlerinin birinci cisme ait dönme hareketlerini karşılamadığını görme şansı bulmuştur. Katılımcı öğretim seansının devamında cismin 'önce x ekseninde saat yönünde180 derece, sonra z ekseninde saat yönünde 90 derece döndürülerek' elde edileceğini sözlü ve yazılı olarak ifade etmiştir.

Öğretim seansında katılımcılar bazen birinci cisme uygulanan dönme hareketlerini doğru bir şekilde belirleseler de, ikinci cisme bu dönme hareketlerinden en az birini uygulamada güçlük yaşamışlardır. Şekil 3.46'daki cisim ve onun sırayla z-sy-90 ve x-syt-180 dönme hareketi uygulanmış görüntüsü katılımcılara sunulduğunda Melis cisme hangi dönme hareketlerinin uygulandığını zihninde canlandırıp, analitik olarak ifade etse bile, ikinci cisme bu dönme hareketlerden ikincisini uygulayamamıştır. Bu durum katılımcının birinci dönme hareketi uyguladığı cismin görüntüsünü hafızasında uzun süre tutamamasından kaynaklanmaktadır. Melis ve araştırmacı arasında geçen diyaloglar yer almaktadırlar:

A: Şimdi aynı eylem ya da eylemleri diğer ikinci cisme uygulasaydın nasıl bir durum oluşurdu?

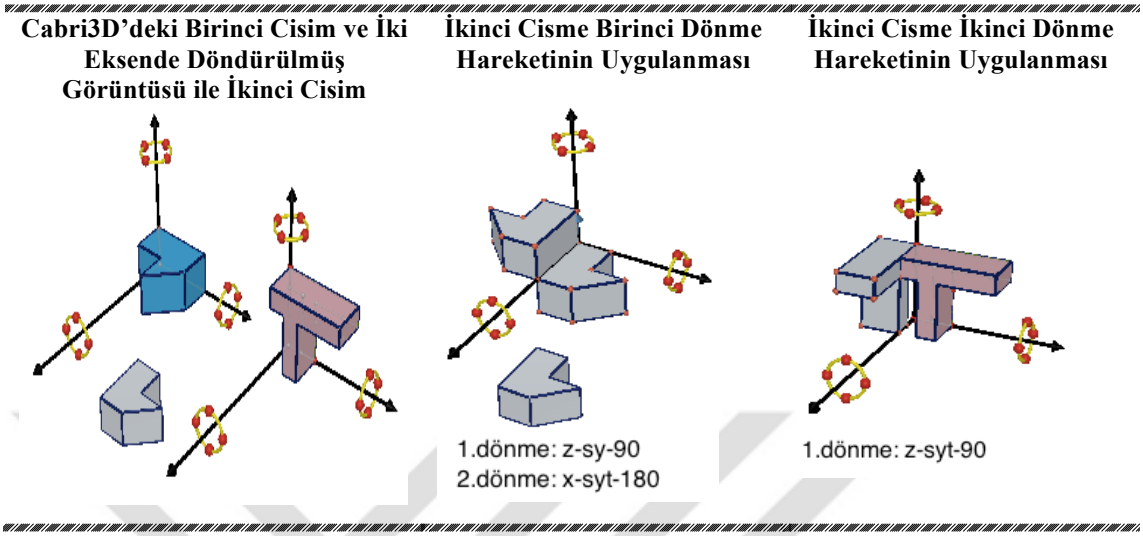
M: Hımmm z ekseninde saat yönünde 90 çevirsem, ıı şuan ki sağ yüz benim ön yüzüm olur, şuan ki sol yüzüm arka tarafa gelir, üst yüz gene üst yüz şuan ki arka yüz sağ yüzüm olur, şu an ön yüzüm sol yüzüm olur

A: Tamam

M: Sonra x ekseninde saatin tersi yönde 180, x ekseninde saatin tersi yönde, üff çok zor ya…

Katılımcının dış yükünü azaltmak için, birinci cisme ait analitik olarak ifade ettiği dönme hareketlerinin doğruluğunu test etmesine izin verilmiştir. Ardından ikinci cisme ifade etiği birinci dönme hareketini Cabri3D'de uygulaması istenmiştir. Yani ikinci cismin birinci dönme hareketi sonrası oluşan görüntüsü Cabri3D ekranda statik hale getirilmiştir. Katılımcının etkili yükünü artırmak için bu görüntü üzerine analitik olarak ifade ettiği ikinci dönme hareketini uygulasaydı, elde edilecek görüntüyü ikinci cisme ve ikinci cismin birinci dönme hareketi uygulandıktan sonraki görüntü ile karşılaştırarak anlatması istenmiştir. Katılımcılar görevler boyunca cismin dönme hareket ya da hareketleri sonucu oluşan görüntülerini genellikle 'örneğin, cismin sol yüzü iki dönme sonrasında sağ yüzüm oldu, tabanı üst yüzüm oldu ya da ilk dönme sonucu oluşan

görüntüdeki sol yüzüm sağ yüzüm oldu, üst yüzüm alt yüz oldu' gibi ya da benzer şekillerde tarif etmişlerdir (Bkz. Şekil 3.46).



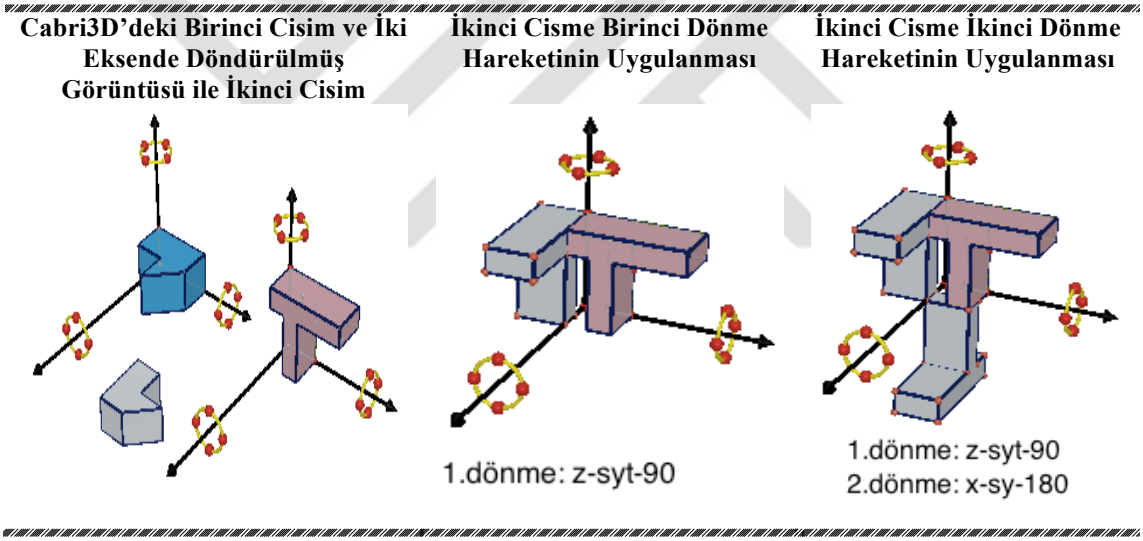
Şekil 3.46. *Döndürme Bölümü Dördüncü Öğretim Seansı Melis Örneği-1*

Öğretim seansında diğer katılımcılardan farklı olarak Tuğçe'nin ilk cismin nasıl döndürüldüğünü belirlemede ve ikinci cisme aynı dönme hareketini uygulamada ve elde edilecek görüntüyü tarif etmede bir problem yaşamadığı hatta ikinci cismin dönme sonucu oluşan görüntüsünü birçok detaya yer vererek anlattığı gözlenmiştir. Buradan Tuğçe'nin cisimlerin dönme hareket ya da hareketlerini içeren görevlerde uzmanlaştığı söylenebilir. Katılımcı Şekil 3.47'deki ilk cisme ait görüntünün, cisme sırayla x-syt-90 ve z-syt-90 dönme hareketleri uygulanarak elde edileceğini belirttikten sonra, ikinci cismin birinci ve ikinci dönme hareketleri sonrası görüntüsünü ayrıntılı bir şekilde tarif etmiştir.

T: Şimdi x ekseninde döndürücem saat yönünün tersinde 90 derece, şimdi gördüğüm yan yüzey (ikinci cismin sağ yüzü) x ekseninde çeviriyorum sadece şu an, yan yüzey üst yüzey olucak, sağ yüz üst yüz olucak, ondan sonra bu üst yüzünü ben göremeyeceğim, yan yüzeyim de (yeni görünecek sağ yüzeyden bahsediyor) burdaki alt yüzey olucak bunu böyle çevirdim, bunun bulunduğu tabanı -y ile +x düzlemi üzerinde olucak (dönme hareketleri sonucu oluşan görüntünün tabanı), bir birim (1 br) ötede olucak tabi bu böyle x'ten, bu şekilde olucak, x'te çevirirsek tabi bu, daha sonra ben bunu z ekseninde 90 derece çeviricem, z ekseninde saat yönünün tersinde, …T'nin kesik ucuna göre çeviricem 90 derece…, şimdi ön yüzü bu ilk yüze göre şu üst kısım ön yüzey olucak, yani üst taban…ondan sonra sağdan yüzeyi ise bu cismin ön yüzü olucak, şurasıda (ikinci cismin sağ yüzünden bahsediyor) üst yüzey olucak…

İki dönme hareketi uygulanmış bir cisme göre başka bir cismi döndürme görevlerinde acemi olan bir kişi, birinci cismin dönme hareketlerini belirlemede ve

analitik olarak ifade etmede ya da ikinci cisme birinci cismin dönme hareketlerini uygulandığında elde edilecek görüntüleri zihninde canlandırmada ve tarif etmede zorluklar yaşamaktadır. Oysa bu tür görevlerde uzmanlaşmış bir kişi birinci cismin dönme hareketlerini cismin yüzleri ve görüntüde bu yüzlerin konumları arasında bağlantı kurarak belirlemekte ve analitik olarak ifade edebilmektedir. Ayrıca bu tür görevlerde uzman kişiler ikinci cisme bu hareketlerin her birini uygulandıklarında elde edilecek görüntüleri zihinlerinde canlandırmada, bu görüntüleri uzun süre hafızalarında tutmada ve tasvir etmede zorlanmamaktadırlar. İkinci cismin, iki dönme hareketi sonrası oluşan görüntüsünü bu cismin yüzleri ile ya da bu cismin birinci dönme hareketi sonrası oluşan görüntüsündeki yüzleri ile karşılaştırarak anlatabilmektedirler. Bir katılımcının bu tür görevlerde ne derece uzmanlaştığı, anlatımında ne kadar çok görsel ayrıntıya yer verdiği arasında bağlantılı olduğu düşünülmektedir.



Şekil 3.47. *Döndürme Bölümü Dördüncü Öğretim Seansı Tuğçe Örneği-1*

İki dönme hareketi uygulanmış bir cisme göre başka bir cismi döndürme görevlerinde otomatiklik kazanmayan ve deneme-yanılma yöntemini kullananların ilk cisme ilk dönme hareketi uygulandıktan sonra oluşan ara görüntüyü ve ikinci cisme ikinci dönme hareketi uygulandıktan sonra oluşan son görüntüyü hafızada tutmada zorlandıkları belirlenmiştir. Oysa uzmanlaşan katılımcıların, ulaştıkları genellemelere doğru bir şekilde başvurarak ya da deneme-yanılma yöntemi ile elde ettikleri görüntüleri hafızalarında uzun süre tutarak bu görev türleri ile başa çıkabildikleri gözlenmiştir. Buradan Tuğçe, Melis ve Pınar'ın döndürme bölümü uzamsal görevlerinde

uzmanlaşırken, Özge'nin bu görev türlerinde tam olarak uzmanlaşamadığı söylenebilir. Dördüncü seansın tamamlanmasında katılımcı kazanımları ve anlayışları, katılımcıların hatalarını fark etmeleri, sunulan görevlerden hepsini ya da bazılarını hatasız bir şekilde tamamlamaları etkili olmuştur.

3.2.3. BYT'ye dayalı yönelim bölümü öğretim seansları

Uzamsal görselleştirmenin yönelim bölümü iki alt bölümde ele alınmıştır. Birinci yönelim bölümü kapsamında, ön görüşmelerde katılımcılara karmaşıklık derecesi giderek artan yapılar sunulmuş, onlardan bu yapıların ön/arka, sağ/sol ve üst/alt görünüşlerini kareli zemin üzerine çizmeleri istenmiştir. Katılımcılar görünüş çizimlerini tamamladıktan sonra, onlardan bu çizim görevlerini ne derece zor buldukları ile ilgili puanlama yapmaları istenmiştir. Bu görevlerin katılımcılarda yarattığı bilişsel yük, katılımcı hata oranlarından ve görevlerin algılanan zorluğu ile ilgili katılımcı derecelendirme puanlarından yararlanılarak hesaplanmıştır. Ön görüşmelerde katılımcıların yapının belirli bir yönden görünüşünü eksik çizme (Y1), elde edilecek görüntüdeki geometrik özellikleri görünüş çizimine yansıtamama (Y2), oluşacak görüntüdeki geometrik şekilleri çiziminde doğru bir şekilde konumlandıramama (Y3) ve yapıya soruda istenilen şekilde yönelememe (Y4) hatalarını sistematik olarak tekrarladıkları gözlenmiştir. Sorularda yer alan yapılar karmaşıklaştıkça katılımcıların ortalama hata oranlarının ve Y1, Y2, Y3 hata oranlarının arttığı gözlenmiştir. Ayrıca katılımcı hata oranları ile soruların algılanan zorluğu arasında anlamlı bir ilişki olduğu belirlenmiştir. Katılımcılar görünüş çizimlerini tamamladıktan sonra, onlardan çizimlerini nasıl yaptıklarını ve hangi çizim görevlerini diğerlerinden daha zor bulduklarını anlatmaları istenmiştir. Böylece katılımcıların yönelme görevlerinde yaptıkları hataların nedenleri ve doğru görünüş çizimleri yapabilmeleri için kazanmaları gereken şemalar belirlenmeye çalışılmıştır. Katılımcılar ikinci bölüm kapsamında, küpün ortasında bulunan modifiye ve kombine cisimlere, küpün üst ve alt köşe noktalarından birinden bakıldığında, cismin hangi kısımlarının görüneceğini doğru ve eksiksiz olarak ifade etmelerini, cismin görünecek kısımlarını yeni yönelimlerine göre tarif etmelerini ve oluşacak görüntüyü izometrik kâğıda çizmelerini gerektiren soruları cevaplandırmışlardır. Katılımcıların sorulara verdikleri cevaplar incelendiğinde, bu bölümde yer alan hiçbir soruyu doğru bir şekilde cevaplandıramadıkları ve burada yer alan soruları çok çok zor buldukları gözlenmiştir. Bu nedenle, bu bölümle ilgili olarak

yapılan görüşmelerle katılımcıların cisme küpün köşe noktalarından bakıldığında elde edilecek görüntüyü zihinlerinde canlandırmalarını, tarif etmelerini ve izometrik kâğıda inşa etmeleri için gerekli şemalar belirlenmeye çalışılmıştır. Öğretim seansları hazırlanırken katılımcıların hata oranlarında ve görevlerin algılanan zorluğu ile ilgili derecelendirme puanlarında azalma meydana getirecek, yönelim görevlerini doğru yapabilmeleri için gerekli şemaları kazanmalarına yönelik etkinliklere yer verilmeye çalışılmıştır.

3.2.3.1. *Birinci öğretim seansı*

Yönelim birinci öğretim seansı kapsamında katılımcıların her biri aşağıda yer alan yapıların farklı yönlerden görünümlerini kareli kağıtlar üzerine inşa etmişlerdir: 'Birim küplerden oluşan basit bütünleşik, birim küplerden oluşan basit fakat bütünleşik olmayan, birim küplerden oluşan bütünleşik olmayan karmaşık ve son olarak üç eğik yüze sahip orta derece karmaşık yapı'.

Öğretim seansı içinde yukarıdaki sıralamanın takip edilmesinin, katılımcıların toplam bilişsel yüklerini aşmamasını sağlayacağı ön görülmüştür. Bu sıralamanın belirlenmesindeki amaç, katılımcıların aşina oldukları kavramlarla ilgili şema edinimlerinden yola çıkarak, aşina olmadıkları kavram şemasının kazanımını sağlayarak, onların asıl bilişsel yüklerini optimum düzeyde tutmaktır. Her bir yapının görünüş çizimi için katılımcıların '(1) ön, (2) sağ, (3) üst, (4), arka, (5) sol ve (6) alt' yön sıralamasını takip etmesi istenmiştir. Cabri3D'deki materyallerden katılımcılar, yapının ön, sağ ve üst taraflarını görebilmektedirler ve onun görünmeyen kısımları ile ilgili muhakemede bulunmaları gerekmemektedir. Katılımcıların bu ilk üç görünüş görevini önce yapmalarının, katılımcıların materyalden kaynaklanan dış bilişsel yüklerini azaltacağı düşünülmüştür. Öğretim seansı sırasında Özge haricindeki katılımcıların belirtilen sıralamayı takip ettiği, onun ise üst görünüşten önce alt görünüşü çizmede ısrar ettiği gözlenmiştir. Özge'ye niçin yapının alt görünüşünü önce çizmek istediği sorulduğunda ise 'yapının alt görünüşünü daha kolay çizebildiğini' söylemiştir. Bu, 'yapının üst tarafının girintili-çıkıntılı bir yapıya sahipken, alt tarafının düz bir yapıya sahip olması' durumu ile açıklanabilir. Öğretim seansında Özge'nin görevden kaynaklanan iç bilişsel yükünü azaltmak için '(3) üst ve (6) alt görünüş' sırasını değiştirmesine izin verilmiştir. Diğer katılımcılar ise önceden belirlenen sırayı takip etmişlerdir.

Klinik görüşmelerde katılımcıların yapının belirli bir taraftan görünüşünü çizerken Y1 (görünen yüzleri eksik çizme), Y2 (yüzleri geometrik özelliklerine göre çizmeme), Y3 (yüzleri konumlandıramama ya da yanlış konumlandırma) ve Y4 (yapıya istenen şekilde kendini yönlendirememe) hatalarını yaptığı belirlenmişti. Hatta klinik görüşmelere ait bulgularda, görevler zorlaştıkça Y1, Y2, Y3 ve Y4 hatalarının miktarında da artış olduğuna değinilmişti. Bu nedenle öğretim seansında her bir görünüş çizimi için katılımcıların bilişsel yüklerini optimum düzeyde tutacak aşağıdaki iki etkinliğe yer verilmiştir,

(i) *Konu dışı bilişsel yük için;* Cabri3D'deki yapıda oklar ve yön etiketleri kullanma, gerektiğinde vektörlerle materyale katılımcıların vücut yönelimlerini inşa etme, yapının inşasında birim küpler kullanma, yapıyı orantının gözlemlenmesine izin verecek şekilde inşa etme, 3B'li yapıyı ve onun farklı yönden 2B'li görünüşünü inceleme.

(ii) *Etkili bilişsel yük için;* Baktığı yönden göreceklerini zihninde canlandırma ve anlatma, çizimini nasıl yaptığını anlatma, Cabri3D'deki 3B'li görüntü ya da 2B'li görüntü ile çizimini karşılaştırıp, benzerlik ve farklılıkları anlatma.

Yapıya belirli bir yönden bakma görevlerinde katılımcıların Y4 hatalarının önüne geçmek için onların materyaldeki ok ve etiketleri takip etmeleri, Y1 hatasını gidermek için ise Cabri3D'deki 3B'li yapıda görünecek kısımları tek tek belirtmeleri ya da ekran üzerine dokunarak işaret etmeleri ve çizimlerini 3B'li yapı ile bağlantılı bir şekilde anlatmaları istenmiştir, bunun sırayla görevden kaynaklanan dış bilişsel ve etkili bilişsel yükü azaltacağı düşünülmüştür. Şekil 3.48'da birim küplerden oluşan basit bütünleşik yapı, onun ön taraftan görünüşü ve Pınar'ın ön görünüş için yaptığı çizim yer almaktadır. Öğretim seansında Pınar'ın konu dışı yükünü azaltmak için Cabri3D'deki oklara odaklanması sağlanırken, etkili yükü artırmak için çizimini nasıl yaptığını Cabri3D ile bağlantılı olarak anlatması istenmiştir:

P: Bişey sorucam ön yüz dediği burdaki sol yüzüm mü?

A: Evet, burdaki okların işaretlediği şekilde, senin ön tarafın belirtiliyor

P: Şimdi önden halini çizdim

A: Bu çizdiklerini tarif edermisin?

P: Burdan baktığımda şurayı, şurayı ve şurayı görürüm (Cabri 3D ve kendi en alt satırındaki 3, 4 ve 5 nolu üç kare arasında bağlantı kuruyor) ve bunları aynı hizada görürüm, şu an böyle arkaya doğru gidiyor ama aynı hizada görürüm, ve üstünü de görürüm şu ikisini (Cabri3D'de ön taraftan bakılınca sol üstteki 1 ve 2 nolu iki kareye işaret ediyor ve kendi çizimi arasında bağlantı kuruyor), ama bunun üstündeymiş gibi görürüm (Cabri3D'de ve çiziminde 3 nolu kare), evet böyle önden.

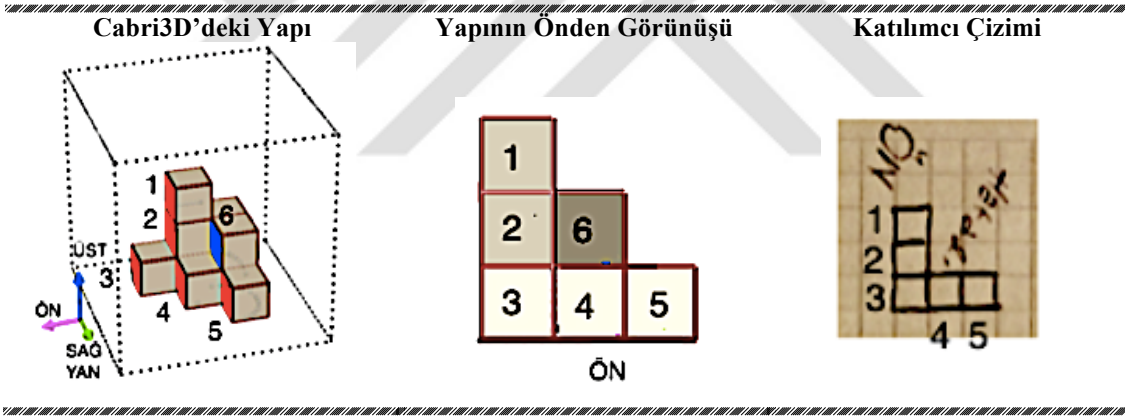
Katılımcının Cabri3D'deki küpler üzerindeki kareler ile kendi çizimindeki kare arasında bire bir eşleştirme yapması, materyalin onun dış bilişsel yükünü azaltmaya etkisini göstermektedir. Fakat katılımcı yapının ön görünüş çiziminde, 3B'li yapıda ön tarafta geride kalan küpün görünmesi gereken kare yüzünü çizmemiştir, bu ise doğrudan görünüşe yapı üzerinde bulunan bir yüzün yansıtılmayarak Y1 hatası yapılmasına neden olmuştur. Böylesi bir durumda katılımcıdan Cabri3D'nin özelliklerini kullanarak yapının 2B'li ön görünüşünü açması ve oradaki görüntü ile kendi çizimi arasında farklılık olup olmadığını kontrol etmesi istenmiştir. Böylece katılımcının dış bilişsel yükü azaltılmaya çalışılmıştır. Bu durumla ilgili olarak Pınar ve araştırmacı arasında geçen diyaloglar şu şekildedir:

A: Bir karşılaştır bakalım kendi çiziminle (Cabri3D'de yapının ön taraftan görünüşü açılıyor)

P: Hıı, şurayı unutmuşum ben

A: Neyi unutmuşsun?

P: Şurdaki yüzü unutmuşum ben, gerideki yüzü (Cabri3D'de 3B'li yapıda 6 numaralı yüz)



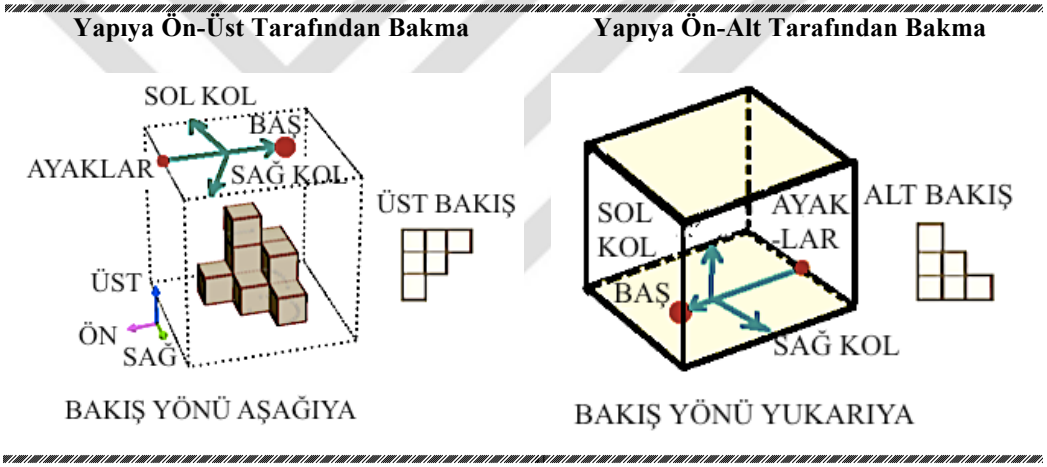
Şekil 3.48. *Yönelim Bölümü Birinci Öğretim Seansı Pınar Örneği-1*

Pınar hatasını fark ettikten sonra Cabri3D'deki görüntü kapatılmıştır. Katılımcının etkili yükünü artırmak için görünüş hatasını düzeltmek istese nasıl düzelteceğini anlatması ve başka bir renk kalemle hatasını düzeltmesi sağlanmıştır. Böylece katılımcı Cabri3D'deki 2B'li görünüş ve Cabri3D'deki 3B'li görünüş arasında bağlantı kurarak hatasını fark etmiş ve yapının belirli bir yönden elde edilecek görüntüsü ile ilgili kavramsal şemasında değişiklik meydana gelmiştir.

Katılımcılar bilhassa yapının üst ve alt görünüşünü çizme görevlerinde yapıya kendilerini yönlendirmede problemler yaşamaktadırlar. Çünkü bu iki görev türünde katılımcıların yapının ön tarafını referans alarak yapının üst ve alt görünüşünü çizmeleri

gerekmektedir. Yapıya üstten ve alttan yönelme görevlerine aşina olmayan katılımcılar, yapıya kendilerini yönlendirmede sorunlar yaşamaktadırlar. Yapıya üst ve alttan yönelme görevleri, onların bilişsel yüklerinde artış meydana getirmektedir. Bu ise belirtilen görevlerde Y4 hatası yapılmasına neden olmaktadır.

Her ne kadar Cabri3D materyallerinde ilgili yapıya nereden bakılacağı ok yön ve etiketleri ile verilmiş olsa da, bunun üst ve alt görünüş görevlerinde katılımcıların dış bilişsel yüklerini azaltmada etkisi olmadığı, katılımcıların bu yön etiketlerini anlamlandıramadıkları tespit edilmiştir. Bu nedenle öğretim seansı sırasında araştırmacı vektörler ile yapının içinde yer aldığı küp üzerine katılımcıların yönelimlerini resmetmeye çalışmıştır (Bkz. Şekil 3.49). Katılımcıların yönelimleri, baş, sağ ve sol kol ile ayalarının konumları temsil edilerek gösterilmiştir.



Şekil 3.49. *Yönelim Bölümü Birinci Öğretim Seansında Yapıya Ön-Üst ve Ön-Alt Tarafından Yönelme*

Birim küplerden oluşan basit bütünleşik yapının üst görünüş çizimine görevde belirtilen şekilde yönelemeyen Melis'in, dış bilişsel yükünü azaltmak için yapıya üstten nasıl yönelmesi gerektiği anlatılarak, Cabri3D'de gösterilmiştir (Bkz. Şekil 3.49'da solda). Böylece katılımcının materyalden kaynaklı dış bilişsel yükü azaltılmaya çalışılmıştır. Bu durumla ilgili araştırmacı ve Melis arasındaki diyaloglar şu şekildedir:

M: Üst ön tarafa nasıl bakacağımı belirleyemiyorum hocam.

A: Şurdasın (Cabri3D'de küpün ön etiketle belirtilen üst ayrıtına bir doğru çiziyor), mesela ayaların burda, böyle aşağıya doğru bakıyorsun, kafan burda, ayakların burda (bir vektör alıp, başlangıç noktası küp ayrıtının ortasında olacak biçimde vektörü yapıyı işaret edecek biçimde gösteriyor), hatta kollarını da çizeyim, kollarından birisi burda diğeri de burda duruyor, (vektörün bitiş noktasını kalınlaştırıyor) burdasın ve aşağıya bakıyorsun.

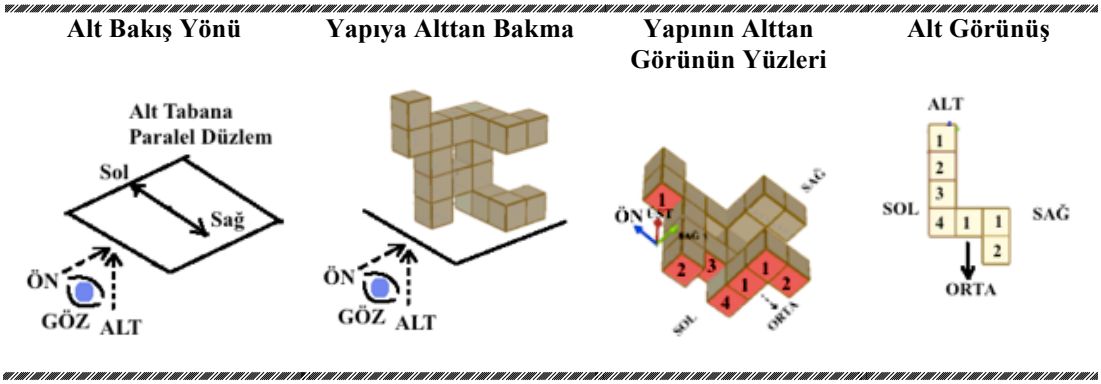
Cabri3D materyallerine eklenen temsili insan figürü ile yönelme eyleminin kavramsallaşmamasından kaynaklanan toplam bilişsel yük, dış yükün azaltılması ile optimum düzeye indirgenmiştir.

Y3 konumlandırma hatasının önüne geçmek için ise katılımcıların 3B'li yapıya istenen yönden bakmalarının yanı sıra, 3B'li yapıda görünecek kısımların konumları ile kendi çizimlerinde o kısımların konumları arasında bağlantı kurmaları gerekmektedir. Katılımcılar yapıya kendilerini yönlendirdikten sonra, kendilerine göre sağda, solda, üstte ve altta neler göreceklerini tarif etmeli ve bunları çizimlerine doğru bir şekilde yansıtmalıdırlar. Katılımcıların kendi vücutlarını referans alarak yapının ve çizimlerinin neresinde ne yer alacağını belirlemeleri onların iç bilişsel yükleri ile bağlantılıdır ve bu tür tarifler bireyler tarafından günlük hayatta sık sık kullanılmaktadır. Şekil 3.50'de birim küplerden oluşan bütünleşik olmayan bir yapı ve onun alttan görünüşleri yer almaktadır. Öğretim seansında katılımcıların etkili yükünü artırmak için bu yapı gösterilip, ona yapının ön-alt tarafından bakıldığında elde edilecek görüntüyü yeni yönelimlerini referans alarak tarif etmeleri istenmiştir. Tuğçe yapının ön-alt tarafına kendini yönlendirerek yeni vücut yönelimine göre elde edilecek görüntüyü şu şekilde tarif etmiştir:

A: Şimdi neleri görüyorsun?

T: Şuraya alt yazim, alta şöyle baktım ben, cismi şöyle kaldırıcam, öncelikle soldan başladım çizmeye, bunların altını görücem şu üst yüzeyim, şunların göremediğim altlarını görücem, şunu görücem, şunu görücem, şunların altlarını görücem, yani sol tarafta bir iki üç dört tane yüzey görücem (Bkz. Şekil 3.50'de üçüncü sıradaki yapıda 1, 2, 3 ve 4 ile etiketlenen yüzler), ondan sonra bir tane arada (4 ile etiketlenen yüzün sağında yine 1 rakamı ile etiketlenen yüz), sonra iki tane de üst üste bu şekilde (en sağdaki 1 ve 2 ile etiketlenen yüzler), bir bakim (Cabri3D'den alt görünüşe bakıyor).

Bir katılımcı yapıya görevde istenildiği gibi kendini yönlendirip, elde edilecek görüntüyü yeni yönelimine göre tarif edemediği zaman, onun materyalden kaynaklanan konu dışı yükünü azaltmak için yapı görevde istenilen bakış yönüne göre çevirip inceleyebileceği ya da Cabri3D'den elde edilecek görüntü açıp inceleyebileceği belirtilmiş ve etkili yükünü artırmak için görüntüyü mevcut yönelimine göre tarif etmeleri sağlanmıştır. Tuğçe'nin Şekil 3.50'de yer alan yapıyı çevirerek incelemesi konu dışı yükünü azaltmıştır. Tuğçe'nin, Şekil 3.50'de yer alan yapının alt görünüşünü 'sol tarafımda üst üste birbirine eş dört kare, onun hemen sağında alttaki kare ile aynı hizada bir birim kare daha görürüm' şeklinde tarif etmesi, etkili yükünde artış meydana geldiği anlamına gelmektedir.



Şekil 3.50. *Yönelim Bölümü Birinci Öğretim Seansı Tuğçe Örneği-1*

Yönelim bölümü ikinci öğretim seansına geçişte, katılımcıların birinci seansla birim küplü yapıların farklı yönlerden görünüşlerini doğru bir şekilde çizebilmek için ve yapılara görevde istenilen şekilde yönelebilmek için gerekli şemaları edinmeleri ve eğik yüzlere sahip yapıların farklı yönlerden görünüşlerinde yaptıkları hataların farkına varmaları etkili olmuştur.

3.2.3.2. *İkinci öğretim seansı*

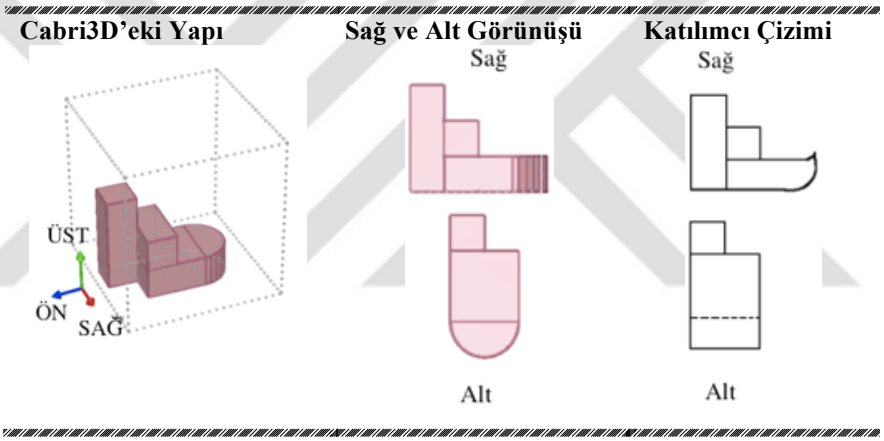
Katılımcıların yapıların çoklu görünümleri ile ilgili kavram şemalarının gelişimi göz önünde bulundurularak, ikinci öğretim seansında onların aşağıda yer alan yapıların görünüş çizimlerini inşa etmelerini gerektiren etkinlikler üzerinde durulmuştur, böylece onların asıl yükleri optimum düzeyde tutulmaya çalışılmıştır: 'Eğik yüzlere sahip orta derece karmaşık, bir eğrisel yüze sahip orta derece karmaşık, eğik ve eğrisel yüzlere sahip karmaşık, dört eğrisel yüze sahip karmaşık yapı'. İlk seansta belirlenen yön sıralaması bu seansta da aynen takip edilmiştir.

Öğretim seansında katılımcıların Y1, Y2, Y3 ve Y4 hatalarını ve görevlerin algılanan zorluğu ile doğrudan ilişkili bilişsel yüklerini azaltmak için birinci öğretim seansında yapılan etkinliklerle benzer etkinlikler yapılmıştır. Bu öğretim seansında katılımcıların konu dışı yüklerini azaltmak için Cabri3D materyallerinin nasıl tasarlandığı ve etkili yüklerini artırmak için katılımcılara ne tür sorular yöneltildiği aşağıda yer almaktadır:

(i) *Konu dışı bilişsel yük için:* Yapıyı, bireylerin uzunluk ölçüleri hakkında orantısal muhakemelerini kullanarak eş birimlere ayırabilecekleri şekilde tasarlama, bilhassa eğik yüzler ve daire dilimleri için belirli açı ölçüleri kullanma, örneğin, 45, 60 ve 90 derece gibi.

(ii) *Etkili bilişsel yük için:* Yapının görünüş çizimi yapmadan önce, ondaki orantısal ilişkileri zihinlerinde canlandırmaları ve anlatmaları için teşvik etme ve yapının farklı yönlerden görünüşleri arasındaki benzerlik ve farklılıklarını anlatmalarını isteme

Öğretim seansı sırasında Melis, Pınar ve Özge'nin, eğik ve eğrisel yüzlerin uzaktan ve belirli bir yönden nasıl görüneceği ile ilgili muhakemede bulunamadıkları gözlenmiştir. Cabri3D'de yapının belirtilen yönden 2B'li görünümü açılarak katılımcıların yapıya uzaktan baktıklarında elde edilecek görüntü sunulmuştur, böylece katılımcıların konu dışı bilişsel yükleri azaltılmaya çalışılmıştır. Şekil 3.51'de eğrisel yüze sahip orta derece karmaşık bir yapı, onun sağ ve alt görünüşleri ile Özge'nin görünüş çizimleri yer almaktadır. Öğretim seansı sırasında katılımcının yapının sağ ve alt görünüşünü doğru çizemediği görülmüştür.



Şekil 3.51. *Yönelim Bölümü İkinci Öğretim Seansı Özge Örneği-1*

Öğretim seansında Özge'den Cabri3D'deki sağ görünüşü açması (Bkz. Şekil 3.51) ve kendi çizimi ile karşılaştırması istenerek, konu dışı yükü azaltılıp, etkili yükü artırılmaya çalışılmıştır. Öğretim seansında katılımcı ve araştırmacı arasında geçen diyaloglar şu şekildedir:

A: Bir bak bakalım (Cabri3D'deki görüntüyü açıp kontrol etmesini istiyor), nasılmış?

Ö: Doğru da şurası işte (çiziminin sağ uç kısmını gösteriyor), şu an düz gibi gözüküyor, aslında oval gibi olmalı bilmiyorum böyle, anlamadım

A: Şimdi cisme çok uzaktan baktığını düşün, nasıl görürsün?

Ö: Dikdörtgen, dik dikdörtgen (çiziminde düzeltme yapıyor)

A: Şimdi burasının uzunluğu ne kadar (çizimindeki sağ uç kısımda yarım silindirin sağdan ne kadar uzunlukta görüneceği ile ilgili muhakeme edip etmediğini sorguluyor)?

Ö: Yarıçapı kadar, burdan en ucunu görebiliyorum, en ucu da neresi oluyor yarıçapın bittiği yer

Katılımcı Cabri3D'de yer alan yapıya sağdan bakınca, yapıdaki yarım silindir şeklindeki kısmın eğriselliğinin görüntü çizimine de yansıyacağını düşünmüştür. Fakat o, yapının 2B'lu görüntüsünü inceleyince bu kısmın aslında eğrisel değil de düz olarak görüneceğini gözlemlemiştir. Bu katılımcının sahip olduğu kavram şemasında, 'aslında eğrisel olan yüzeyler uzaktan bakılınca düz görülecektir' biçiminde bir değişiklik yaratsa da, onun yapının görünüş çiziminde görülecek şeklin geometrik özelliklerine odaklandığını göstermemektedir. Katılımcının dikkati 'dikdörtgen şeklindeki yapının eninin yarım silindirin yarıçapı ile aynı uzunlukta ve dikdörtgenin boyunun silindirin yüksekliği ile aynı uzunlukta' olduğuna çekilmiştir, böylece katılımcının dış yükü azaltılıp, etkili bilişsel yükü artırılarak yeni dik silindirin yanlardan görünüşü ile ilgili yeni şema kazanımı hedeflenmiştir.

Eğik ve eğrisel yüzeye sahip yapıların görünüşünde Y2 hatası yapmalarının yanı sıra Y3 yani konumlandırma hatası da yapmaya devam eden Özge ve Pınar, 3B'li yapıda görülecek ayrıtların, köşelerin ve yüzlerin birbirine göre konumlarını belirlemede ve çizimlerinde bu ögelerin konumları arasında bağlantı kurmada problemler yaşamaktadırlar. Bu tür durumlarda katılımcıların gerek Cabri3D'deki 3B'li yapıda ögelerin konumları gerek de Cabri3D'deki 2B'lu görünüşteki ögelerin konumları ile kendi çizimleri arasında bağlantı kurmaları ve her bir ögenin çizimlerinde nerede bulunacağını zihinlerinde belirleme ve anlatmaları, dış ve etkili bilişsel yüklerinin azalmasını sağlamıştır.

Şekil 3.52'de eğrisel yüzlere sahip karmaşık bir yapı, onun üst görünüşü ve bununla ilgili olarak Pınar'ın yaptığı çizim yer almaktadır. Yapının üst görünüşünü hatalı çizen Pınar ve araştırmacı arasında geçen diyaloglar şu şekildedir:

P: Çizemiyorum.

A: Şimdi, neler çizdin?

P: Üstte bunları görürüm (Bkz. Şekil 3.52'de 1, 2 ve 3 rakamı ile etiketlenen yüzler).

A: Tamam üstte bunları gördün, inceliğini fark ediyormusun, yukardan baktığında inceliğini farkeder misin (Bkz. Şekil 3.52'de 3 numaralı yüz)?

P: Farketmem de, çizerken özen gösterim dedim. Sonra, solda yarım çember görürüm demiştim, onu çizdim, yaa hocam yaaa, üst ile altı neden çizemiyorum ben? Ovali nasıl çizcem şimdi (Bkz. Şekil 3.52 de 4 numaralı yüzey)?

A: Tepeden bakıyorsun uzaktan, nasıl gözükecek o?

P: Düz mü gözükecek yinee, düz gözüksün.

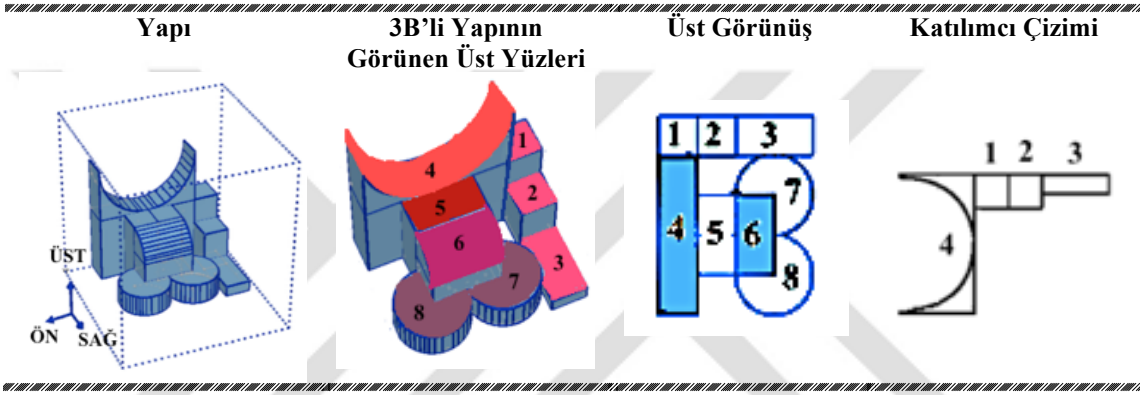
A: Kaç birim olucak? nerde başlayıp nerde biticek?

P: 4'e bir olur herhalde, ben şurayı görcem çünkü.

A: Bu 4'e 1'lik yer nerde başlıyor? üst kısım için çizdiklerinin altında mı, sağında mı, solunda mı?

P: Altında altında.

Araştırmacı katılımcının etkili bilişsel yükünü artırmak için yapının hangi yüzlerini nasıl ve nerede göreceğini zihninde canlandırması, düşünmesi ve açıklaması için yönlendirmelerde bulunmuştur, böylece onun yapının görünüşünü çizme ile ilgili mevcut şemalarını geliştirmek istenmiştir.



Şekil 3.52. *Yönelim Bölümü İkinci Öğretim Seansı Pınar Örneği-1*

Öğretim seansı sırasında katılımcılardan yapının belirli bir yönden görünüşü çizerken, yapıdaki ayrıtların uzunlukları ve açı ölçüleri ile ilgili muhakemede bulunduktan sonra anlatmaları istenmiş, böylece onların etkili bilişsel yükleri artırılmıştır, yapının bireylerin gözlemleyerek orantısal ilişkiler hakkında çıkarımlarda bulunabilecek şekilde tasarlanması ise onların dış bilişsel yüklerini azaltmada etkili olmuştur. Şekil 3.53'de eğrisel yüze sahip orta derece karmaşık yapı yer almaktadır. Melis bu 3B'li yapının en, boy ve yüksekliğini yapıdaki geometrik özelliklerden ve orantısal ilişkilerden yararlanarak belirlemiştir.

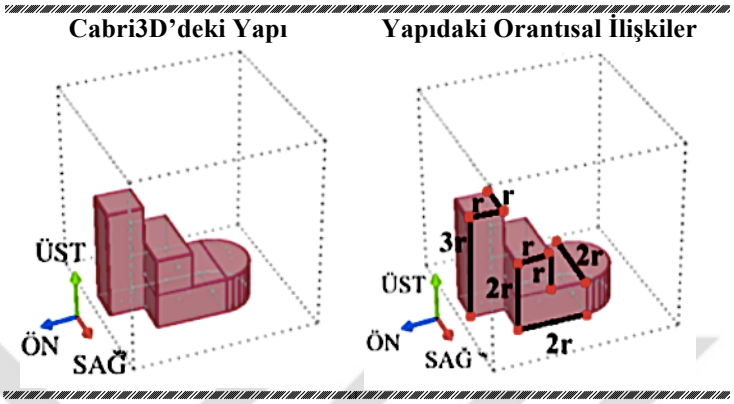
Melis, bir uzunluk birimi belirleyerek yapının en, boy ve yüksekliğini o birim cinsinden ifade ettiğini şu şekilde anlatmaktadır:

A: Oranları nasıl belirleyeceksin onu bir tarif edermisin, çizeceğin şekli?

M: Mesela 2 ye 6 olarak belirlerim, çünkü kareleri yani küpleri 2 ye 2 olarak belirleyeceğim, iki tane olduğundan 2 ye 4 uzunlukta olucak, ama yandaki dikdörtgen iki üst üste küpün yani bir küp uzunluğunda, bir küp daha uzunluğunda olucaktır, şurda kalan kısım (Cabri3D'de yapıdaki en uzun sütunun

üst kısmına eli ile dokunuyor) bir küp gibi daha duruyor ya, o yüzden onu 2 ye 6 belirleyeceğim, diğerlerini 2 ye 2 belirleyeceğim.

Şekil 3.53'de solda yer alan uzunluk etiketleri, Melis'in söylemlerinden yola çıkılarak oluşturulmuştur.



Şekil 3.53. *Yönelim Bölümü İkinci Öğretim Seansı Melis Örneği-1*

Öğretim seansında katılımcıların yapının farklı yönlerden görünüşleri arasında benzerlik ilişkileri kurmasını sağlamak için onlardan çizimlerini tamamladıktan sonra, elde edilen görüntüleri karşılaştırmaları ve görüntüler arasındaki benzerlik ve farklılıkları belirledikten sonra anlatmaları istenmiştir, böylece katılımcıların etkili bilişsel yükleri artırılmıştır. Katılımcılar, gerek Cabri'den elde ettikleri altı görünüşü karşılaştırarak, gerek kendi çizimlerinden yararlanarak, ön ile arka, sağ ile sol ve üst ile alt görünüşler arasındaki simetriklik ilişkisini fark etmiştir. Görüntülerin dış konturları arasındaki simetrik ilişkinin şema haline geldiği katılımcılar, farklı yapıların görünüş çizimlerine bunu yansıtmışlardır. Şekil 3.54'de yer alan yapının ön, sağ ve üst görünüşlerini doğru bir şekilde çizen Tuğçe, simetri ile ilgili şemasından yararlanarak arka, sol ve alt görünüşün nasıl olacağı ile ilgili tahminlerini şu şekilde anlatmıştır:

(Arka görünüş)

A: Yapıya bakmadan bir tahmin eder misin arka görünüşünü?

T: Şimdi önden bakıyorsam ben bu cisme, arkadan baktığımda ben bu cisme benim sağım ve solum yer değiştirecektir, bu yüzden bunu çizerken, solda gördüğümü sağa, sağda gördüğümü sola çizersem arkadan görünümünü elde etmiş oluyorum, bunu kullanarak çiziyorum

(Sol görünüş)

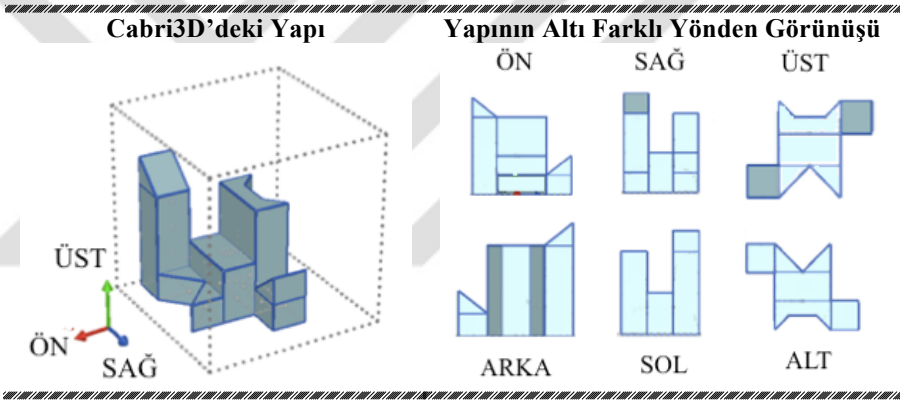
T: Şimdi, sağdan görünümüm buysa, ben bunun cismin neresine geçiyorum, arkasına geçiyorum, ıı buna baktığımda şu şekilde olucaktır, benim buda sağ görünen yanım artık sol tarafım olucaktır, bu yüzden buna göre çizicem ben bunu

(Üst görünüş)

T: Üste geldiğimde ise, ben üste böyle bakıyorsam, alta benim bunun altından bakmam gerekiyor, ben buna altından baktığımda üst ve altım farklılaşacaktır, değişecektir, yani ne demek istiyorum, üstten görünüm buysa, alttan bunu çevirdiğimde, üste buradaki alt yer gelicektir, bunu da bu şekilde çizicem.

Cabri3D'deki eğik yüzlere sahip karmaşık yapı ve onun Cabri3D'deki altı farklı yönden 2B'lu görünüşleri Şekil 3.54'te yer almaktadır.

Yapıların çoklu görünüşlerini çizmede uzmanlaşmış katılımcıların, yapının en, boy ve yüksekliğini aynı birim cinsinden ifade edebildikleri, eğik ya da eğrisel yüzlerin nasıl görüneceğini belirleyebildikleri ve farklı görünüşler arasındaki simetri ilişkisini anlamlandırabildikleri gözlenmiştir. Üçüncü seansa geçişte, katılımcıların genel olarak karmaşık yapıların farklı yönlerden görünüşünü çizmede hata yapmamaları ya da daha az oranda hata yapmaları ile bu tür görevleri yapabileceklerini düşünmeleri etkili olmuştur.



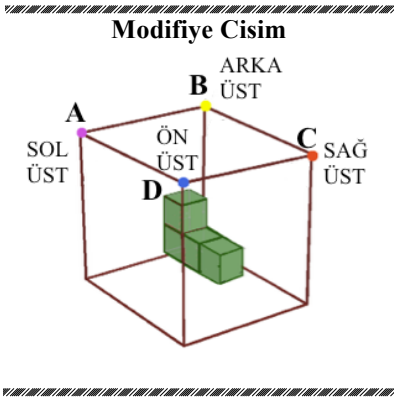
Şekil 3.54. *Yönelim Bölümü İkinci Öğretim Seansı Tuğçe Örneği-1*

3.2.3.3. *Üçüncü öğretim seansı*

Yönelim üçüncü öğretim seansı kapsamında katılımcılar 'küpün ortasında bulunan modifiye ve kombine bir cisme küpün üst köşe noktalarından birinden bakıldığında elde edilecek görüntüyü anlamlı bir yol içerisinde tarif ettikten sonra, izometrik kâğıt üzerine inşa etme' etkinliklerini yapmışlardır. Katılımcıların öğretim seansı boyunca iç bilişsel yüklerini optimum seviyede tutmak için küpün içerisine önce karmaşıklık derecesi giderek artan iç bükey prizmalar (Birim küplerden oluşmuş L şeklinde (ya da iki basamaklı merdiven biçiminde) prizmalar, eğik bir yüze sahip iç bükey prizmalar gibi), sonra kombine cisimler (kare prizma ve küpün kombine edilmesiyle oluşan cisim, L şeklindeki iç bükey prizma ve küpün kombine edilmesiyle oluşan cisim gibi) yerleştirilmiştir. Öğretim seansında katılımcıların öğretimden kaynaklanan etkili ve

materyalden kaynaklanan konu dışı bilişsel yüklerini optimum düzeyde tutmak için şunlar yapılmıştır:

(i) *Konu dışı bilişsel yük:* Seansa özgü Cabri3D materyallerinde, küpün dört üst köşe noktası aynı büyüklükte, belirgin ve farklı renklerde oluşturulmuştur. Küpün sol, arka, sağ ve ön üst köşe noktaları sırayla A, B, C ve D harfleri ile etiketlenmiştir (Bkz. Şekil 3.55). Küpün ortasına birim küp ya da kesik birim küplerin birleştirilmesi ile elde edilmiş, iç bükey prizmalar yerleştirilmiştir. Bunun amacı, katılımcıların cismin genişlik, derinlik ve yükseklik boyutlarını gözlemleyerek, uzunluk ölçülerini belirleyebilmelerine fırsat tanımaktır. Eğer bir katılımcı küpün üst köşe noktalarından birine kendini yönlendiremiyorsa, belirlenen köşe noktası ve o köşe noktasından geçen dikey ayrıt üzerine bireyin cisme nasıl baktıklarını gösteren temsili bir insan figürü yerleştirilmiştir. Ayrıca katılımcılar cisme belirtilen noktalardan baktıklarında elde edilecek görüntüyü zihinlerinde canlandırıp, tarif ettikten ve çizdikten sonra, çizimleri ile oluşacak görüntüleri karşılaştırmalarına olanak tanımak için bakış noktalarına göre cismin küp içerisindeki görüntüsünü veren Cabri3D materyalleri oluşturulmuştur. İzometrik kâğıt üzerine görüntünün tutarlı bir şekilde inşa edilebilmesi için Cabri3D'deki cisim küp içerisine yerleştirilirken yönelimine dikkat edilmiştir, bunun amacı katılımcıların cisim ve küp ayrıtları arasında paralellik ilişkisi kurabilmelerini sağlamaktır.



Şekil 3.55. *Yönelim Bölümü Üçüncü Öğretim Seansında Küpün Ortasında Bulunan Cisim ve Küpün Üst Köşe Noktaları*

(ii) *Etkili bilişsel yük:* Katılımcılardan küpün sağ, arka, sol ve ön üst noktalarından cisme baktıklarında (Bkz. Şekil 3.55), (1) cismin hangi taraflarını göreceklerini zihinlerinde canlandırmaları ve sözlü olarak ifade etmeleri, (2) küpün bu üst köşe noktalarından birinde bulunduklarını hayal etmeleri ve yeni vücut yönelimlerine göre cismin hangi

kısımlarını nerede göreceklerini tarif etmeleri (Örneğin, cismin L şeklindeki sol yüzünü sağ tarafımda görürüm gibi) ve (3) elde edilecek görüntüyü anlatarak izometrik kağıda inşa etmeleri istenmiştir. Çizimlerde cismin ayrıt uzunlukları, ayrıtların birbirine paralel olması, küpün ayrıtları ile cismin ayrıtlarının birbirine paralel olması gibi kavram şemalarının kazanılmasına odaklanılmıştır.

İlk klinik görüşmelerde katılımcılara cisme küpün üst köşe noktalarından birinden bakıldığında cismin hangi kısımlarını göreceklerini zihinlerinde tam olarak canlandıramadıkları gözlemlenmiştir. Bu durumda katılımcıların elde edilecek görüntüyü zihinlerinde canlandırabilmeleri ve tarif edebilmeleri için araştırmacı tarafından çeşitli yönlendirmelerde bulunulmuştur. Bu duruma örnek olarak Şekil 3.56'daki küpün sol üst köşe noktasından bakma görevinde, Pınar ve araştırmacı arasında geçen diyaloglar verilebilir:

A: Var sayalım A noktasındasın, cismin ne taraflarını görürsün? bir tarif eder misin?

P: Şu an şu kısım bana göre ön olsun, ıı arkasını ve sol kısmını görürüm

A: Başka görebilir misin?

P: Bir de üst kısmını görürüm

A: Arkanın hepsini görür müsün?

P: Görürüm, tamamını görürüm

A: Solun hepsini görür müsün?

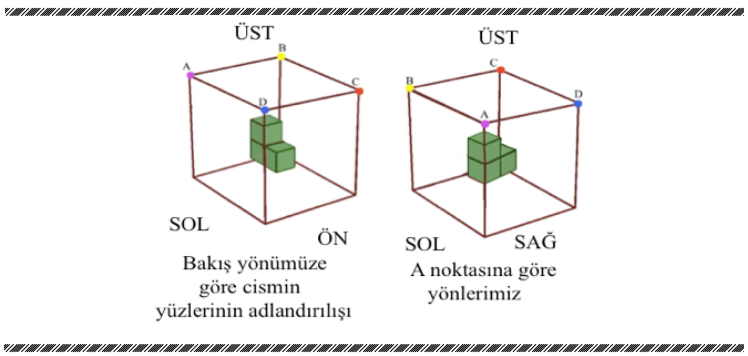
P: Görürüm

A: Üstün hepsini görür müsün?

P: Şurayı görürüm (tepedeki kare kısım) de şurayı görmem (yere paralel basamak), yani üstteki küpümün yüzünü görürken, alttaki küpümün üst yüzünü görmem

A: Hiç mi görmezsin?

P: Biraz görürüm, uç kısımlarını görürümde, şu orta kısımlarını görmem



Şekil 3.56. *Yönelim Bölümü Üçüncü Öğretim Seansında Yer Alan Modifiye Cismin Küpün Sol Üst Köşe Noktasından Görünüşü*

Katılımcıların cismin görünecek kısımlarını tarif ederken Cabri3D'deki cismin yüzlerine dokunarak ya da işaret ederek göstermeyi tercih ettikleri gözlenmiştir. Eğer katılımcılar görevde istenilen bakış noktasına göre cismin görünecek yüz ya da yüz parçalarını doğru bir şekilde ifade edememişlerse, onların konu dışı yükünü azaltmak için Cabri3D'de oluşturulan görüntüyü açarak, incelemeleri istenmiştir. Eğer katılımcılar cismin görünecek kısımlarını doğru bir şekilde belirlemişlerse, köşe noktasında bulunduklarını hayal edip, yeni yönelimlerine göre cismin hangi parçalarını nerede göreceklerini zihinlerinde canlandırıp, tarif etmeleri istenmiştir. Böylece onların etkili yükü artırılmaya çalışılmıştır. Bu durumla ilgili olarak araştırmacı ve Pınar arasında geçen diyaloglar şu şekildedir:

A: Burda A noktasındasın sağında ne görürsün? A noktasındasın ve kendine göre sağ tarafında cismin neresini görürsün?

P: Şu yan tarafını görürüm (cismin solunu gösteriyor), yani L harfi gibi olan yeri

A: Mesela sol tarafında ne görürsün? kendine göre sol tarafında cismin neresini görürsün?

P: Arkası mı var? yani şu dikdörtgeni var

A: Üstünde ne var?

P: Kare

Bu tür görevlerde katılımcılar küp üzerindeki noktaya kendilerini yönlendiremedikleri zaman, küpten cisme bakılan köşe noktası kullanılarak temsili bir insan figürü oluşturulmuştur, böylece onların materyalden kaynaklanan yükleri azaltılmaya çalışılmıştır. Katılımcılar yeni yönelimlerine göre cismin hangi parçasını nerede göreceklerini hala anlamlı bir yol içerisinde tarif edememişlerse, Cabri3D'deki görüntüyü açıp incelemeleri istenmiştir. Yeni yönelimlerine göre elde edilecek görüntüyü tarif edebilen katılımcılardan izometrik kâğıda tarif ettikleri görüntüyü çizmeleri istenmiştir. Cisme küpün üst köşe noktalarından bakma görevlerinde elde edilecek görüntüyü izometrik kâğıda inşa etmeyi bilmeyen katılımcılara, bir ya da iki örnekle, bakış yönüne göre 3B'li görüntüyü nasıl inşa edebilecekleri anlatılmıştır. Tuğçe ve Melis öğretim seansındaki bazı görevlerde elde edilecek 3B'li görüntüyü inşa etmede zorlanıp yönlendirmeye ihtiyaç duyarken, görevlerin çoğunda kendi başlarına oluşacak görüntüleri çizebilmişlerdir. Oysa Pınar ve Özge öğretim seansı boyunca görevlerin bazılarında yönlendirme olmaksızın görüntüyü inşa edebilirken, çoğunda yönlendirme olmaksızın çizimlerini tamamlayamamışlardır. Katılımcılar küpün belirli bir noktasından cismin nasıl gözükeceği ile ilgili çizimlerini tamamladıktan sonra onların dış yüklerini

azaltmak için Cabri3D'deki o noktadan bakılınca elde edilecek görüntüyü açarak çizimleri ile karşılaştırmaları istemiştir.

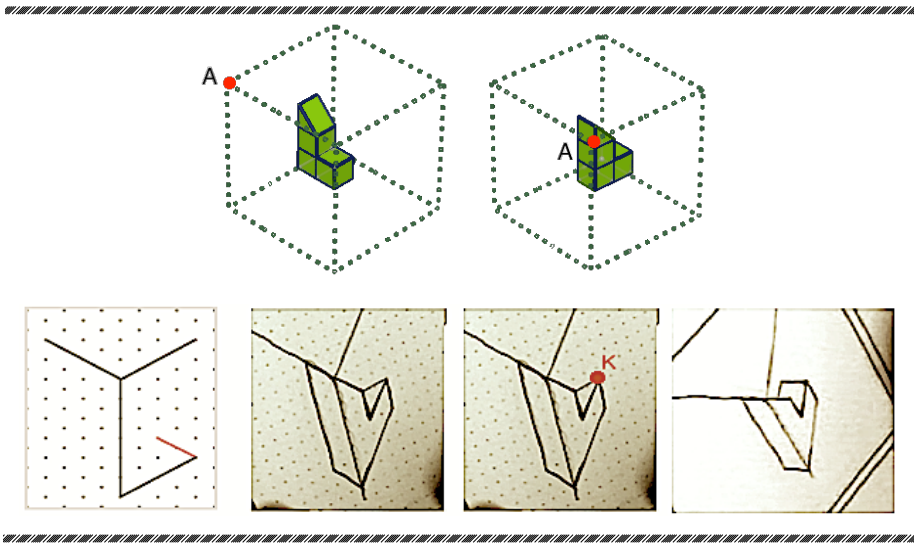
Görünüş inşa etme görevleri Pınar ve Özge'nin bilişsel yüklerinde artışa neden olmuştur. Öğretim seansı boyunca öğretmen adayları çizimlerini yaparken, Cabri3D'deki cismin ayrıtları ve küpün ayrıtları arasındaki paralelliklere dikkat çekilmesi onların konu dışı yüklerinde azalma meydana getirmiştir. Pınar ve Özge'nin cismin görüntüsünü inşa ederken hangi ayrıtı ve yüzü nasıl çizdiklerini anlatmaları etkili yüklerinde artış sağlamıştır. Bu durumla ilgili araştırmacı ve Özge arasında geçen diyaloglar şunlardır:

Ö: Sağımda şurası gözükücek L, napim şurayı 2 birim, 2 birim 2 birim alim, 4 birim de burası, sonra bir iki (sağ taraftaki ayrıta bitişik ve düşey konumda bulunan ayrıtı, eğik olarak çiziyor, bakınız şekil 3.57'de sağ taraftaki çizim)

A: Paralelliklere dikkat et sadece, neye paralel olucak orda alıcağın doğru parçası

Ö: Şuna (daha önce çizdiği düşey ayrıtı gösteriyor), sonra iki birim şuna paralel olmalı (taban ayrıtını işaret ediyor), sonra şurdan da bir iki birim, sonra şurası şurayla birleşecek, şimdi nerden bakıyordum ben, A'dan bakıyordum, bu sağımda, şurası nerem oluyor solumda, solumda da bi dakka hocam, şimdi hocam çizerken, solumda çiziyorum ya şunu, nasıl yapmam gerekiyor

Şekil 3.57'deki ilk satırda küp içerisindeki bir cisim ve onun A noktasından bakıldığında elde edilecek görüntüsü verilmiştir.



Şekil 3.57. *Yönelim Bölümü Üçüncü Öğretim Seansında Özge Örneği*

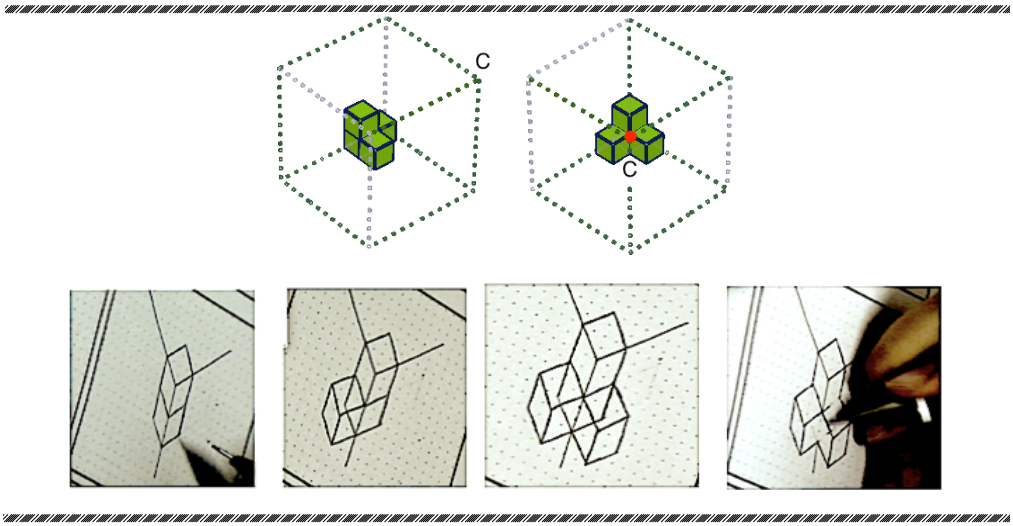
Şekil 3.57'deki ikinci satırda ise Özge'nin cisme A noktasından baktığında elde edeceği görüntüye ait çizim ve çizim hataları yer almaktadır. Özge'nin başlangıçta cismin ayrıtları arasındaki paralellik ilişkilerini göz önünde bulundurmaması bilişsel yükünde

artış yaratarak hatalı çizimler yapmasına neden olmuştur. Yapılan yönlendirmelerle katılımcının cismin görünüş çizimini doğru bir şekilde tamamladığı görülmüştür.

Öğretim seansının sonunda genel olarak katılımcıların Cabri3D'de yer alan cismin hangi kısımlarının, kendi yeni vücut yönelimlerine göre nerede olacağını tarif edebildikleri gözlenmiştir. Öğretim seansında Pınar ve Özge, izometrik kağıtlara cismin görünüşünü inşa etmede zorlanırken, Tuğçe ve Melis cismin karmaşıklığı artırılsa da, oluşacak görüntüyü izometrik kağıda inşa edebilmişlerdir. Şekil 3.58'de ilk satırda solda yer alan kombine bir cisme küpün sağ-üst köşe noktalarından birinden bakıldığında elde edilecek görüntüyü (Bkz. Şekil 3.58'deki ilk satırda sağdaki görüntü) nasıl inşa ettiğini Melis şu şekilde anlatmaktadır:

M: Şimdi ben desem ki şu en üst yüz, yüksek olan yüz, bu yüksek olan yüzden aşağılara doğru iniyorum, şimdi bu üst (yapının üst kısmını temsilen bir küp oluşturuyor), bu üstten ben çiziyorum şimdi, şimdi ben, bundan gelmeyi istiyorum (üst küpün hemen altına çizdiği küpten bahsediyor). Şimdi iki birim yükseklikte de bu onu kullanim dedim, ama bu arkada kalıcak (alt küpe işaret ediyor), bundan bi şu tarafa doğru (sol) bir bu tarafa doğru (sağ) şey çizmem lazım, küp çizmem lazım, o zaman şuna paralel şurdan kenar gelicem, şuna paralel (üst küpün sağ üst ayrıtına dokunuyor), şuna paralel böyle, burdan da, tamam bu bu tarafta (sol tarafa çizdiği küpü tamamlıyor), şimdi bu taraftan da paralel gelmem lazım onu da buna paralel çizicem (üst küpün sol üst ayrıtına dokunuyor), ve şunu da şuna, hıh (çizimini tamamlıyor).

Katılımcının küpün üst köşe noktalarından birinden (sağ üst köşe noktası, yani C noktası) bakıldığında elde edilecek görüntüyü inşa etme adımları Şekil 3.58'de yer almaktadır. Katılımcının çizimini Cabri3D'deki görüntü ile karşılaştırılması sağlanmıştır. Katılımcı çizimi ile görüntünün aynı olduğunu belirtmiştir.



Şekil 3.58. *Yönelim Bölümü Üçüncü Öğretim Seansında Melis Örneği*

Melis ve Tuğçe'nin küpün üst köşe noktalarından birinden bakıldığında elde edilecek görüntüyü izometrik kâğıda inşa edebilmesi, ilgili görevlerin bilişsel yükünün, katılımcıların çalışan bellek yükünü aşmaması ile yorumlanabilir, oysa öğretim seansında Pınar ve Özge modifiye cisimlerin görüntülerini inşa etmeye başlasalar da, cisimler karmaşıklaştıkça elde edilecek görüntüyü çizememişlerdir. Bu durum ise kombine cisimlere küpün üst köşe noktalarından bakma görevlerinin Pınar ve Özge'nin çalışan bellek kapasitelerini aştığı şeklinde yorumlanabilir.

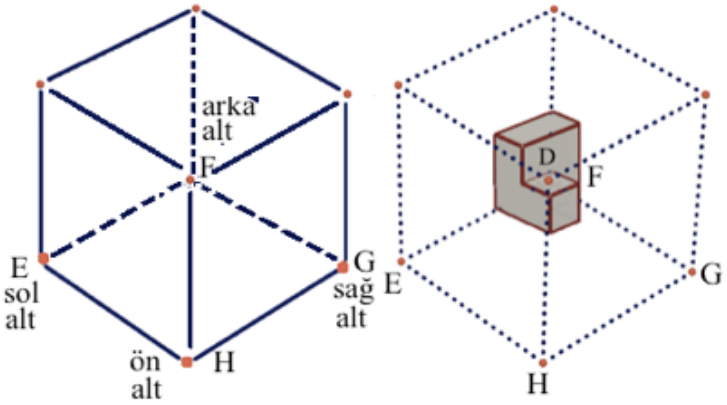
Öğretim seansında tüm katılımcıların küp ortasında bulunan modifiye cisme küpün üst köşe noktalarından birinden baktıklarında elde edilecek görüntüyü izometrik kâğıda çizebildikleri gözlenmiştir. Görevlerde uzmanlaşmış olanların ise daha karmaşık cisimlerin görünüş çizimlerinde bile zorlanmadıkları belirlenmiştir. Ayrıca tüm katılımcıların küp ortasında bulunan cisim ne kadar karmaşık olursa olsun, küpün üst köşe noktalarından bakıldığında elde edilecek görüntüleri tarif etmede zorlanmadıkları belirlenmiştir. Katılımcı kazanımları doğrultusunda öğretime dördüncü seansla devam edilmiştir.

3.2.3.4. *Dördüncü öğretim seansı*

Yönelim bölümü son öğretim seansı kapsamında katılımcılarla 'küpün ortasında bulunan bir cisme, küpün 'alt' köşe noktalarından birinden bakıldığında elde edilecek görüntüyü anlamlı bir yol içerisinde tarif ettikten sonra, izometrik kâğıt üzerine inşa etme' aktiviteleri gerçekleştirilmiştir. Katılımcıların asıl yüklerini optimum düzeyde tutmak için küpün ortasına basitten karmaşığa doğru, sırayla iç bükey prizmalar ve iki aşina cismin kombine edilmesi ile oluşmuş cisimler yerleştirilmiştir. Öğretim seansı kapsamında katılımcıların gerek etkili yüklerini gerek dış yüklerini optimum düzeyde tutmak için bu öğretim seansında, üçüncü öğretim seansındakilere benzer etkinlikler gerçekleştirilmiştir:

(i) *Konu dışı bilişsel yük:* Şekil 3.59'da E, F, G ve H noktaları sırayla Cabri3D'deki küpün sol, arka, sağ ve ön alt noktalarına işaret etmektedir. Şekil 3.59'da sağda, küpün ortasında kombine bir cisim yer almaktadır.

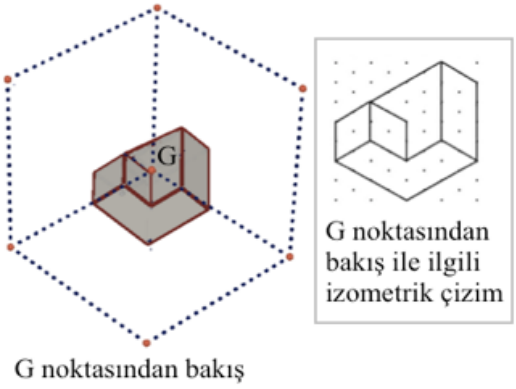
Küpün Alt Köşe Noktaları ve Küpün Ortasındaki Kombine Cisim



Şekil 3.59. *Yönelim Bölümü Dördüncü Öğretim Seansında Küpün Ortasında Bulunan Cisim ve Küpün Alt Köşe Noktaları*

Küpün tam ortasında bulunan cisimler, katılımcıların bakınca uzunluk ölçüleri hakkında kolayca muhakemede bulunabileceği şekilde tasarlanmıştır. Alt köşe noktalarına göre cismin görüntüsü için farklı Cabri3D materyalleri hazırlanmıştır, böylece katılımcıların küpün alt köşe noktalarından baktıklarında elde edecekleri görüntü ile ilgili tahminlerini kontrol etme fırsatı yakalamaları sağlanmıştır. Cabri3D materyalleri hazırlanırken cismin küp içerisindeki yönelimine dikkat edilmiştir, izometrik kâğıt üzerine inşa edilen görüntü ile arasında eş ya da benzerlik ilişkisi yakalanmaya çalışılmıştır (Bkz. Şekil 3.60).

Küpüm Sağ-Alt Köşe Noktasından Görünüşü ve İzometrik Çizim



Şekil 3.60. *Yönelim Bölümü Dördüncü Öğretim Seansında Modifiye Cismin Sağ Alt Köşe Noktasından Görünüşü*

(ii) *Etkili bilişsel yük:* Katılımcılar küpün sol, arka, sağ ve ön alt köşe noktalarında bulunduklarını ve vücutlarını bu noktalara, cisme belirtilen noktalardan bakmak için yönelttiklerini hayal etmeleri istenmiştir. Onlar bakış noktalarına göre cismin hangi kısımlarını gördüklerini belirledikten sonra, yönelimlerine göre cismin hangi kısımlarının nerede olacağını tarif etmeleri sağlanmıştır. Cismin belirlenen bir noktadan elde edilecek görüntüsünü inşa ederken katılımcılardan, cismin ayrıtlarının uzunlukları, dik ya da paralel oluşu, küpün ayrıtları ile olan ilişkisine dikkat etmeleri üzerinde durulmuştu, bu seansta onlardan bakış noktalarına göre cismin üzerindeki geometrik şekillerin, cismin ayrıtlarının ve küpün ayrıtlarının yönelimleri ile bakış noktasına göre cismin görünen kısımlarının konumları üzerine de odaklanmaları istenmiştir.

Üçüncü öğretim seansının ortalarından itibaren katılımcıların cismin görünen kısımlarını belirleyip sözlü olarak ifade etmede ve kendilerini noktanın bulunduğu yerde hayal edip yeni vücut koordinatlarına göre cismin hangi kısmının nerede yer alacağını tespit etmede ve bu durumu sözlü olarak ifade etmede sorun yaşamadıkları gözlenmiştir. Fakat küpün üst köşe noktalarından cisme bakıldığında elde edilecek görüntüyü inşa etme görevlerinde, katılımcıların cismin görüntüsünde sağda olması gereken yüzleri solda, solda olması gereken yüzleri ise sağda olacak şekilde çizebildikleri ve bazen cismin görüntüsünde cismin yüzlerinin önde ve arkada olması gereken kısımları hakkında muhakemede bulunamadıkları, örneğin, bakış noktalarına göre geometrik bir şeklin kısa kenarı önde, uzun kenarı arkada olması gerekirken, onların çizimlerinde uzun kenarı önde, kısa kenarı geride olacak biçimde çizimler yapabildikleri gözlenmiştir. Ayrıca, Pınar ve Özge'nin, cismin görüntüsündeki ayrıtların açısal yönlendirmelerinde hatalar yaptıkları, çizimlerinde ayrıt uzunluklarının ölçülerini ve paralelliklerini korumada sorunlar yaşadıkları gözlenmiştir.

Küpün alt köşe noktalarından cisme bakma görevlerinde, üçüncü seanstakine benzer biçimde başlangıçta katılımcıların cismin görünen kısımlarını belirlemede ve yeni vücut yönelimlerine göre cismin hangi yüzünü nerede göreceklerini ifade etmede zorluklar yaşadıkları gözlemlenmiştir. Öğretimden kaynaklanan etkili yükü azaltmak için katılımcılardan kendilerini belirtilen noktadan cisme bakıyor gibi hayal etmeleri ve cismin gördükleri ve görmedikleri kısımlarını ifade etmeleri istenmiştir. Şekil 3.61'de modifiye bir cisim ve ona arka alt köşe noktasından bakıldığında elde edilecek görüntüsü yer almaktadır. Öğretim seansında Tuğçe'nin bu görevde, cismin hangi kısımlarının

görüneceğini tam olarak zihninde canlandıramadığı gözlenmiştir. Bununla ilgili olarak Tuğçe ve araştırmacı arasında geçen diyaloglar şu şekildedir:

T: Cismi köşeden görücem, bu sefer E den baktığımda üstünü görmicem farklı olarak

A: Hangi yüzlerini görüyorsun? üstü görmüyorum dedin?

T: Başka, şu gördüğüm şu sağ yüzeyi görmüyorum, sol yüzeyi ve arka yüzeyi görüyorum, ondan sonra da başka burdaki üst yüzleri görmem dedim zaten, burdaki ön yüzleri de görmem, ben iki yüzey görüyorum zaten, şu ve şura (cismin sol ve arka yüzlerine işaret ediyor).

A: İki yüzeyini mi görüyorsun sadece?

T: Evet

Katılımcı cismin sadece iki tarafının görüneceğini bunların da cismin sol ve arka tarafı olduğunu söylemiştir, cismin alt yüzünün de görünmesi gerektiğini düşünememiştir. Katılımcının cismin görüntüsünü zihninde nasıl canlandırdığını anlamak için, ondan izometrik kâğıda elde edilecek görüntüyü çizmesi istenmiştir. Katılımcının gerçekten cismin iki yüzünü içeren bir çizim yaptığı belirlendikten sonra onun dış yükünü azaltmak için Cabri3D'deki E noktasından bakış görüntüsü ile çizimini karşılaştırması istenmiştir (Bkz. Şekil 3.61). Bu durumla ilgili Tuğçe ve araştırmacı arasında geçen diyaloglar şu şekildedir:

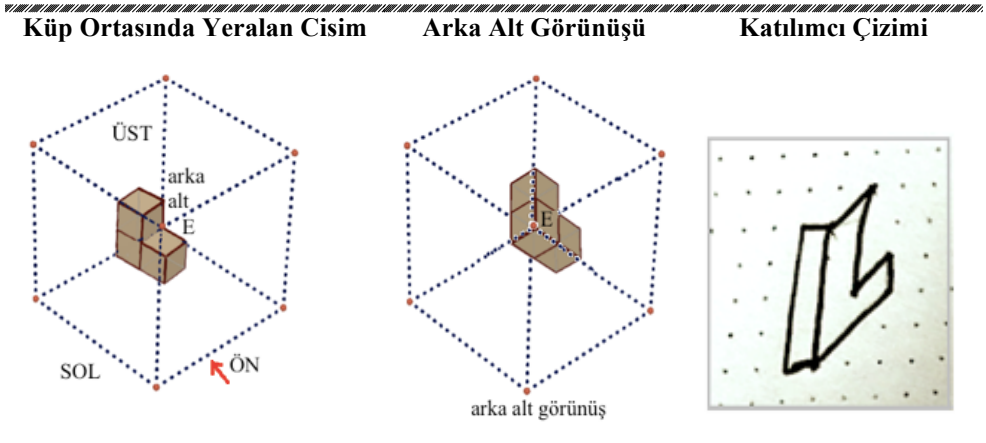
T: L yi çizdim daha sonra da bir birim çizim, aslında bu iki yüzeyi görüyorum da üstünü görmüyorum o yüzden üstünü çizmedim

A: Bi bakalım cismimize (Cabri3D'deki görüntü açılıyor)

T: Hıı alttan öyle, tamam anladım

A: Cismin hangi yüzlerini görüyorsun?

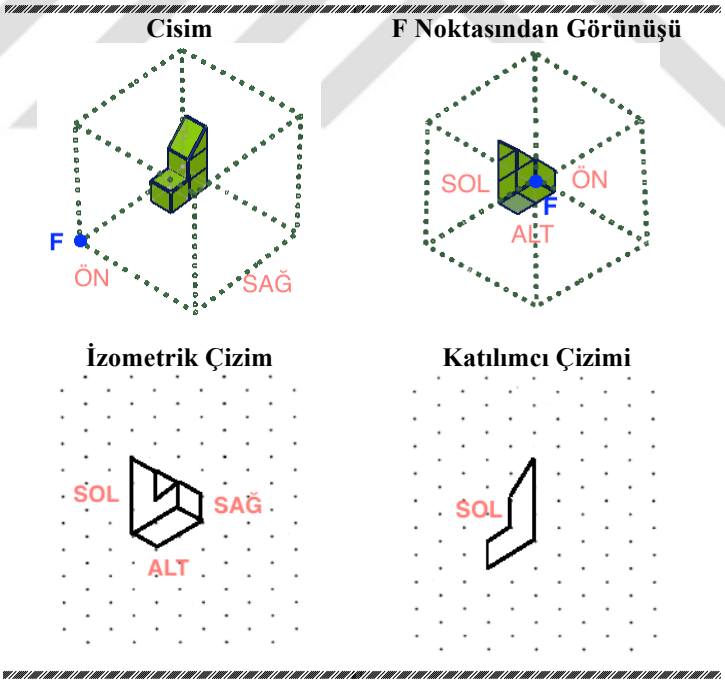
T: Cismin alt yüzünü görüyorum, üst yüzü göremiyorum, alt yüzey, sağ yüzey yani ilk cismin sol yüzeyini ve göremediğim arka yüzeyi görüyorum



Şekil 3.61. *Yönelim Bölümü Dördüncü Öğretim Seansı Tuğçe Örneği*

Cabri3D'deki görüntü katılımcıya sunularak konu dışı yükü azaltılmaya çalışılmıştır (Bkz. Şekil 3.61). Katılımcılardan üst görünüş görevlerinde elde edilen görüntülerle, alt görünüşte elde edilen görüntüler arasındaki benzerlik ve farklılıkları anlatmaları istenerek etkili yükleri artırılmaya çalışılmıştır. Şekil 3.61'de modifiye bir cisim, onun arka alt köşe noktasından görünüşü ve Tuğçe'nin bu görüntüyle ilgili yaptığı çizim yer almaktadır.

Katılımcılar alt görünüş görevlerinde üst görünüş görevlerinden daha fazla zorlanmışlardır. Katılımcıların cismin görünen yüzlerini ve bakış noktalarına göre cismin hangi kısımlarının nerede görüneceğini doğru bir şekilde ifade edebildikleri fakat cismin yüzlerinin duruş ve konumları hakkında muhakemede bulunamadıkları, bu nedenle izometrik kâğıt üzerine cismin görünen yüzlerini yanlış bir şekilde konumlandırdıkları gözlenmiştir. Böylesi bir durumda katılımcıların izometrik kâğıda bakış noktalarına göre cismin görünen yüzlerini nasıl konumlandıracakları ile ilgili yönlendirmeler yapılarak önce etkili yükleri azaltılmaya çalışılmıştır. Şekil 3.62'de Özge'nin modifiye cismin görünüşü ile ilgili olarak yaptığı çizim örneklendirilmiştir.



Şekil 3.62. *Yönelim Bölümü Dördüncü Öğretim Seansı Özge Örneği*

Yapılan yönlendirmelerle Özge Şekil 3.62'deki cismin görünüşünü nasıl çizmesi gerektiğini anlamıştır. Bu durumla ilgili araştırmacı ve Özge arasındaki diyaloglar şu şekildedir:

Ö: (Özge'nin görüntü ile ilgili tarifi) F'den, şimdi solumda cismin sol tarafı görünecek, sağımda ön tarafı, burası hiç görünmicek (cismin sağ tarafına kalemle işaret ediyor), altımda iki kare (katılımcı Şekil 3.62'deki çizimi yapıyor)

A: Sen hangi noktadan bakıyorsun şu anda

Ö: F

A: Şimdi solda çizdiğin kesik L gibi şeklinde duruşu nasıl olucak Cabri'den bakar mısın? Uç kısmı ne tarafta?

Ö: L bana doğru olucak yanlış yaptım

Katılımcıların Cabri3D'deki küpün köşe noktasında bulunarak bakış noktasından cismin yüz ayrıtlarının hangilerinin ne kadar uzakta olduğunu incelemeleri materyalden kaynaklanan dış yükte azalmaya neden olmasına rağmen Özge izometrik kâğıda bunlar ile ilgili muhakemede bulunmaksızın çizim yaptığı için sık sık hata yapmıştır.

Katılımcılardan cismin görünecek kısımlarını ve vücut yönelimlerine göre cismin görünen kısımlarının nerede bulunacağı tarif etmenin yanı sıra, onların düşüncelerine ait net bir imaj elde edebilmek için onlardan görüntüde yer alacak şekillerin yönelim ve konumlarına ait ipuçları da vermeleri istenmiştir. Bu şekilde onların cismin yüz şekillerinin yönelimleri ve ayrıtların konumları üzerine odaklanmaları sağlanarak etkili yükleri azaltılmaya çalışılmıştır. Küpün alt köşe noktasından cisme bakma görevinde Pınar ve araştırmacı arasında geçen diyaloglar şu şekildedir:

A: G noktasından bakarsak nasıl gözükür onu bir tarif et önce?

P: Şimdi G noktasından bakarsam, ön yüzüm tabanım ve sağ yüzüm görünür, şimdi tabanım altta gözükücek, ön yüzüm solda gözükücek, sağ yüzüm de sağda gözükücek ve nasıl olcak şimdi L harfim bana doğru geliyormuş gibi olucak, yani uzun tarafı L nin arka tarafta kalıcak, kısa tarafı önde kalıcak

Cismin yüzlerinin nerede ve nasıl görüneceği hakkında muhakemede bulunabilen Pınar, cismin köşe noktasından görüntüsünü inşa ettikten sonra, dış yükünü azaltmak için Cabri3D'deki görüntüyü açıp kendi çizimi ile karşılaştırması istenmiştir.

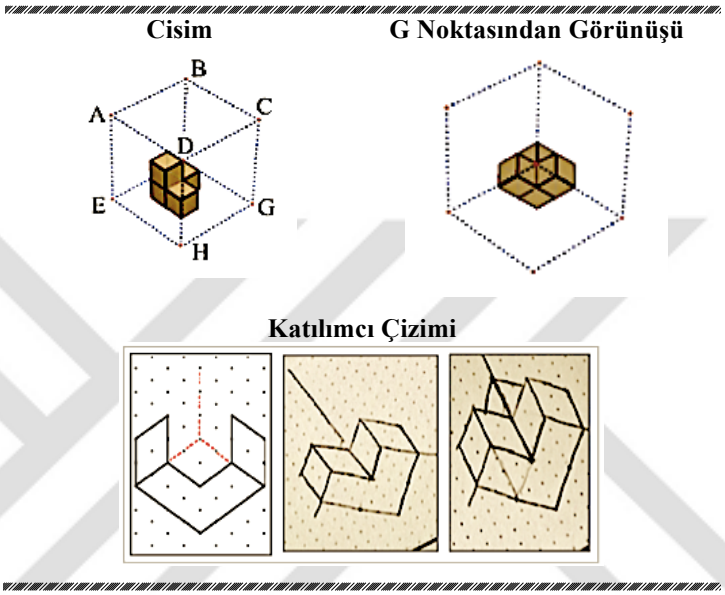
Öğretim seansı boyunca Melis, cismin küpün alt köşe noktalarından görünüşünü inşa etmede fazla zorlanmamıştır. Tuğçe ise bu görevlerde başlangıçta oldukça zorlanırken, öğretim seansının ortalarına gelindiğinde cisimlerin artan karmaşıklığına rağmen elde edilecek görüntüleri inşa edebilmiştir. Melis Şekil 3.63'deki aşina iki cismin kombine edilmesi ile oluşan cisme sağ alt köşeden baktığında oluşacak görüntüyü inşa etme sürecini şu şekilde tarif etmektedir:

M: Şimdi, ilk başta altından başlıcam, alt yüzünü çizcem, şimdi şurası boşluk olucak (L şeklinde tabanı inşa ediyor), şimdi sağda görücem yerleri çizmeye çalışıyorum, şu alt, şunu gördüm (kare şeklide tabana komşu sağ yüzü inşa ediyor), şuraya da bir tane daha bundan çizeyim (kare şeklinde tabana

komşu sol yüzü inşa ediyor), yukarda da bir tane daha küp görücek, (sessizlik ve katılımcı bir şey yapmadan bekliyor), devam edemiyorum

A: (Cabri3D'den katılımcının çizim yaptığı yerlere işaret ediyor) Şimdi şunu oluşturdun sanırım alttaki kısmı oluşturdun

M: Bir şunu oluşturdum, bir de şunu oluşturdum (Cabri'de ön ve sağdaki kare yüzlere işaret ediyor), orlardan buraya doğru gelicem, şimdi üste kat çıkmam gerekiyor, şuralardan çıkmam lazım, bu köşeden bir, iki, üç, ben burdan paralel inicem, tamam bu şekilde.



Şekil 3.63. *Yönelim Bölümü Dördüncü Öğretim Seansı Melis Örneği*

Şekil 3.63'de ilk satırda Cabri3D'deki kombine cismin ilk görüntüsü ile cisme küpün sağ alt köşeden bakıldığında elde edilecek görüntüsü, ikinci satırda ise Melis'in görüntüyü inşa etme süreci üç adım halinde aşamalı olarak sunulmuştur.

Elde edilen bulguların üçüncü öğretim seansı ile benzerlik taşıdığı gözlenmiştir. Katılımcılar izometrik kâğıda 3B'li çizim yapmada otomatikleşmedikleri için öğretim seansı sonunda bile çizim yapmalarını gerektiren görevler onlara zor gelmiştir. Yönelim bölümü son iki seansta acemi katılımcıların izometrik kâğıda sadece modifiye cisimlerin görünüş çizimlerini inşa edebilirken, görevlerde uzmanlaşmış olanların kombine cisimlerin görünüş çizimlerini de inşa edebildikleri belirlenmiştir. Küpün belirli bir köşe noktasından cismin hangi kısımlarının, nasıl görüneceğini tarif etmede ise hiçbir katılımcının zorlanmadığı gözlenmiştir. Katılımcı şema edinimleri ve kazanımları göz önünde bulundurularak yönelim bölümü seansları tamamlanmıştır.

3.3. BYT'ye Dayalı Öğretim Seanslarının Matematik Öğretmen Adaylarının Uzamsal Görselleştirme Becerilerinin Gelişmesine Etkisi

Öğretim seansları sonrası yapılan son yazılı değerlendirme görevlerinden katılımcı hata oranları hesaplanmış ve görevlerin algılanan zorluğu belirlenmiştir. Ön ve son yazılı değerlendirme katılımcı hata oranları ve görevlerin algılanan zorluğu ile ilgili katılımcı derecelendirme puanları karşılaştırılarak, öğretim seanslarının uzamsal becerilerin gelişmesine etkisi tartışılmıştır. Son yazılı değerlendirme görevlerinin katılımcılar üzerinde yarattığı bilişsel yük katılımcı hata oranlarında ve görevlerin algılanan zorluğunda bir değişim olup olmadığına göre değerlendirilmiştir. Son görüşmelerle katılımcı şema edinimleri, duygu ve düşünceleri ile bilişsel yükleri arasındaki bağlantı açığa çıkartılmıştır. Cabri3D öğretim tasarımının uzamsal görevlerin katılımcılar üzerinde yarattığı bilişsel yükün değişmesine etkisi yorumlanmıştır.

3.3.1. Öğretim seansları sonrası açınım bölümü görevlerinin katılımcılar üzerinde yarattığı bilişsel yükün değerlendirilmesi

Öğretim seanslarından sonra öğretmen adaylarının açınım bölümü yazılı değerlendirme görevlerindeki hata oranı hesaplanarak, ön yazılı değerlendirme görevlerindeki hata oranları ile karşılaştırılmıştır. Böylece katılımcı hata oranlarında değişim olup olmadığı değerlendirilebilmiştir. Yapılan görüşmelerle hata oranlarında meydana gelen değişimde etkili olan faktörler ortaya çıkartılmıştır. Öğretim seansları öncesi ve sonrası açınım bölümü görevlerinin algılanan zorluğu ile ilgili katılımcı derecelendirme puanları karşılaştırılarak, hangi görevlerin algılanan zorluğunda azalma meydana geldiği (ya da gelmediği) tespit edilmiştir. Algılanan zorlukla ilgili olarak yapılan görüşmelerle değişimde (ya da değişim meydana gelmemesinde) etkili olan faktörler açığa çıkartılmıştır.

3.3.1.1. *Açınım bölümü katılımcı hata oranları*

Son yazılı değerlendirmede katılımcılardan birinci kategorideki iki aşina (dikdörtgenler prizması ve düzgün sekizgen prizma) ve üç modifiye cisim (bir kesik kare prizma ve iki içbükey prizma) ile ikinci kategorideki beş kombine cismin (iki aşina cismin kombine edilmesiyle oluşmuş üç ve üç aşina cismin kombine edilmesiyle oluşmuş iki cisim) yüzey açınımlarını kareli kâğıt üzerine cismin geometrik özelliklerini dikkate

alarak taban düzlemine açmaları istenmiştir. Katılımcıların cevaplandırdıkları on sorunun her birindeki A1, A2, A3 ve A4 hata oranları Tablo 3.11'de yer almaktadır.

Melis son yazılı değerlendirme görevlerinin yedisini, Tuğçe beşini, Pınar dördünü ve Özge üçünü hatasız bir şekilde yerine getirmiştir (Bkz. Tablo 3.11). Yani Tuğçe, Melis, Pınar ve Özge cevaplandırdıkları soruların sırayla %50, %30, %60 ve %70'inde hata yapmıştır. Oysa seanslardan önce Tuğçe görevlerin %80'sini, Melis, Pınar ve Özge ise %90'unu hatalı bir şekilde cevaplandırmışlardı. Tablo 3.11 her bir katılımcının son yazılı değerlendirme görevlerinde A1, A2, A3 ve A4 hatalarını ne sıklıkla tekrarladıkları hakkında bilgi sağlamaktadır.

Tablo 3.11. *Katılımcının Açınım Bölümü Son Yazılı Değerlendirme Sorularındaki A1, A2, A3 ve A4 Hata Oranları*

A.B. Son Görüşme Görevlerinin Her Birindeki Katılımcı A1, A2, A3 ve A4 Hata Yüzdeleri (%)												
	H.K.	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**Ort.**
K	**CYS**	**6**	**10**	**9**	**8**	**7**	**10**	**9**	**10**	**10**	**10**	**Hata**
	DAİS	**7**	**15**	**12**	**11**	**6**	**15**	**12**	**14**	**14**	**13**	
	A1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Tuğçe	**A2**	0	0	0	0	14	0	0	30	0	30	7,4
	A3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	A4	0	0	0	0	33	13	0	43	14	38	14,1
	A1	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	1
Melis	**A2**	0	0	0	0	0	10	0	10	0	20	4
	A3	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	1
	A4	0	0	0	0	0	33	0	43	0	77	15,3
	A1	0	0	0	0	14	20	11	10	20	0	7,5
Pınar	**A2**	0	0	0	0	29	20	22	10	20	50	15,1
	A3	0	0	0	0	29	60	11	10	20	0	13
	A4	0	0	0	0	50	87	42	50	79	85	39,3
	A1	0	0	11	0	0	20	0	20	10	0	6,1
Özge	**A2**	0	0	11	0	0	20	0	20	10	20	8,1
	A3	0	0	11	0	14	60	0	30	10	0	12,5
	A4	0	0	25	0	33	87	17	71	36	69	33,8
	A1	0	0	2,75	0	3,5	12,5	2,75	7,5	7,5	0	3,65
Ort	**A2**	0	0	2,75	0	10,75	12,5	5,5	17,5	7,5	30	8,65
	A3	0	0	2,75	0	10,75	32,5	2,75	10	7,5	0	6,625
	A4	0	0	6,25	0	29	55	14,75	51,75	32,25	67,25	25,63

Öğretim seanslarının ardından gerçekleştirilen son yazılı değerlendirmede Tuğçe ve Melis'in A1 (sırayla %0 ve %1) ve A3 (sırayla %0 ve %1) hatası yapmamaya başladıkları gözlenmiştir. Son yazılı değerlendirmede Tuğçe ve Melis'in düşük oranda A4 (sırayla %14.1 ve %15.3) ve oldukça düşük oranda A2 hatası (sırayla %7.4 ve %4) yaptıkları belirlenmiştir. Pınar ve Özge'nin her bir hata profilindeki hata oranları, Tuğçe ve Melis'in hata oranlarından yüksektir. Buradan son yazılı değerlendirmede Tuğçe ve Melis'in Pınar ve Özge'den daha iyi performans sergiledikleri söylenebilir. Pınar ve

Özge düşük ya da oldukça düşük oranda A1 (sırayla %7.5 ve %6.1), A2 (sırayla %15.1 ve %8.1) ve A3 (sırayla %13 ve %12.5) hataları yaparken hala dikkate değer oranlarda A4 hatası (sırayla %39.3 ve %33.8) yaptıkları gözlenmiştir.

Soru türlerine göre hata oranları incelendiğinde, aşina cisimlerin yüzey açınımlarını doğru bir şekilde yapmayı gerektiren ilk iki ve kesik L harfine benzeyen iç bükey sekizgen prizmanın yüzey açınımını yapmayı gerektiren dördüncü soruda katılımcılar hiç hata yapmamışlardır. Oysa iç bükey yedigen prizmanın yüzey açınımında Tuğçe, Melis ve Pınar hiç hata yapmazken, Özge %11 oranında A1, A2 ve A3, %25 oranında A4 hatası yaparak, bu soruda yapılan ortalama hata oranlarının (A1: %2.75, A2: %2.75, A3: %2.75 ve A4: %6.25) artmasına neden olmuştur. Kesik kare prizmanın yüzey açınımını yapmayı gerektiren beşinci soruda oldukça düşük oranda A1 (%3.5), düşük oranda A2 (%10.75) ve A3 (%10.75) ve önemli oranda A4 (%29) hatası yaptıkları belirlenmiştir. Bu soruda Melis hiç hata yapmazken, Tuğçe A2 ve A4, Özge A3 ve A4 ve Pınar dört hata profilini de sergilemiştir. Bu görevdeki A4 hata oranının yüksek olmasının nedeni Melis haricindeki üç katılımcının, cismin yüzey açınım çiziminde %30'un üzerinde bu hata profilini sergilemiş olmalarıdır. Oysa aşina iki cismin çakıştırılarak kombine edilmesiyle oluşturulmuş yedinci soruda (yamuk ve kare prizmanın çakıştırılarak kombine edilmesiyle oluşturulmuş cisim) hata yapan katılımcılar Pınar ve Özge'dir. Pınar bu görevde dört hata profilini de (A1: %11, A2: %22, A3: %11 ve A4: %42) sergilerken, Özge sadece A4 (%17) hatası yapmıştır. Bu nedenle yedinci soruda yapılan katılımcı ortalama hata oranları da düşük ya da oldukça düşük seviyede kalmıştır (A1: %2.75, A2: %5.5, A3: %2.75 ve A4: %14.75). İki dik üçgen prizma ve bir kare prizmanın kombine edilmesiyle oluşmuş onuncu soruda katılımcıların hiçbiri A1 ve A3 hatası yapmazken, hepsi A2 ve A4 hata profillerini sergilemişlerdir. Bu soruda A2 ve A4 hata profillerinin ikisini de en yüksek oranda sergileyen katılımcı Pınar (A2: %50 ve %85), en düşük oranda A2 hatası yapan katılımcılar Melis ve Özge (%20), en düşük oranda A4 hatası yapan katılımcı ise Tuğçe'dir. (%38). Katılımcılarının hepsinin bu soruda belirli bir oranda hata yapması, bu görevde en fazla A2 ve A4 hatasının yapılmasına neden olmuştur (A2: %30 ve A4: % 67.25). İki dikdörtgenler prizmasının çakıştırılarak kombine edilmesiyle oluşan altıncı (A1: %12.5, A2: %12.5, A3: %32.5 ve A4: 55), yamuk prizma ile kare prizmanın birer yüzünün kesiştirilmesiyle oluşturulan sekizinci sorudaki katılımcı hata oranları (A1: %7.5, A2: %17.5, A3: %10 ve A4: %51.75) üç kare prizmanın kombine edilmesiyle oluşan dokuzuncu sorudan fazladır (A1, A2, A3: %7.5 ve A4: % 32.25).

Son yazılı değerlendirme görevlerindeki katılımcı ortalama A1 (%3.65) hata oranının oldukça düşük ve A2 (%8.65) ile A3 (%6.625) hatasının ise düşük oranda olduğu gözlenmiştir. Fakat görevlerde hala dikkate değer bir oranda A4 (%25.63) hatası yapılmaktadır. Katılımcıların A1 hata profilini %12.5, A2'yi %30, A3'ü %32.5ve A4'ü %67.25 ya da aşağısındaki oranlarda sergilediği gözlenmiştir. Onlar en yüksek A1 ve A3 hatasını altıncı (iki dikdörtgenler prizmasının kombine edilmesiyle oluşmuş cisim), en yüksek A2 ve A4 hatasını onuncu soruda yapmışlardır (iki dik üçgen prizma ve bir kare prizmanın kombine edilmesiyle oluşan cisim).

A1 hata oranları: İlk yazılı değerlendirmede Tuğçe, Melis, Pınar ve Özge'nin A1 hata oranları sırayla %19.7, %19.3, %34.2 ve %27.6 seviyelerindeyken (Bkz. Tablo 3.2), öğretim seanslarından sonra bu oranlar %0, %1, %7.5 ve %6.1 seviyelerine gerilemiştir (Bkz. Tablo 3.11). Yani seanslardan sonra, Tuğçe hiç A1 hatası yapmazken, Melis çok düşük oranda, Pınar ve Özge ise düşük oranda A1 hatası yapmıştır. Bu durum seanslardan sonra Tuğçe ve Melis'in cisimlerin yüzeyinde bulunan şekilleri belirlemede sorun yaşamadıkları, Pınar ve Özge'nin ise bilhassa kombine cisimlerin yüz şekillerini belirlemede hala sorunlar yaşadıkları gözlenmiştir.

Soru türüne göre A1 hata oranları: Katılımcıların seanslardan önce birinci ve ikinci kategori görevlerdeki ortalama hata oranları sırayla %6.3 ve %44.1 seviyelerindeyken, seanslardan sonraki son yazılı değerlendirmede bu oranlar azalarak sırayla %1.25 ve %6.05 seviyelerine kadar inmiştir (Bkz. Tablo 3.12).

İlk yazılı değerlendirme birinci kategori görevlerde Tuğçe, Melis, Pınar ve Özge sırayla ortalama %2.8, %0, %13.8 ve %8.6 oranında A1 hatası yaparken, öğretim seanslarından sonra gerçekleştirilen son yazılı değerlendirmede sırayla %0, %0, %2.8 ve %2.2 oranında bu hata profilini sergiledikleri tespit edilmiştir. Tuğçe ve Melis öğretim seanslarından önce ağırlıklı olarak aşina cisimlerin yer aldığı birinci kategori görevlerde oldukça düşük oranlarda A1 hatası yaparken, öge sayısı ve etkileşimli öge miktarı artırılmış modifiye cisimlerin ağırlıklı olarak yer aldığı son yazılı değerlendirme birinci kategori sorularında hiç A1 hatası yapmamışlardır. Seanslardan önce Pınar ve Özge birinci kategori görevlerde düşük oranda A1 hata profilini sergilerken, seanslardan sonra bu oranlar daha da azalmıştır.

Tablo 3.12. *Katılımcıların Öğretim Seansları Öncesi ve Sonrası Kategorik A1 Hata Oranları*

Öğretim Seansları Öncesi ve Sonrası Kategorilere Göre Katılımcı A1 Hata Yüzdeleri (%)				
A1 Hata Oranları	**Ön Klinik Görüşme**		**Son Klinik Görüşme**	
	1. K	**2. K**	**1. K**	**2. K**
Tuğçe	2.8	36.6	0	0
Melis	0	38.6	0	2
Pınar	13.8	54.6	2.8	12.2
Özge	8.6	46.6	2.2	10
Ort.	6.3	44.1	1.25	6.05

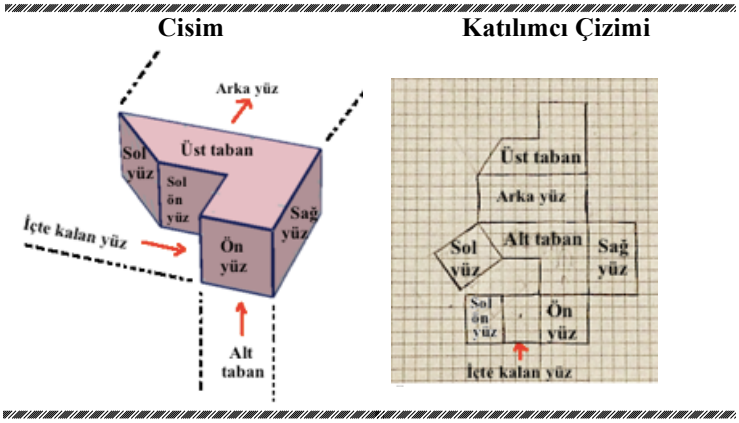
Seanslardan önce ikinci kategori görevlerde Tuğçe ve Melis sırayla %36.6 ve %38.6 oranında A1 hatası yaparken, seanslardan sonra bu kategorideki görevlerde hiç A1 hatası yapmadıkları görülmüştür. Ön ve son yazılı değerlendirmede Pınar ve Özge'nin A1 hata oranlarının Tuğçe ve Melis'ten fazla olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca seanslardan önce yüksek oranda A1 hatası yapan Pınar ve Özge'nin (sırayla %54.6 ve %46.6), seanslardan sonra bu hatayı düşük oranda (sırayla %12.2 ve %10) yaptıkları belirlenmiştir.

Bilhassa ilk yazılı değerlendirmede, kombine cisimlerin yüzey açınımlarını yaparken, kombine etme sonucu oluşan yeni cisme ait yüz şekillerini açınımlarına yansıtmada oldukça yüksek oranda hata yapan Tuğçe seanslardan sonra hiç hata yapmazken, Melis, Pınar ve Özge düşük oranda da olsa hatalar yapmaya devam etmiştir. Bilhassa Tuğçe'nin, aşina ya da bir düzlemle kesilmiş aşina cisimlerin kombine edilmesiyle oluşmuş yeni cisimlerin kombine etme sonucu oluşan yüz şekillerini belirlemede ve açınım çizimine yansıtmada sorun yaşamadığı ve bu yüz şekillerini açınımına yansıtmayı şema haline getirdiği gözlenmiştir. Seanslardan sonra yapılan ikinci yazılı değerlendirmede iki cismin kombine edilmesiyle oluşturulmuş cisimlerde sergilenen A1 hatası (6., 7. ve 8. soru), üç cismin kombine edilmesiyle oluşturulanlardan (9. ve 10. soru) yüksek kalmıştır. Bu durum cisimlerin kombine edilme şekillerinden kaynaklanmaktadır, kesiştirilerek kombine edilen cisimlerin katılımcılardan tarafından algılanan bilişsel yükü çakıştırılarak kombine edilenlerden fazladır. Öğretim seanslarından sonra katılımcıların A1 hata oranlarındaki azalmayı örneklemek için Özge'nin kesik L harfine benzeyen iç bükey prizmayı açma süreci sunulabilir (Bkz. Şekil 3.64).

İlk yazılı değerlendirme birinci kategori görevlerde ortalama %8.6 oranında yüz belirleme hatası yapan Özge'nin seanslardan sonra hata oranı daha da azalarak %2.2

seviyesine inmiştir. Özge'nin öğretim seanslarının ardından 'kesik L harfine benzeyen iç bükey prizmanın' tüm yüzlerini açınımına doğru bir şekilde yansıtmada sorun yaşamadığı gözlenmiştir. Aşina ve modifiye cisimlerin açınımında uzmanlaşan katılımcı, bu cismin açınım çiziminde A1, A2, A3 ve A4 hatalarının hiçbirini yapmamıştır. Katılımcının öğretim seanslarından sonra modifiye cisimlerin yüzeyini açma becerilerindeki gelişim son görüşmelerden alınan bir kesitle aşağıda örneklendirilmiştir. Özge cismin yüzeyini nasıl açtığını tarif ederken, onun cismin yüzeyi üzerindeki tüm yüzleri açınım çizimine yansıttığını göstermek için, konuşmasında işaret ettiği cisim yüzleri ve açınımındaki yüzler için aynı etiketler kullanılmıştır (Bkz. Şekil 3.64). Aşağıda bu durumla ilgili olarak Özge'nin konuşmasından bir bölüm sunulmuştur:

Ö: Şu tabanım (karalıyor), tabanımı çizdikten sonra arka yüzümü düşündüm, arka yüzümü 90 derece yukarıya doğru katladım 90 derece, ondan sonra şu görünen kare olan yüzümü (ön yüz) 90 derece yine yukarıya doğru katladım, 90 derece katladığım zaman onunla beraber, onunla aynı düzlemde olan şu iki dikdörtgen (sol ön yüz ve içte kalan yüz) de onunla beraber hareket etmiş oldu, ondan sonra 90 derece sağa doğru katladım, şu yüzümü, onunla aynı düzlemde olan yanındaki dikdörtgen de 90 derece katlanmış oldu, onu da 90 derece sağa doğru açtım, ondan sonra ne yaptım, aslında şunu (sol yüz) şuraya da koyabilirdim …ondan sonra sağda görünen yüzümü (sağ yüz) bir tane dikdörtgen yaptım, kısa kenarı ile arka yüzdeki dikdörtgenin kısa kenarı eşit olmak zorunda, en son da kapağımı (üst yüz) 90 derece katladığım zaman tabanımla aynı görünümü elde edicek şekilde bir çizim yaptım.



Şekil 3.64. *Açınım Bölümü Son Yazılı Değerlendirme Özge Örneği*

Şekil 3.64'den ve katılımcı söylemlerinden, onun cismin tüm yüzleri ile kendi açınımındaki yüzler arasında bire bir eşleştirme yaparak, cisim üzerinde eksik hiçbir yüz bırakmaksızın açınım çizimine yansıttığı anlaşılmaktadır. Bu ise öğretim seanslarından sonra Özge'nin birinci kategori cisimlerin yüzlerini belirlemede ve açınımlarına yansıtmada sorun yaşamadığına işaret etmektedir. Katılımcı çizimi ve görüşmeden onun

cismin yüzeyini açmak için yan yüzlerden çoğunu taban etrafına açma stratejini uyguladığı anlaşılmaktadır.

A2 hata oranları: Ön yazılı değerlendirmedeki tüm görevlerde %30 ila %50 arasında A2 hatası yapan katılımcıların, seanslardan sonraki son yazılı değerlendirme hata oranları %16'nın altında kalmıştır. Seanslardan önce Tuğçe, Melis, Pınar ve Özge'nin ortalama A2 hata oranları sırayla %38.3, %32.4, %48.9 ve %47.6 seviyelerindeyken (Bkz. Tablo 3.2), seanslardan sonra bu oranlar sırayla %7.4, %4, %15.1 ve %8.1 seviyelerine gerilemiştir (Bkz. Tablo 3.11). Ön yazılı değerlendirmede yeterince yüksek oranlarda A2 hatası yapan katılımcıların son yazılı değerlendirmedeki hata oranları önemli oranda azalmıştır. Seanslardan sonra Tuğçe, Melis ve Özge'nin hata oranları %10'un altında düşerken, Pınar'ın A2 hata oranı %15 civarında kalmıştır. Buradan bu üç katılımcının seanslardan sonra cisimlerin yüzlerini geometrik özelliklerine göre açınım çizimlerine yansıtmada fazla hata yapmadıkları, sadece bazı cisimlerin bir kaç yüzünü geometrik özelliklerine göre açınımlarına yansıtmada sorun yaşadıkları söylenebilir.

Soru türüne göre A2 hata oranları: Seanslardan önce birinci kategorideki cisimlerin açınım çizimlerinde %33 oranında A2 hatası yapılırken, seanslardan sonra bu oran %2.7 seviyesine inmiştir (Bkz. Tablo 3.13). Buradan katılımcıların seanslardan sonra genel olarak aşina ve modifiye cisim yüzlerinin geometrik özelliklerini açınım çizimlerine yansıtmada problem yaşamadıkları söylenebilir. Ön yazılı değerlendirmedeki ikinci kategori görevlerde ortalama %50.65 oranında A2 hatası yapan katılımcıların, seanslardan sonraki hata oranlarında önemli oranda azalma meydana gelmiştir, fakat bu hata oranının %14.6 seviyesinde kalması, onların hala kombine cisimlerin yüzlerinin geometrik özelliklerini açınım çizimlerine yansıtmada düşük oranda da olsa sorunlar yaşadıklarına işaret etmektedir.

Ön yazılı değerlendirmedeki birinci kategori görevlerde Tuğçe, Melis, Pınar ve Özge sırayla %32, %20, %39.2 ve %40.6 oranlarında A2 hatası yapmıştır. Seanslardan önce birinci kategori görevlerde en düşük oranda A2 hatası yapan Melis, seanslardan sonra bu hata profilini hiç sergilememiştir. Ön yazılı değerlendirmede bu görev türlerinde en yüksek oranda hata yapan Özge ve orta seviyede hata yapan Tuğçe'nin seanslardan sonraki A2 hata oranlarının birbirine yakın olduğu (sırayla %2.8 ve %2.2) tespit edilmiştir. Seanslardan sonra birinci kategori görevlerde Pınar'ın da oldukça düşük oranda A2 hatası yaptığı (%5.8) söylenebilir.

Tablo 3.13. *Katılımcıların Öğretim Seansları Öncesi ve Sonrası Kategorik A2 Hata Oranları*

Öğretim Seansları Öncesi ve Sonrası Kategorilere Göre Katılımcı A2 Hata Yüzdeleri (%)				
A2 Hata Oranları	**Ön Klinik Görüşme**		**Son Klinik Görüşme**	
	1. K	**2. K**	**1. K**	**2. K**
Tuğçe	32	44.6	2.8	12
Melis	20	44.8	0	8
Pınar	39.2	58.6	5.8	24.4
Özge	40.6	54.6	2.2	14
Ort.	33	50.65	2.7	14.6

Seanslardan önce ikinci kategori görevlerde tüm katılımcıların yeterince yüksek ya da yüksek oranlarda A2 hatası yaptığı söylenebilir. Seanslardan sonra Pınar haricindeki tüm katılımcıların A2 hatası, önemli oranda azalmıştır. Fakat Melis haricindeki katılımcıların, bu tür cisimlerin yüz şekillerini açınım çizimlerine geometrik özelliklerine göre çizmede hala %10 ya da üzerinde hata yapması, bu tür soruların hala katılımcıların çalışan bellek kapasitelerini zorlaması ile açıklanabilir. Bilhassa iç bükey geometrik yüz şekillere sahip kombine cisimler (altıncı soru), cisimlerin çakıştırılarak değil de kesiştirilerek kombine edilmesi ile oluşmuş cisimler (sekizinci soru) ve üç cismin kombine edilmesiyle oluşmuş açılı yüzlere sahip cisimler (onuncu sorudaki üçgen ve yamuk yüzler) en çok A2 hatasının yapıldığı cisimlerdir.

Öğretim seanslarından önce açınım çizimlerine cisimlerin yüzlerinin geometrik özelliklerini yansıtmada birçok hata yapan katılımcıların, seanslardan sonra A2 hata oranlarında dikkate değer bir azalma olduğu görülmüştür. Öğretim seanslarından sonra katılımcıların açınım çizimlerine cisimlerin yüzeyleri üzerinde bulunan şekilleri geometrik özelliklerine göre inşa etmede sorun yaşamadıkları gözlenmiştir. Katılımcılarda şekilleri geometrik özelliklerine göre çizmek için gerekli eğik bir kenarın uç noktalarına belirli bir uzunluğa sahip dikme çıkma, belirli bir ölçüye sahip açıyı inşa etme, belirli bir uzunluğa sahip doğru parçası çizme gibi inşa etme prosedürlerini şema haline gelmiştir. Bu durum Pınar'ın düzgün sekizgen dik prizma açınım çizimi (Bkz. Şekil 3.65) ve ilgili görüşme kesiti ile birlikte aşağıda örneklenmiştir.

Şekil 3.65'deki katılımcı çiziminden ve araştırmacı ile arasında geçen diyaloglardan, Pınar'ın açınım çizimini yaparken, geometrik yüz şekillerini inşa etme prosedürlerine başvurduğu açık hale gelmektedir:

A: Bu cismin yüzey açılım çizimini nasıl yaptın, çizimini?

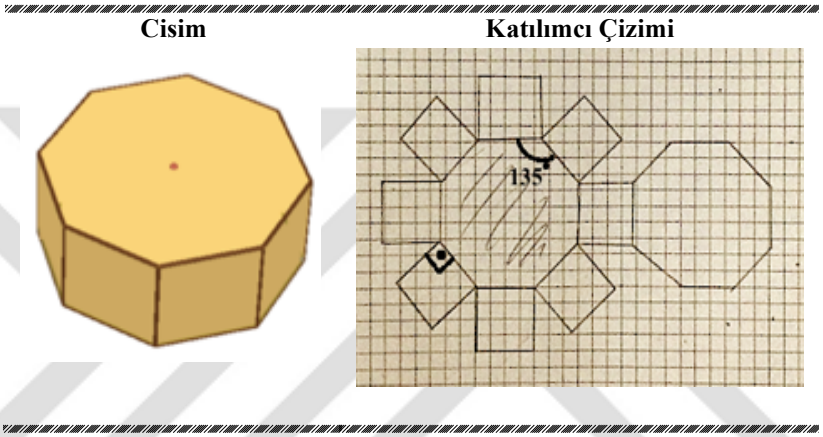
P: İlk önce kenarlarını saymıştım, sekizgendi, bir iç açısı 135 derece ona dikkat ederek çizdim, önce şu kenarını çizdim, 1.5 cm almıştım, işte 135 dereceye dikkat ederek tabanını oluşturdum yine, daha sonra şu kenarlarını oluşturdum (tabana komşu yan yüzlerin tabana dik olan kenarları), bunları da eşit çizdim, katladığımda birleşmesi için…ben bunları kare olarak çizdim,

A: Onları nasıl yaptın? konumlandırırken nasıl konumlandırdın?

P: 90 derece olarak konumlandırdım, burdan 90 derece olarak belirledim

A: Onu nasıl sağladın 90 derece olduğunu?

P: Açı ölçer kullanarak köşesine koydum, 90 dereceyi belirleyip, 1.5 santim aldım şurdaki kenar uzunluklarımı belirleyip, bunları da öyle yaptım sekiz tane



Şekil 3.65. *Açınım Bölümü Son Yazılı Değerlendirme Pınar Örneği*

Pınar'ın çiziminden onun cismin yüzeyini açarken tabanı etrafına yan yüzlerini açma stratejini uyguladığı anlaşılmaktadır.

Katılımcı A3 hata oranları: İlk yazılı değerlendirmede Tuğçe, Melis, Pınar ve Özge'nin hata oranları sırayla %39, %34.6, %38.2 ve %50.5 seviyelerindeyken (Bkz. Tablo 3.2), seanslardan sonra bu oranlar %0, %1, %13 ve %12.5 seviyelerine gerilemiştir (Bkz. Tablo 3.11). Öğretim seanslarından sonra Tuğçe'nin hiç hata yapmaması, Melis'in %0' a yakın oranda konumlandırma hatası yapması, onların cisimlerin yüzey açınımları ile ilgili eylem zincirlerini zihinlerinde canlandırmada ve bu zinciri açınım çizimlerine yansıtmada problem yaşamadıklarına işaret etmektedir. Yani seanslar bu iki katılımcının cisimlerin yüzey açınımları ile ilgili eylem zincirleri geliştirme ve bunları açınım çizimlerine doğru bir şekilde yansıtmalarını sağlayan şemalar kazanmalarını sağlamıştır. Seanslardan sonra Pınar ve Özge'nin hata oranları %10'a yakın bir oranda kalmıştır, bu durum belirli görevlerin katılımcıların hala çalışan bellek kapasitelerini zorladığı ile açıklanabilir.

Soru türüne göre A3 hata oranları: Katılımcılar seanslardan önce, birinci kategori görevlerde ortalama %9.6 oranında konumlandırma hatası yaparken, seanslardan sonra bu oran %2.7' ye inmiştir (Bkz. Tablo 3.14). Ön yazılı değerlendirmedeki ikinci kategori görevlerde ortalama %71.55 oranında konumlandırma hatası yapan katılımcıların, bu görev türlerinde %10.55 oranında hata yaptığı gözlenmiştir. Son yazılı değerlendirme ikinci kategori görevlerde azımsanmayacak derecede konumlandırma hatası yapılmasının temel nedeni Melis ve Pınar'ın kombine cisimleri açmada eskisi kadar olmasa da hala zorluklar yaşadıklarına işaret etmektedir.

Tablo 3.14. *Katılımcıların Öğretim Seansları Öncesi ve Sonrası Kategorik A3 Hata Oranları*

Öğretim Seansları Öncesi ve Sonrası Kategorilere Göre Katılımcı A3 Hata Yüzdeleri (%)				
A3 Hata Oranları	**Ön Klinik Görüşme**		**Son Klinik Görüşme**	
	1. K	**2. K**	**1. K**	**2. K**
Tuğçe	2.8	75.2	0	0
Melis	0	69.2	0	2
Pınar	13.8	62.6	5.8	20.2
Özge	21.8	73.2	5	20
Ort.	9.6	71.55	2.7	10.55

Tuğçe seanslardan sonra her iki kategorideki görevlerde de konumlandırma hatası yapmamıştır. Melis ise birinci kategori görevlerde hata yapmazken, ikinci kategorideki görevlerde çok düşük oranda konumlandırma hatası yapmıştır. Bu durum Melis'in ikinci kategoride yer alan altıncı soruda yaklaşık %10 oranında konumlandırma hatası yapmasından kaynaklanmıştır. Tuğçe ve Melis'in iki kategorideki görevlerde de hiç hata yapmaması ya da çok çok düşük oranda A3 hatası yapması, farklı bilişsel yüke sahip açınım görevlerini doğru bir şekilde yapmak için uzmanlık kazanmış olmaları ile açıklanabilir. Bu iki katılımcı aşina ve modifiye cisimlerin yüzlerini açınım çizimlerine doğru bir şekilde konumlandırmak için gerekli şemalara sahipken, kombine cisimlerin yüzlerini açınımlarında konumlandırma hatası yapmamak için yeni şemalar edinmişlerdir. Fakat bu birinci kategori cisimleri açma ile ilgili mevcut şemalarını geliştirmedikleri anlamına gelmemektedir. Seanslardan önce birinci kategori görevlerde %13.8 ve %21.8 oranında konumlandırma hatası yapan Pınar ve Özge, seanslardan sonra bu tür görevlerde sırayla %5.8 ve %5 oranında A3 hatası yapmışlardır. Katılımcıların seanslardan önce aşina cisimlerde konumlandırma hatası yaparken, seanslardan sonra bu görevlerde hiç A3 hatası yapmamış olmaları, aşina cisimlerin yüzlerini açınım

çizimlerine doğru bir şekilde konumlandırma için gerekli şemaları edindikleri anlamına gelmektedir. Pınar ve Özge seanslardan sonra modifiye cisimlerde düşük oranda da olsa konumlandırma hataları yapmaya devam etmişlerdir. İkinci kategori görevlerde seanslardan önce oldukça yüksek oranda konumlandırma hatası yapan Pınar ve Özge (sırayla %62.6 ve %73.2) seanslardan sonra bile bu tür cisimlerin yüzey açınımlarında önemli oranda konumlandırma hataları yapmışlardır (sırayla %20.2 ve %20). Pınar ve Özge'nin seanslardan sonra kombine cisimlerde önemli oranda konumlandırma hataları yapmaları, bu iki katılımcının bu tür cisimlerin yüzey açınımlarını doğru bir şekilde yapmak için gerekli eylem zincirlerini belirleme ve uygulamadaki şema eksiklikleri ile açıklanabilir. Seanslardan önce kombine cisimlerin hepsinde konumlandırma hatası yapan Pınar, seanslardan sonra üç cismin kombine edilmesiyle oluşmuş onuncu soruda A3 hatası yapmamış, altıncı soruda oldukça yüksek oranda (%60) diğer sorularda ise düşük oranda (%10-11 arası) konumlandırma hataları yapmıştır. Benzer şekilde Özge'de seanslardan önce kombine cisimlerin hepsinde A3 hatası yapmasına rağmen, seanslardan sonra beş cismin üçünde konumlandırma hataları yapmaya devam etmiştir. Pınar ve Özge'nin seanslardan sonra bazı cisimlerde hiç konumlandırma hatası yapmaması ya da düşük oranda konumlandırma hataları yapmaya başlaması, onların kombine cisimleri açmayla ilgili stratejiler geliştirme ve uygulamayla ilgili şemalarının geliştiği anlamına gelmektedir. Fakat onlar iç bükey çokgensel yüz oluşturacak şekilde kombine edilmiş (altıncı soru) ya da birer yüzü çakışacak şekilde kombine edilmiş (sekizinci soru) cisimleri açmada hala önemli ölçüde zorlanmaktadırlar.

Öğretim seanslarından önce bilhassa aşina cisimlerin kombine edilmesiyle oluşan cisimlerin yüzlerini belirleyemeyen ve cismin yüzeyini açarken, kombine etme sonucu oluşan yüzleri bölerek açma yoluna giden tüm katılımcılar, bu cismin yüzeyini açmak için gerekli eylem zincirlerini zihinlerinde canlandırma ve bunu açınımlarına uygulamada sorunlar yaşadıkları için açınımlarında yüz konumlandırma hataları da yaptıkları gözlenmişti. Fakat öğretim seansları boyunca Cabri3D'deki cisimleri çevirerek ve açarak, cisimlerin yüzeylerini açma sürecinde uzmanlık kazanmışlardır. Şekil 3.66'daki cisimle ilgili Melis'in hatalı olan birinci ve doğru olan ikinci çizimi yer almaktadır. Melis ilk çiziminde yüzlerin geometrik özelliklerini açınımına yansıtmada sorun yaşasa da, onun iki çiziminde de hiç konumlandırma hatası yapmadığı bir gerçektir. Katılımcının konumlandırma hatası yapmaması ile doğru açınım stratejisi geliştirmesi ve uygulaması arasında bir bağlantı olduğu görülmektedir. Son görüşmelerle Melis'in kombine cismi

açmada takip ettiği yol belirgin hale gelmiştir. İkinci çiziminde, cismin yüzeyini açma sürecini Melis şu şekilde tarif etmektedir:

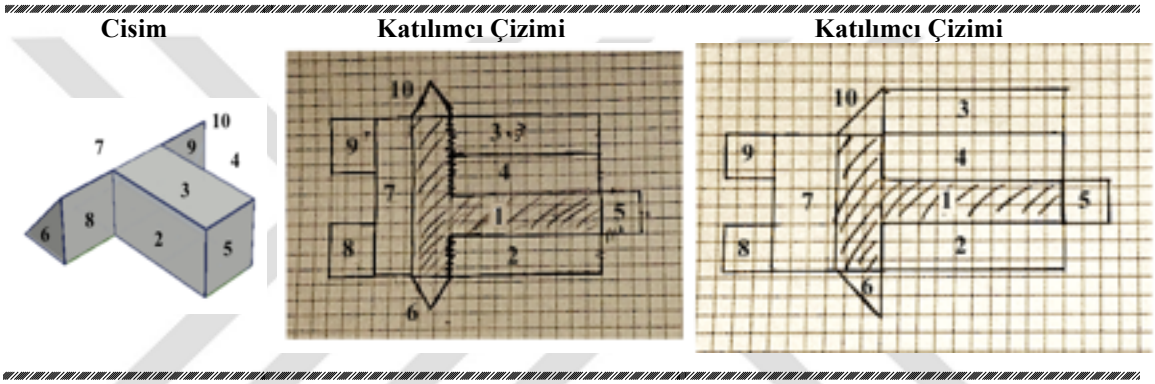
M: Ön yüzü (5) 90 derece açtım, yan yüzü (2) aşağıya doğru 90 derece açtım, üst yüzü (3) arka yüze açtım (4), sonra tekrardan arka yüzü (4) de üst yüzle birlikte 90 derece aşağıya doğru açtım

A: Ön kısmı nasıl açtığını bahsettin, burayı nasıl açtın (iki üçgen prizmaya benzeyen kısım)?

M: Bu taban (1) etrafına ilk önce üçgenleri açtım (6 ve 10), bunları aşağıya doğru açtım, sonra tekrar şunları (8 ve 9) göremediğimiz yüze doğru açtım

A: Ne kadar derecelik bir açıyla açtın?

M: 135, sonra da 135 derecelik açıyla da tekrardan aşağıya doğru açtım, ikisini birlikte (8, 9 ve 7).



Şekil 3.66. *Açınım Bölümü Son Yazılı Değerlendirme Melis Örneği*

Şekil 3.66'dan görüldüğü gibi katılımcı iki çiziminde de yüz konumlandırma hatası yapmamıştır. Katılımcıya açınım çizimini yaparken 'bu cismin açınımında bir cismin açınımından mı yararlandın yoksa, kendin mi?' sorusu yöneltildiğinde, cismin ön tarafta bulunan kısmı kare prizmanın yüzey açınımından yararlanarak yaptığını, arka kısmını ise kendi kendine çizdiğini söylemiştir. Buradan bilhassa kombine edilmiş cisimlerin yüzey açınımlarında katılımcıların, kombine edilen cisimlerin yüzey açınımlarından yararlanarak, cismin yüzeyini açma sürecinde bilişsel yüklerini azaltmaya çalıştıkları söylenebilir.

Katılımcı A4 hata oranları: İlk yazılı değerlendirmede Tuğçe, Melis, Pınar ve Özge'nin A4 hata oranları sırayla ortalama %61.3, %63.4, %82.3 ve %73.3 seviyelerindeyken (Bkz. Tablo 3.2), seanslardan sonra bu oranlar sırayla %14.1, %15.3, %39.3 ve %33.8 seviyelerine gerilemiştir (Bkz. Tablo 3.11). Ön yazılı değerlendirmede katılımcılar çok yüksek oranda A4 hatası yapmışlardır, son yazılı değerlendirmelerde Pınar ve Özge'nin hata oranları yaklaşık %50 oranında, Tuğçe ve Melis'in ise yaklaşık

%75 oranında azaldığı söylenebilir. Yani Pınar ve Özge'nin son yazılı değerlendirmelerde bile A4 hata oranı oldukça yüksek seviyelerde kalırken, Tuğçe ve Melis'in hataları ise önemli oranda azalmıştır. Fakat tüm katılımcıların seanslardan sonra bile %10'un üzerinde hata yapmaları, açınımlarının kapanması için birleşmesi gereken kenar çiftlerinin tümünü göz önünde bulundurmadıklarına işaret etmektedir. Buradan, tüm katılımcıların açınımlarını yaparken kapanış sürecine, açınıma kapama eylem zincirini uygulanırsa birleşecek kenar çiftlerine ve hangi kenarlar birleşince cismin hangi ayrıt ve köşe noktalarının elde edileceği ile ilgili şemalarının geliştirilmesine ihtiyaç duyulduğu söylenebilir. Fakat Tuğçe ve Melis daha az gelişmeye ihtiyaç duyarken, Pınar ve Özge daha fazla gelişime gereksinim duymaktadır. Çünkü Pınar ve Özge'nin belirli cisimler için yaptıkları açınım çizimlerinin kapanış süreci ile ilgili mevcut şemaları, A4 hatalarının önüne geçmede yetersiz kalmaktadır. Öyle ki bu iki katılımcı seanslardan sonra bile beş kombine cisimden üçünde %70'e yakın ya da üzerinde bir oranda A4 hatası yapmışlardır.

Soru türüne göre A4 hata oranları: Ön yazılı değerlendirmelerdeki birinci kategori görevlerde ortalama yaklaşık %47.1 oranında A4 hatası yapan katılımcıların hata oranları seanslardan sonra %7.05 seviyesine inmiştir (Bkz. Tablo 3.15). Bu durum katılımcıların aşina ya da modifiye cisim açınımlarını yaparken kapatma süreci hakkında muhakeme ettiklerine işaret etmektedir. İkinci kategori görevlerde başlangıçta ortalama %93.05 olan hata oranları ise seanslardan sonra %44.2 seviyesine kadar gerilemiştir. Yani genel olarak katılımcılar açınım çizimi yapılacak cisimler karmaşıklaştıkça daha yüksek oranda A4 hatası yapmışlardır.

Birinci kategori görevlerde öğretim seanslarından önce Tuğçe, Melis, Pınar ve Özge sırayla %27, %35.6, %73.2 ve %52.6 oranında A4 hatası yaparken, seanslardan sonra sırayla %6.6, %0, %10 ve %11.6 oranında hata yapmışlardır (Bkz. Tablo 3.15). Buradan Melis'in seanslardan sonra bu tür görevlerde uzmanlaşarak hiç hata yapmadığı söylenebilir. Seanslardan önce katılımcılar birinci kategoride yer alan aşina ve modifiye cisimlerin ikisinde de hata yaparken, seanslardan sadece modifiye cisimlerde ilişkilendirme hatası yapmaya başlamışlardır. Tuğçe modifiye cisimlerden birinde (beşinci soru) yaklaşık %33 oranında ilişkilendirme hatası yapmıştır. Seanslardan önce bu kategorideki görevlerde en yüksek A4 hatası yapan katılımcı Pınar'dır ve seanslardan sonra Pınar ve Özge yaklaşık aynı oranlarda bu hata profilini sergilemişlerdir. Tuğçe ile benzer şekilde Pınar da aynı soruda sadece biraz daha yüksek oranda A4 hatası yapmıştır

(%50). Özge'nin ise iki soruda bu hatayı tekrarladığı söylenebilir (üçüncü soruda %25 ve beşinci soru %33).

Tablo 3.15. *Katılımcıların Öğretim Seansları Öncesi ve Sonrası Kategorik A4 Hata Oranları*

Öğretim Seansları Öncesi ve Sonrası Kategorilere Göre Katılımcı A4 Hata Yüzdeleri (%)				
A4	**Ön Klinik Görüşme**		**Son Klinik Görüşme**	
Hata Oranları	**1. K**	**2. K**	**1.K**	**2. K**
Tuğçe	27	95.6	6.6	21.6
Melis	35.6	91.2	0	30.6
Pınar	73.2	91.4	10	68.6
Özge	52.6	94	11.6	56
Ort.	47.1	93.05	7.05	44.2

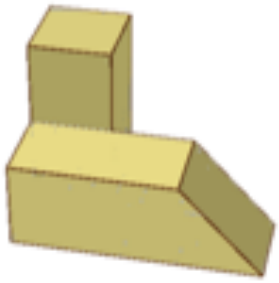
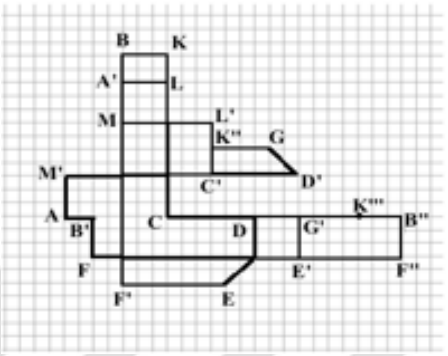
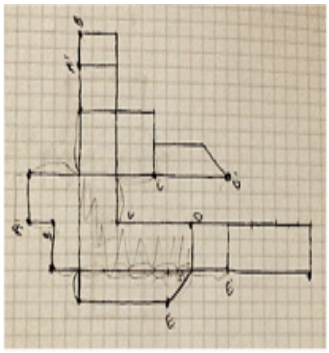
İkinci kategori görevlerde seanslar öncesi Tuğçe, Melis, Pınar ve Özge sırayla %95.6, %91.2, %91.4 ve %94 oranında A4 hatası yaparken, seanslar sonrasında bu oranlar sırayla %21.6, %30.6, %68.6 ve %56 seviyelerine indiği söylenebilir. Tüm katılımcılar seanslar öncesinde çok çok yüksek oranda A4 hatası yaparken, Tuğçe ve Melis'in hata oranları önemli ölçüde azalmış, fakat Pınar ve Özge'nin hala oldukça yüksek oranda A4 hatası yaptığı tespit edilmiştir. Katılımcıların seanslardan sonra bile kombine cisimlerin yüzey açınımlarında yüksek oranda A4 hatası yapmaları, Tuğçe ve Melis'in açınımlarını kapatma süreçleri hakkında uzmanlaşmadıkları ile Pınar ve Özge'nin ise açınımlarını zihinlerinde kapatamadıkları, açınımlarını kapanınca birleşecek kenar çiftlerini zihinlerinde birleştiremedikleri ve zihinde kapatma süreci sonrasında bir araya gelecek köşe noktalarını hayal edemedikleri ile açıklanabilir. Yani Pınar ve Özge kombine cisimlerin kapanış süreci için gerekli kavramsal şemaları oluşturamamışlardır. Öğretim seansları sonrasında Tuğçe ve Melis'in, bu tür cisimlerin yüzey açınımlarını kapatmak için hangi kenar çiftlerinin birleştirilmesi gerektiği ile ilgili muhakemelerinin yüksek oranda gelişim gösterdiği söylenebilir. Şekil 3.67'deki cisim, yamuk ve kare prizmanın kesiştirilerek kombine edilmesiyle oluşturulmuştur.

Son görüşmeler Tuğçe'nin açınımını kapatma süreci kavram şemaları ile ilgili ipuçları sunmaktadır. Şekil 3.67'deki cismin açınımını doğru bir şekilde yapan Tuğçe açınımını nasıl kapatacağı şu şekilde anlatmaktadır:

T: Şimdi kapatırken, burayı 90 derece yukarı doğru kaldırdım (M'C' doğru parçasının üst kısmında kalan beş yüzün bulunduğu düzlem) yukarıya doğru kaldırdığımdan dolayı, ıı şunu da 90 derece yukarı doğru 90 derece kaldırıcam (sol L), böylelikle ne olmuş olucak, şurdaki köşe ile şurdaki köşeler

çakışmış olucak (M ve M'köşeleri), burdaki kenar uzunluğu ile burdaki kenar uzunluğu eşit, böylelikle köşeler çakışmış olucak yani, cismimin şu köşesi elde edilmiş olucak (cisimde köşeyi gösteriyor).

Açınımı nasıl kapattığı ile ilgili Tuğçe'nin söylemleri ve Şekil 3.67'deki açınım çiziminde cismin kapanış süreci ile ilgili köşe etiketleri, onun açınımını nasıl kapatacağı ile ilgili eylem zincirini zihninde canlandırabildiğine, kapanma eylemi ile birleşecek kenar çiftlerini ve oluşacak köşe noktalarını belirleyebildiğine işaret etmektedir.

Cisim	Doğru Yüzey Açınımı	Katılımcı Çizimi
		

Şekil 3.67. *Açınım Bölümü Son Yazılı Değerlendirme Tuğçe Örneği*

Öğretim seansları ile açınım görevlerinde uzmanlaşan katılımcılar aşağıda yer alan şemaların büyük çoğunluğunu ya da hepsini edinirken, diğerlerinin bunlardan bazılarını edindiği gözlenmiştir. Son görüşme analizlerinden yararlanılarak bu şemalar şeklinde maddelenebilir: (1) Bir cismin yüzey açınımını yaparken, cismin yan yüzlerini tabanı etrafına açma gibi karmaşıklık derecesi daha az bir stratejiye başvurma, (2) bir cismin yan yüzlerinin çoğunu üst tabanına açtıktan sonra tüm yüzeyi taban düzlemine açma gibi karmaşıklık derecesi daha fazla olan bir açma stratejisine başvurma, (3) bir cismin orantısal ilişkilerini ve geometrik özelliklerini yansıtacak şekilde açılımını yapma, (4) cisim yüzeyi üzerinde bulunan her bir yüzün komşu yüzlerle olan ilişkisini göz önünde bulundurarak açınımına bu yüzleri konumlandırma, (5) açınımındaki birkaç yüzün konumunu anlamlı bir yol içerisinde değiştirerek, aynı cismin farklı bir yüzey açılımını elde etme, (6) bir cismin yüzeyini açmada kullanılabilecek farklı açma stratejilerini anlamlı bir yol içerisinde tarif etme, (7) bir cismin yüzeyini açmak için birden fazla strateji geliştirip, onları kullanarak doğru açınımlar elde edebilme, (8) açılımlarını kapatmak için birleşmesi gereken kenar çiftlerinin hepsini doğru bir şekilde belirleme, (9) açınımı kapatmak için birleştirilecek kenar çiftlerinin cismin hangi ayrıtını

oluşturacağını ifade etme ve (10) açılımda hangi köşe noktalarının birleşeceğini ve birleşen köşe noktalarının cismin hangi köşe noktalarını oluşturacağını belirleme.

3.3.1.2. *Açınım bölümü görevlerinin algılanan zorluğu*

Katılımcıların her birinin son yazılı değerlendirme sorularının algılanan zorluğu ile ilgili derecelendirme puanları dikkate alınarak, seanslardan sonra birinci ve ikinci kategori görevleri ortalama ne derece zor buldukları hesaplanmıştır. Katılımcıların ön ve son yazılı değerlendirme sorularının algılanan zorluğu ile ilgili kategorik derecelendirme puanlarından yararlanılarak Tablo 3.16 oluşturulmuştur.

Tablo 3.16. *Açınım Bölümü Kategorik Ön ve Son Yazılı Değerlendirme Sorularının Katılımcılar Tarafından Algılanan Zorluğu*

A.B. Ön ve Son Görüşme Sorularının Katılımcılar Tarafından Algılanan Zorluğu İle İlgili Kategorik Katılımcı Derecelendirme Puanları				
Öğretmen Adayları	**Ön Klinik Görüşme**		**Son Klinik Görüşme**	
	1. K	**2. K**	**1.K**	**1. K**
Tuğçe	3.2	7.4	3.4	5.8
Melis	1.8	7.8	3	7.2
Pınar	4	8.8	3.4	7.6
Özge	2.6	8.8	2.4	7.2
Ort.	2.9	8.2	3.05	6.95

Birinci kategori görevlerin öğretim seansları öncesi algılanan zorluğu (ortalama 2.9 puan) ve seanslar sonrası algılanan zorluğu (ortalama 3.05 puan) ile ilgili katılımcı derecelendirme puanlarının birbirine çok yakın olduğu belirlenmiştir. Öğretim seanslarının ardından katılımcıların ilgili görevlerde uzmanlaştıkları, cisimlerin yüzey açınımlarını şema haline getirdikleri ve bu tür görevlerin onların çalışan belleklerinde yük oluşturmayacağı düşünülebilir. Fakat ön yazılı değerlendirmede yer alan birinci kategori soruların dördü katılımcıların önceden ilkokul ve orta okulda yüzey açınımlarını yaptıkları cisimlerdir (örneğin, küp, üçgen prizma gibi), oysa son görüşmelerdeki cisimlerin üçü katılımcıların aşina olmadıkları ve doğru açınım çiziminin yapılması için daha fazla muhakeme yapılmasına gereksinim olan türdendir (modifiye cisimler). Birinci kategori son yazılı değerlendirme görevlerinin bilişsel yükü açınımı yapılacak cisimlerin öge ve etkileşimli öge miktarına müdahale edilerek arttırılmıştır. Örneğin, ön yazılı değerlendirmelerdeki aşina cisimler en fazla altı yüzlü olacak şekilde, son yazılı değerlendirmelerde en fazla on yüzlü olacak şekilde oluşturulmuş böylece görevin öge

sayısına müdahale edilerek bilişsel yükü arttırılmaya çalışılmıştır. Etkileşimli öge sayısındaki artış ise ikinci yazılı değerlendirmelerde modifiye cisimlerin yüzey açınımlarına daha fazla ağırlık verilmesiyle sağlanmıştır. Bu nedenle seanslardan sonra görevlerin algılanan zorluğunda fazla bir değişiklik olmamıştır. Melis seanslardan sonra yapılan son görüşmelerde aşina cisimlerin yüzey açınımlarının bile zorluk yaratabileceğini şu şekilde açıklamaktadır:

M: Açılımda şeylerde zorlanıyordum, mesela altıgen çizmem gerekiyor benim onları açılı, yani altıgenin iç açılarını 120 hepsini eşit yapcaksın, uzunlukları eşit olucak, altıgen çizmede çok zorlanıyordum.

İkinci kategori görevlerin seanslardan önce algılanan ortalama zorluğu 8.2 seviyelerindeyken, seanslardan sonra azalarak bu oran 6.95 seviyesine inmiştir. Derecelendirme puanları arasındaki 1.25'lik fark, kombine cisimlerin algılanan zorluğunda azalma meydana gelse de öğretmen adaylarının bu görev türlerini hala zor bulduklarına işaret etmektedir. Ön yazılı değerlendirmede karşılaşılan kombine cisimlerin yüzey açınımlarını yapma görevleri katılımcılar için yenidir ve bu soruların onlar tarafından algılanan zorluğu da yeterince yüksektir. Bu nedenle açınım görevlerinin çoğu katılımcıların bilişsel yüklerinde artışa neden olmuştur. Bununla birlikte katılımcıların kavramsal şemaları bu görevleri doğru bir şekilde cevaplandırmak için yetersizdir. Çünkü ön yazılı değerlendirme sorularını cevaplarken katılımcılar cisimlerin yüz şekillerini açınımlarına algılarına dayalı olarak çizmişler, açınımlarına bazı yüzleri yansıtmadıklarını fark etmemişler, cisimleri açmak için zihinlerinde doğru ve analitik bir açınım eylem zinciri geliştirememişler, açınımlarını kapatmak için eşit uzunlukta olması gereken kenar çiftlerini göz ardı etmişlerdir. Başka bir deyişle katılımcılar ön yazılı değerlendirme sorularını analitik ve geometrik bir yaklaşım içerisinde cevaplandırmamışlardır. Son görüşmelerde Melis bu durumu şu şekilde anlatmaktadır:

M: İlk başta hani geometrik şekillerin açılımlarında hangi, kare mi, dikdörtgen mi hangi, geometrik şekil açılcak biliyordum ama ıı uzunluklarına pek özen göstermiyordum, burdaki açılara, paralelkenar gibi çizmişim mesela, dikdörtgen olucak, onlara dikkat etmiyordum, öğretim seanslarında bunu öğrendim, burda da aynı şekilde birbirine eşit olucak kenarların farkındaydım ama ııı düzensiz bir şekilde çizdim ilk başta öğretim seanslarında buna dikkat etmem gerektiğini öğrendim. Burda da yine aynı şekilde aynı uzunlukta çizmem gerek, ama birini diğerine göre daha küçük daha özensiz çizmişim.

Oysa son yazılı değerlendirmelerde katılımcılar cisimlerin yüz şekillerini açınımlarına yansıtırken, cismin yüzlerinin geometrik özelliklerini belirlemişler, bu özellikleri açınımlarına yansıtmada geometrik bağıntılara ve geometrik inşa prosedürlerine başvurmuşlar, cisimlerin yüzlerini açmak için doğru ve analitik birden fazla eylem

zincirini zihinlerinde canlandırabilmişler ve bunlardan birini açınımlarına büyük oranda yansıtmışlar, cisimleri açarken kapanınca birleşecek kenarları göz önünde bulundurmaya çalışmışlardır. Öğretim seansları öncesi ve sonrasında cisimlerin yüzey açınımları ile ilgili düşüncelerinde nasıl bir değişim olduğunu son görüşmelerde Özge şu şekilde açıklamaktadır:

Ö: Benim hayalimde şöyleydi, tek bir açılım vardı, hiç başka açılımlar yoktu, ama bir sürü farklı açılım varmış yani, üstten açma, sağdan başlayarak açma, soldan başlayarak açma, bir sürü açılım varmış ben bunları öğrenmiş oldum, yani düşündüğüm zaman, hah şöyle açılır deyip bırakıyordum, uğraşmıyordum, şöyle de açabilirim aslında, o aklıma gelmese o aklıma gelirdi aslında neyi nereye yerleştirceğimde, bunları bilmiyordum, tek bir açılım olduğunu düşünüyordum, ama birden fazla açılım şekli varmış

Kombine cisimlerin doğru yüzey açınımlarını yapma uzun süreli bellekten çalışan belleğe eş zamanlı çağrılması gereken birçok şema ve eş zamanlı işlenmesi gereken birçok öge anlamına gelir. Katılımcılar bir cismin yüzey açınımı ile karşılaştıklarında, doğru açınımı yapmak için gerekli işlemler ve sıralarını zihinlerinde oluştursalar bile, onlarda otomatikleşmedikleri sürece bu görevler çalışan bellek yüklerini artıracak ve onları cevaplandırmada zorlanacaklardır. Bu nedenle kombine cisimlerin yüzey açınımlarını yapma görevlerinin katılımcılar tarafından algılanan zorluğunda azalma meydana gelse de bunun istenilen düzeyde olmadığı söylenebilir.

İlk yazılı değerlendirmede yer alan birinci kategori görevlerin Tuğçe, Melis, Pınar ve Özge tarafından algılanan zorluğu sırayla 3.2, 1.8, 4 ve 2.6 seviyelerindeyken, son yazılı değerlendirmelerde bu oranlar sırayla 3.4, 3, 3.4 ve 2.4 seviyelerinde seyretmiştir. Yani görevlerin algılanan zorluğu Tuğçe ve Melis'te küçük oranda da olsa artışlara neden olurken, Pınar ve Özge'de düşük oranda azalmalara neden olmuş, bu nedenle görevlerin seanslardan sonra algılanan zorluğunda azalma meydana gelmemiştir.

İkinci kategori görevlerin seanslardan önce Tuğçe, Melis, Pınar ve Özge tarafından algılanan zorluğu 7.4, 7.8, 8.8 ve 8.8 seviyelerindeyken, seanslardan sonra 5.8, 7.2, 7.6 ve 7.2 seviyelerine gerilemiştir. Görevlerin Tuğçe tarafından algılanan zorluğunda, diğer katılımcılardan daha fazla azalma meydana gelmiştir. Bu durum onun cisimlerin açınımını yapmak için gerekli şemaları kazanması ve bu görevlerde otomatikleşmesi ile açıklanabilir. Görevlerin zorluğunda en az azalma ise Melis'te meydana gelmiştir, bunun nedeni onun cisimleri açmak için gerekli şemaları edinmiş olmasına rağmen onları yapmada otomatikleşmemesi ile açıklanabilir. Pınar ve Özge'nin soruların algılanan zorluğu ile ilgili puanlamalarında düşük de olsa azalmalar meydana gelmiştir. İki

katılımcı da kombine cisimleri açmak için gerekli şemaların büyük oranda kazansalar da hala yeni şemalar edinmeleri ve onlarda otomatikleşmeleri gerekmektedir. Ayrıca öğretim seanslarından sonra ikinci kategori soruların katılımcılar tarafından algılanan zorluğu ile katılımcı hata oranları arasında anlamlı bir ilişkinin olmadığı gözlenmiştir. Seanslardan sonra Tuğçe ve Melis'in hata oranları Pınar ve Özge'den oldukça düşükken, Melis'in soruların algılanan zorluğu ile ilgili derecelendirme puan ortalaması Özge ile aynı değerde kalmıştır. Benzer şekilde seanslardan sonra birinci kategori görevlerin algılanan zorluğu ve katılımcı hata oranları arasında da anlamlı bir ilişkinin olmadığı tespit edilmiştir.

3.3.2. Öğretim seansları sonrası döndürme bölümü görevlerinin katılımcılar üzerinde yarattığı bilişsel yükün değerlendirilmesi

Öğretmen adaylarının döndürme bölümü son yazılı değerlendirme kağıtlarındaki D1 ve D2 hata oranları ile ön yazılı değerlendirme kağıtlarındaki D1 ve D2 hata oranları karşılaştırılmıştır. Yapılan görüşmelerle katılımcı hata oranlarının azalmasında (ya da değişmemesinde) etkili faktörler belirlenmiştir. Ön ve son döndürme bölümü görevlerinin algılanan zorluğu ile ilgili anket verileri karşılaştırılarak, görev türlerinin algılanan zorluğunda bir değişim meydana gelip gelmediği tespit edilmiştir. İlgili görüşmelerle de algılanan zorluğun azalmasında (ya da değişmemesinde) ne ya da nelerin etkili olduğu belirgin hale getirilmiştir.

3.3.2.1. *Döndürme bölümü katılımcı hata oranları*

Ön yazılı değerlendirmede olduğu gibi son yazılı değerlendirmede de katılımcılara 10 soru sorulmuştur. Bunlardan 6 tanesi birinci kategori ve 4 tanesi ikinci kategori görevlerle ilgilidir. Birinci kategorideki altı sorudan dördünde katılımcılardan tek eksende döndürülmüş bir cismin hangi eksen ve açıda döndürüldüğünü analitik olarak ifade etmesi istenmektedir. Kalan iki soruda tek eksende döndürülmüş bir cisim katılımcılara sunulup, bu cismin nasıl döndürüldüğünü analitik olarak ifade ettikten sonra, ikinci cisme bu dönme hareketini uyguladıkları zaman elde edilecek görüntüyü tasvir etmeleri istenmiştir. İkinci kategorideki görevler ise, ön görüşmedeki ikinci kategori görevlerle benzerdir.

Son yazılı değerlendirmede Tuğçe ve Pınar'ın sorularda hiç hata yapmadığı, Melis'in sadece birinci kategoride yer alan tek eksende döndürülmüş bir cismin hangi

eksen, yön ve açı ölçüsüne göre döndürüldüğünü belirleme sorularından sadece birinde D2 hatası yaptığı belirlenmiştir. Özge ise birinci kategori görevlerde hiç hata yapmazken, ikinci kategorideki dört sorunun ikisinde hata yapmıştır. İki eksende döndürülmüş bir cismin hangi eksen ve açıda döndürüldüğünü belirleme görevlerinden birinde bir kez D2 hatası yaparken, iki eksende döndürülmüş bir cisme göre başka bir cismi döndürme görevlerin birinde ise ilk cismin nasıl döndürüldüğünü zihninde canlandırmadığı için üç kez D1 ve dört kez D2 hatası yapmıştır.

Öğretim seanslarından önce ve sonra katılımcıların döndürme bölümünde yer alan kategorik görevlerde ortalama yüzde kaç oranında D1 ve D2 hatası yaptıkları Tablo 3.17'de gösterilmiştir.

Tablo 3.17. *Döndürme Bölümü Kategorik Ön ve Son Yazılı Değerlendirme Sorularında Katılımcı D1 ve D2 Hata Oranları*

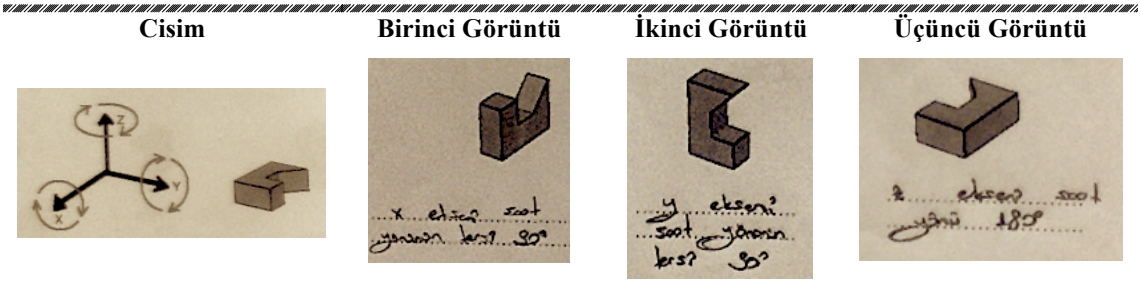
D.B. Ön ve Son Görüşme Kategorilere Göre Katılımcı D1 ve D2 Hata Oranları								
Hata Kodu/	**D1**				**D2**			
Görüşme/ Katılımcılar	**Ön G. 1. Ktgr**	**Son G. 1. Ktgr**	**Ön G. 2. Ktgr**	**Son G. 2. Ktgr**	**Ön G. 1. Ktgr**	**Son G. 1. Ktgr**	**Ön G. 2. Ktgr**	**Son G. 2. Ktgr**
Tuğçe	0.33	0	0.92	0	0.67	0	1	0
Melis	0.67	0	0.67	0	0.67	0.167	0.67	0
Pınar	0.83	0	0.83	0	0.83	0	0.92	0
Özge	1	0	0.75	0.1875	1	0	1	0.375
Ort	0,708	0	0.793	0.0469	0,793	0.0425	0.8975	0.094

Öğretim seanslarından önce döndürme bölümündeki kategorik sorularda ortalama %70'in üzerinde D1 ve D2 hatası yapan katılımcıların seanslardan sonraki hata oranlarının %10 seviyelerinin altına indiği gözlenmiştir. Özge haricindeki katılımcıların öğretim seanslarının ardından sorulan sorularda ya hiç hata yapmadıkları ya da çok düşük oranda hata yaptıkları belirlenmiştir. Tuğçe, Melis ve Pınar'ın hata oranlarındaki dikkate değer azalma, onların döndürme bölümünde sorulan sorularda uzmanlaşmaları ile açıklanabilir. Özge için durum biraz daha farklıdır, çünkü o seanslardan sonra ikinci kategori görevlerde azımsanmayacak oranda hatalar yapmaya devam etmiştir (%18.75 oranında D1 ve %37.5 oranında D2). Ön yazılı değerlendirmelerle karşılaştırıldığında Özge'nin son yazılı değerlendirmelerde yer alan birinci kategori görevlerde hiç hata yapmaması onun bu kategorilerde yer alan görevlerde uzmanlaşması ile açıklanabilir. Oysa Özge iki eksende döndürülmüş bir cismin hangi eksende döndürüldüğünü analitik olarak ifade etme ve iki eksende döndürülmüş bir cisme göre başka bir cismi döndürme görevlerinde hala önemli oranda hatalar yapmaya devam etmiştir. Elde edilen verilerden

Özge'nin ikinci kategorideki görevleri doğru bir şekilde yapabilmek için gerekli şemaları tam olarak edinemediği söylenebilir. Yani o iki eksende döndürülmüş bir cismin hangi eksen, yön ve açı ölçüsüne göre döndürüldüğünü belirleme ve ifade etme görevleri ile iki eksende döndürülmüş bir cisme göre başka bir cismi döndürme görevlerinde hala sorunlar yaşamaktadır.

Katılımcıların D1 hata oranları: Katılımcılar öğretim seansları öncesinde birinci kategori görevler %70.75 oranında dönme ekseni belirleme hatası yapmalarına rağmen, öğretim seanslarından sonra bu kategorideki görevlerde hiç dönme ekseni belirleme hatası yapmadıkları belirlenmiştir. Oysa seanslardan önce birinci kategori görevlerde en düşük oranda hata yapan katılımcı Tuğçe'dir (%33). Melis, Pınar ve Özge'nin ise oldukça yüksek oranlarda eksen belirleme hatası yaptığı tespit edilmişti (sırayla %67, %83 ve %100). Ön yazılı değerlendirme ikinci kategori görevlerde tüm katılımcılar oldukça yüksek oranlarda D1 hatası yaparken (Tuğçe, Melis, Pınar ve Özge sırayla ortalama yaklaşık %92, %67, %83 ve %75 oranlarında), son görüşmelerde Özge haricindeki katılımcıların hata yapmadığı gözlenmiştir. Özge ise ikinci kategori görevlerde ortalama yaklaşık %18.75 oranında eksen belirleme hatası yapmıştır. Buradan Tuğçe, Melis ve Pınar'ın dönme ekseni ile ilgili kavramsal şemalarının tüm kategorideki görevleri doğru cevaplamaları için yeterli olduğu söylenebilir. Oysa Özge'nin dördüncü kategorideki görevlerde hala kendisini geliştirmesi gerekmektedir.

Şekil 3.68'de bir cisim ve onun tek eksende döndürülerek elde edilmiş üç görüntüsü yer almaktadır. Birinci görüntü cismin 'x ekseni etrafında saat yönünün tersi 90 derece', ikinci görüntü, 'y ekseni etrafında saat yönünün tersinde 90 derece' ve üçüncü görüntü 'z ekseni etrafında saat yönünde 180 derece' döndürülmesiyle elde edilmiştir.



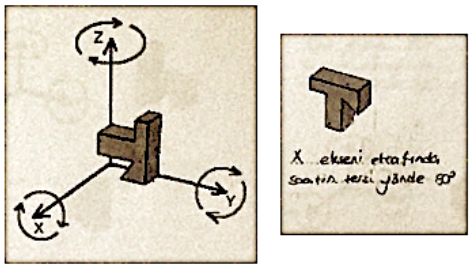
Şekil 3.68. *Döndürme Bölümü Son Yazılı Değerlendirme Özge Örneği*

Özge cismin yüzleri ve görüntüde bu yüzlerin konumları arasındaki ilişkilerden yararlanmaksızın, tek eksende döndürülmüş cisimlerin hangi eksen, yön ve açı ölçüsünde döndürüldüğünü analitik olarak ifade etmiştir (Bkz. Şekil 3.68).

Son görüşmelerde Tuğçe ve Melis'in birinci kategorideki görevleri cevaplarken, cismin yüzleri ve dönme sonucunda yüzlerin değişen konumlarından yola çıkarak dönme eksen, yön ve açı ölçüsünü çıkarsayabildiği gözlenmiştir. Şekil 3.69'de bir cisim ve onun x ekseni etrafında saat yönü tersinde 90 derece döndürülmesiyle elde edilmiş görüntüsü yer almaktadır. Melis cismin dönme eksen, yön ve açısını nasıl belirlediğini şu şekilde anlatmaktadır:

M: Bu cisim, görüntüsü, şimdi ön yüz gene ön yüz, sağ yan yüz üst yüz olmuş, ve alt yüzde sağ yan yüz olmuş, x ekseni etrafında saatin tersi yönde 90 derece dönderirsem eğer, şu an ki sol yüz de alt yüz olur, ve bu görüntü oluşur.

Cisim, Görüntüsü ve Katılımcı İfadesi

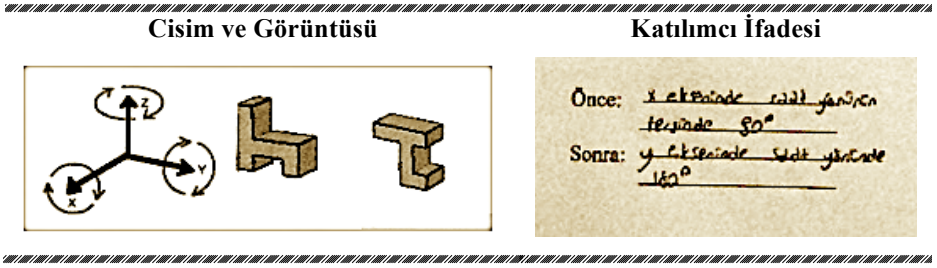


Şekil 3.69. *Döndürme Bölümü Son Yazılı Değerlendirme Melis Örneği*

Katılımcıların D2 hata oranları: Öğretim seanslarından önce birinci kategori görevlerde ortalama yaklaşık %79.25 oranında hata yapan katılımcıların, seanslardan sonraki ortalama hata oranları %4.25 seviyelerine inmiştir. İkinci kategori sorularda ise ortalama yaklaşık %89.75 oranında hata yaparken, seanslardan sonra bu oran %9.375'e inmiştir. Yani katılımcıların D2 hata oranları dikkate değer bir şekilde azalmıştır. Seanslardan önce birinci kategori görevlerde Tuğçe, Pınar ve Özge ortalama sırayla %67, %83 ve %100 oranında hata yaparlarken, seanslardan sonra bu kategorideki görevlerde hiç D2 hatası yapmadıkları belirlenmiştir. Melis'in birinci kategori görevlerde seanslardan önce %67 oranında olan açı belirleme hatası, son görüşmelerde %16.7 seviyesine inmiştir. Melis'in birinci kategorideki görevlerden birinde yaptığı açı belirleme hatası, D2 hata oranında da artış meydana getirmiştir. İkinci kategori görevlerde Tuğçe, Melis ve Özge sırayla ortalama yaklaşık %100, %67 ve %92 oranlarında hata

yaparlarken, bu üç katılımcı seanslardan sonra bu kategoride yer alan soruların hiçbirinde D2 hatası yapmamıştır. Melis'in öge ve etkileşimli öge sayısı az olan birinci kategoride yer alan bir görevde hata yaparken, öge ve etkileşimli öge sayısı fazla olan görevlerde hiç hata yapmaması, onun ilk kategorideki soruları çok kolay bulması nedeniyle onları cevaplandırmak için fazla çaba sarf etmemesi ve onları fazla odaklanmadan cevaplandırmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Özge ikinci kategori görevlerde %100 oranında D2 hatası yaparken, seanslardan sonra bu oran yaklaşık %37.5 seviyelerine gerilemiştir. Katılımcının hata oranında azalma meydana gelse de istenilen düzeyde olmamıştır. Ayrıca Özge cisimlerin hangi eksende döndürüldüğünü belirleyebilse ve başka bir cismi belirlediği eksen etrafında döndürebilse de, cismi o eksen etrafında istenen yön ve açı ölçüsünde döndürmede ya da belirli eksen etrafında döndürülmüş cismin hangi yönde ve açı ölçüsünde döndürüldüğünü belirleme ve ifade etmede sorunlar yaşamaktadır. Buradan Özge haricindeki katılımcıların dönme yönü ile ilgili şemalarının oldukça geliştiği söylenebilir. Başka bir deyişle Tuğçe, Melis ve Pınar dönme bölümündeki görevlerde uzmanlaşmışlardır.

İki eksende döndürülmüş bir cismin iki dönme hareketini de belirleyebilmek için, cismin birinci dönme hareketi sonucu oluşan görüntünün katılımcıların zihninde oluşması gerekmektedir. Birinci dönme hareketi sonucu oluşan görüntü, cisim ve iki dönme hareketi sonucu oluşan görüntü bağlantılıdır. Şekil 3.70'de bir cisim ve onun sırayla x-syt-90 ve y-sy-180 etrafında döndürülmüş görüntüsü yer almaktadır.



Şekil 3.70. *Döndürme Bölümü Son Yazılı Değerlendirme Pınar Örneği*

Pınar, cismin dönme hareketlerini belirledikten sonra (Bkz. Şekil 3.70), birinci dönme hareketinin cismin görüntüsünde nasıl bir değişiklik yaratacağını son görüşmelerde aşağıdaki gibi açıklamıştır. Katılımcı devam eden görüşmede x ekseni etrafında saat yönü tersinde 90 derece döndürülerek elde edilen cisim görüntüsünü referans alarak, bu görüntüye ikinci dönme hareketi uygulandığında elde edilecek

görüntüyü de tarif etmiştir. Pınar dönme hareketleri sonrası oluşan görüntülerle ilgili olarak şunları söylemiştir:

P: Burda iki döndürme yapıyoruz, bunu ilk önce saat yönünün tersinde 90 derece çevirdiğimde, ıı… sol yüzüm tabana denk gelir, üst yüzüm sola bakar, tabanım sağa bakar, sağ yüzüm de üst yüze bakar, daha sonra y ekseninde saat yönünde 180 derece çevirdiğimde de, şu anki tabanım üst yüze denk gelir, üst yüzüm tabana denk gelir, ıı sağ ve sol şekil olarak değişmez, ama yer değiştirir işte, bu altta olucak (sandelye olarak ifade ettiği cismin üst bacağına dokunuyor) şu an bu bacak alttayken, bu bacak alt konuma gelir (üst bacağına dokunuyor) ve bu uzun çizgi sol tarafta bakıcak, üstte.

Öğretim seanslarından önce bilhassa ikinci kategorideki sorularda oldukça yüksek oranlarda D2 hatası yapan Tuğçe, Melis ve Pınar'ın, dönme hareketleri ile ilgili kavramsal şemaları geliştiği için seanslardan sonra bu soru türlerinde hiç hata yapmadıkları belirlenmiştir. Özge, bu soru türlerinde ya ilk cismin dönme hareketlerini belirlemede ya da ikinci cisme bu dönme hareketlerini uygulumada sorunlar yaşamaya devam etmiştir.

Şekil 3.71'de bir cisim ve ona sırayla y-sy-90 ve z-syt-180 derece dönme hareketleri uygulanarak elde edilmiş görüntüsü yer almaktadır. Son görüşmelerden, Tuğçe'nin ilk cisim ve görüntüsü ile ilgili geometrik muhakemede bulunarak, bu cisme uygulanan dönme hareketlerini belirleyebildiği anlaşılmaktadır:

T: (Birinci cisim) İki eksen yine aynı şekilde, öncelikle bu nasıl döndürülmüş ona bakıcam, buna yine bir eksenler belirledim, bunu öncelikle y ekseninde 90 derece saat yönünde çevirdim yani şöyle çevirdim, ne olmuş oldu tabanı kesikli yüzeyin yakını oldu, yani kesikli yüzün altı oldu, daha sonra baktım uç noktalar farklı, bu uç noktaları son durumdaki uç noktaya getirmem için benim z ekseninde 180 derece saat yönünün tersinde çevirmem gerekiyor…(ikinci cisim) y ekseninde 90 derece saat yönünde çevirirsem, şöyle yatay bişey elde etmiş olurum, daha sonra bunu z ekseninde 180 derece çeviricem, 180 derece çevirmem demek şöyle 90, şöyle de 180, bu şekilde olması gerekiyor.

Şekil 3.71. *Döndürme Bölümü Son Yazılı Değerlendirme Tuğçe Örneği*

Şekil 3.71'de Tuğçe ikinci cisme belirlediği dönme hareketlerini uygulayabilmek için, bu cismi kendi inşa ettiği 3B'li bir koordinat sistemindeki eksenlere göre döndürdüğünde elde edilecek görüntüyü şu şekilde tarif etmektedir: 'uç noktalar –x yön. (yönünde) olucak. Tabanım ilk şeklin ark. (arka) yüzeyi olucak ve –yx düzleminde bulunacak. Cismin yükseklikleri +z ekseninde olucak.

Öğretim seanslarında sonra döndürme görevleri ile ilgili yapılan son görüşmelerde Melis, Pınar ve Özge'nin aşağıda yer alan şemalardan çoğunu, Tuğçe'nin ise hepsini edindiği belirlenmiştir. Bunlar: (1) Tek dönme hareketi uygulanarak döndürülmüş bir cismin hangi eksen, yön ve açıda döndürüldüğünü belirleyebilme, (2) bir cisim ve onun tek dönme hareketi uygulanarak elde edilmiş görüntüsü verildiği zaman, cismin başlangıç yüzlerinin konumları ile dönme hareketi uygulandıktan sonraki konumları arasında ilişkiden, cismin hangi eksen, yön ve açı ölçüsünde döndürüldüğü ile ilgili genellemelere ulaşma, (3) iki dönme hareketi uygulanmış bir cismin hangi eksenler, yönler ve açı ölçülerinde döndürüldüğünü belirleyebilme, (4) bir cisim ve onun iki dönme hareketi uygulanarak elde edilmiş görüntüsü verildiği zaman, cismin başlangıç yüzlerinin konumları ile dönme hareketi uygulandıktan sonraki konumları arasında ilişkiden, cismin hangi eksenler, yönler ve açı ölçülerinde döndürüldüğü ile ilgili genellemelere ulaşma, (5) bir cismi 3B'li koordinat sisteminde belirtilen bir eksen etrafında, ifade edilen yön ve açı ölçüsü etrafında zihninde döndürdüğünde elde edilecek cisim görüntüsünü tarif edebilme, (6) bir cismi 3B'li koordinat sisteminde belirtilen bir eksen etrafında zihninde döndürdüğünde elde edilecek görüntünün koordinat eksenleri üzerindeki konumunu tarif edebilme, (7) bir cismi 3B'li koordinat sisteminde belirtilen iki eksen etrafında, bu eksenlere göre ifade edilen yönler ve açı ölçülerinde zihninde döndürdüğünde elde edilecek cisim görüntüsünü tarif edebilme, (8) bir cismi 3B'li koordinat sisteminde belirtilen iki eksen etrafında, bu eksenlere göre ifade edilen yönler ve açı ölçülerinde zihninde döndürdüğünde elde edilecek görüntünün koordinat eksenleri üzerindeki konumunu tarif edebilme, (9) tek dönme hareketi uygulanmış cismin hangi eksen, yön ve açı ölçüsünde döndürüldüğünü analitik olarak ifade ettikten sonra başka bir cisme ifade ettiği dönme hareketini doğru bir şekilde uygulama ve elde edilecek görüntüyü doğru bir şekilde ifade edebilme, (10) iki dönme hareketi uygulanmış cismin birinci ve ikinci dönme hareketini zihninde canlandırıp analitik olarak ifade etme, başka bir cisme aynı birinci dönme hareketi uygulandıktan sonra elde edilecek görüntüyü tarif

ettikten sonra, bu görüntüyü zihninde tutarak ona ikinci dönme hareketini uyguladıktan sonra elde edilecek son görüntüyü tarif edebilme ve (11) bir cisim ve onun iki eksen etrafında döndürülerek elde edilmiş görüntüsü verildiğinde, aynı görüntüyü üreten farklı dönme hareketlerinin farkında olma şeklindedir.

3.3.2.2. *Döndürme bölümü görevlerinin algılanan zorluğu*

İlk olarak, son yazılı değerlendirmede yer alan birinci ve ikinci kategori döndürme görevlerinin algılanan ortalama zorluğu hesaplanmıştır. İkinci olarak katılımcıların döndürme bölümü sorularını öğretim seansları öncesinde ne derece zor bulduklarını ve seanslar sonrasında onların soruların zorluğu ile ilgili algılarında nasıl bir değişim meydana geldiğini belirleyebilmek için Tablo 3.18 oluşturulmuştur.

Tablo 3.18. *Döndürme Bölümü Kategorik Ön ve Son Yazılı Değerlendirme Sorularının Katılımcılar Tarafından Algılanan Zorluğu*

D.B. Ön ve Son Görüşme Sorularının Katılımcılar Tarafından Algılanan Zorluğu İle İlgili Kategorik Katılımcı Derecelendirme Puanları				
S.Z. Ktgrl.	**Ön K. 1.K**	**Son K. 1.K**	**Ön K. 2.K**	**Son K. 2.K**
Tuğçe	2.5	1	9	6
Melis	4.5	2.33	7.75	7
Pınar	3.5	2	8.25	4.75
Özge	4	1	8.25	2.5
Ort.	3.62	1.58	8.31	5.06

Ön yazılı değerlendirme görevleri ile ilgili ankette birinci kategorideki dönme görevlerinin katılımcılar tarafından algılanan ortalama zorluğu 3.62 puan seviyesindeyken, son yazılı değerlendirmelerde bu değer 1.58 seviyelerine inmiştir (Bkz. Tablo 3.18). Ön ankette tek eksende döndürmeyi içeren görevler biraz basit bulunsa da, son ankette ya çok çok basit ya da çok basit bulunmuştur. İkinci kategori görevlerin seanslar öncesinde katılımcılar tarafından algılanan ortalama zorluğu ortalama 8.31 puan seviyesindeyken, seanslardan sonra bu oran ortalama 5.06 puan değerine kadar gerilemiştir. Ön yazılı değerlendirme görevleri katılımcılar tarafından oldukça zor bulunurken, seanslardan sonra ‘ne basit ne de zor’ bulunmuştur (Bkz. EK-16). İki kategoride yer alan görevlerin de katılımcılar tarafından algılanan ortalama zorluğunda dikkate değer oranlarda azalma meydana gelmiştir. Buradan görevlerin katılımcıların çoğu tarafından algılanan zorluğunun önemli oranda azaldığı söylenebilir. Katılımcılar

dönme hareketleri ile ortaokul sıralarında tanışmışlardır. Fakat ortaokul öğretim programı iki boyutlu koordinat sistemine dayalıdır. Oysa uzamsal görselleştirmenin döndürme bölümünde katılımcıların 3B'li düşünebilmeleri gerekmektedir. Ön görüşmelerde katılımcıların dönme hareketlerini kendilerine sunulan 3B'li koordinat sisteminden bağımsız olarak gerçekleştirdikleri belirlenmiştir. Katılımcıların kendilerine sunulan 3B'li koordinat sistemi üzerinde hareket edememeleri, bilişsel yüklerinde artış meydana getirmiş, bu nedenle ön yazılı değerlendirme sorularının algılanan ortalama zorluğu oldukça yüksek çıkmıştır. Öğretim seanslarında katılımcıların 3B'li koordinat sistemi ve ona dayalı olarak gerçekleştirilen dönme hareketleri ile ilgili kavramsal şemaları gelişmiştir. Buna bağlı olarak son yazılı değerlendirme sorularının algılanan zorluğunda belirgin bir azalma meydana gelmiştir. Öğretim seanslarından sonra dönme görevlerini cevaplandırmada fazla zorluk yaşamadığını belirten Tuğçe, son görüşmelerde dönme eksenlerini belirlemede ve bir cismi dönme eksenlerine göre çevirmede seansların etkisini şu şekilde ifade etmektedir:

T: Ama döndürmede hiç bir sıkıntım çıkmadı, ben cabri yi en çok döndürmede sevdim mesela, çünkü o döndürürken, nasıl döndürüldüğünü görebiliyorsunuz, hangi eksenlerin olduğunu zihninizde otutturabiliyorsunuz.

Tuğçe'ye benzer biçimde Pınar seansların dönme eksenlerini zihninde canlandırmasına olan etkisini şu şekilde ifade etmektedir:

P: En başta mesela şey bilmiyordum, y ekseninin dönüşünü bilmiyordum, z ekseninin, biz hep iki eksen üzerinden çalışmıştık x ve y, z ekseni de gelince biraz kafam karışmıştı ama, onu da toparladım.

Öğretim seansları katılımcıların dönme yön ve açı ölçüsü ile ilgili kavramsal şemalarının gelişiminde de etkili olmuştur. Melis, seanslardan önce eksenlere göre dönme yönlerini belirleyemediğini, fakat seansların dönme eksen, yön ve açısı ile ilgili yaşadığı zorlukların üstesinden gelmesinde etkili olduğunu şu şekilde ifade etmektedir:

M: Eksenlerin saat yönü ya da saatin tersi yönü onları karıştırıyordum ilk başta, öğretim seanslarında öğrendim…(Seanslardaki Cabri3D'de döndürme etkinlikleri) birebir kendin döndürüyorsun, yani en ufak açıyı bile orda fark edebiliyorsun döndürürken, …istediğin eksende istediğin kadar istediğin yönde rahatça döndürebiliyorsun.

Ön yazılı değerlendirmelerde, birinci kategori döndürme görevlerinin Tuğçe, Melis, Pınar ve Özge tarafından algılanan zorluğu sırayla ortalama 2.5, 4.5, 3.5 ve 4 seviyelerindeyken, son yazılı değerlendirmelerde bu puanlar sırayla ortalama 1, 2.33, 2 ve 1 seviyelerine inmiştir. Ön ve son anket verileri karşılaştırıldığında, Özge ve Melis'in derecelendirme puanlarında, diğer iki katılımcıya göre daha fazla azalma meydana

gelmiştir. Seanslar öncesinde ikinci kategori görevlerin Tuğçe, Melis, Pınar ve Özge tarafından algılanan ortalama zorluğu sırayla 9, 7.75, 8. 25 ve 8.25 puan seviyelerindeyken, seanslardan sonra bu oranlar 6, 7, 4.75 ve 2.5 seviyelerine inmiştir. İkinci kategori katılımcı derecelendirme puanları karşılaştırıldığında, görevlerin Özge tarafından algılanan ortalama zorluğu ile ilgili derecelendirme puanlarında diğer katılımcılardan daha fazla düşüş meydana geldiği belirlenmiştir. Tuğçe ve Pınar'ın derecelendirme puanlarında da önemli oranda azalma meydana gelmiştir. Fakat Melis ikinci kategori görevleri seanslardan önce ve sonra neredeyse aynı derecede zor bulmuştur. Son yazılı değerlendirme hata oranları ile görevlerin algılanan zorluğu ile ilgili katılımcı derecelendirme puanları karşılaştırıldığında, aralarında anlamlı bir ilişkinin olmadığı belirlenmiştir. Çünkü, son yazılı değerlendirme sorularında hata oranı en yüksek olan ve soruların algılanan zorluğu ile ilgili derecelendirme puanı en düşük olan katılımcı Özge'dir. Seanslardan önce çok çok zor oldukları düşünülen ikinci kategori görevlerinin seanslardan sonra ne basit ne zor ya da çok az zorluğa sahip oldukları düşünülmeye başlanmıştır. Pınar öğretim seanslarından sonra iki eksende dönme hareketi ile ilgili ikinci kategoride yer alan soruları hemen zihninde canlandıramadığını fakat, yine de doğru dönme hareketlerini belirleyip uygulayabildiğini son görüşmelerde şu şekilde ifade etmektedir:

P: Hemen bir anda canlanmıyordu aklımda, birinci eksende çevirip, onun bir tabanını otutturup ön yüzünü hayal edip daha sonra, ikinci eksene geçiyordum, ikinci dönme hareketine geçiyordum nasıl olur acaba diye, zaman kaybediyordum ama sonuçta doğruya ulaşıyordum.

3.3.3. Öğretim seansları sonrası yönelim bölümü görevlerinin katılımcılar üzerinde yarattığı bilişsel yükün değerlendirilmesi

Öğretim seanslarından sonra öğretmen adaylarının birinci yönelim bölümü son yazılı değerlendirme görevlerindeki Y1, Y2, Y3 ve Y4 hata oranları hesaplanarak, ön yazılı değerlendirme hata oranları ile karşılaştırılmıştır. Yapılan görüşmelerle katılımcı Y1, Y2, Y3 ve Y4 hata oranlarının azalmasında ya da azalmamasında etkili faktörler belirgin hale getirilmiştir. İkinci yönelim bölümü son yazılı değerlendirme kağıtları ile öğretmen adaylarının her bir görevde Y5, Y6 ve Y7 hatalarını sergileyip sergilemedikleri incelenmiştir. İlgili görüşmelerle öğretimin Y5, Y6 ve Y7 hatalarını gidermede etkisi belirlenmiş ve hataların azalması ile öğrenen kazanımları arasındaki ilişki değerlendirilmiştir. Birinci yönelim bölümü ön ve son yazılı değerlendirme görevlerinin

algılanan zorluğu ile ilgili anket verileri karşılaştırılarak, hangi görev türlerinin algılanan zorluğunda azalma meydana geldiği ya da meydana gelmediği tespit edilmiştir. Birinci yönelim bölümü görevlerinin algılanan zorluğu ile ilgili görüşmelerle, algılanan zorluğun değişmesinde ya da değişmemesinde ne ya da nelerin etkili olduğu belirlenmiştir. İkinci yönelim bölümünde ise öğretmen adaylarına her bir görevi ne derece zor bulduklarını değerlendirmeleri istenmiş, ilgili görüşmelerle algılanan zorluğun ne ya da nelerden kaynaklandığı anlaşılmaya çalışılmıştır.

3.3.3.1. *Yönelim bölümü katılımcı hata oranları*

Katılımcıların yönelim birinci bölümündeki hata oranlarını karşılaştırabilmek Tablo 3.19 oluşturulmuştur.

Tablo 3.19. *Birinci Yönelim Bölümü Son Yazılı Değerlendirme Sorularındaki Katılımcı Y1, Y2, Y3 ve Y4 Hata Oranları*

B.Y.B. Son Görüşme Sorularının Her Birindeki Katılımcı Y1, Y2, Y3 ve Y4 Hata Yüzdeleri (%)								
K	**Soru**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**Ort**
	Y1	0	0	0	0	0	0	0
T	**Y2**	0	0	100	0	33.3	33.3	27,77
	Y3	0	0	0	0	0	0	0
	Y4	0	0	0	0	0	0	0
	Y1	0	0	0	0	33.3	0	5,55
M	**Y2**	0	0	66.7	0	100	33.3	33,33
	Y3	0	0	0	0	33.3	0	5,55
	Y4	0	0	0	0	0	0	0
	Y1	0	0	0	0	33.3	0	5,55
P	**Y2**	0	0	33.3	66.7	100	83.3	47,22
	Y3	0	0	0	0	33.3	0	5,55
	Y4	0	0	0	0	0	0	0
	Y1	0	0	0	0	66.7	0	11,12
Ö	**Y2**	0	0	33.3	66.7	100	83.3	47,22
	Y3	0	0	0	0	66.7	0	11,12
	Y4	0	0	0	0	0	0	0
O	**Y1**	0	0	0	0	33,33	0	5,55
r	**Y2**	0	0	58,33	33,35	83,33	58,3	38,89
t	**Y3**	0	0	0	0	33,33	0	5,55
	Y4	0	0	0	0	0	0	0

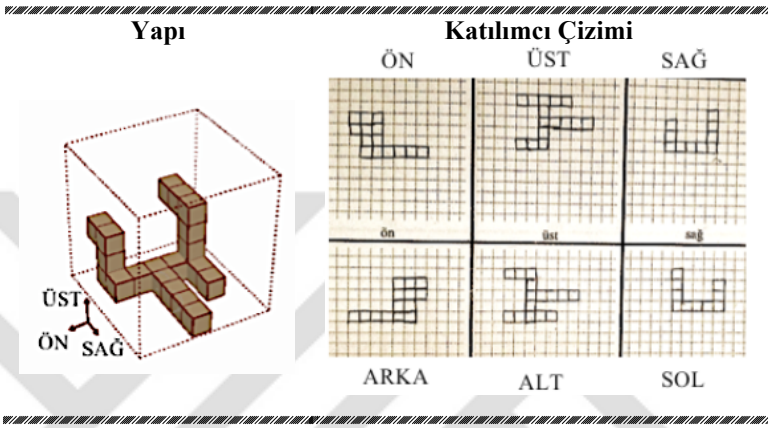
Tabloda öğretim seansları öncesi ve sonrası sırayla birim küplerden oluşan basit bütünleşik ve bütünleşik olmayan yapıların (1. ve 2. soru), eğik ve eğrisel yüzlere sahip orta derece karmaşık (3. ve 4. soru) ve karmaşık yapıların (5. ve 6. soru) farklı yönlerden görünümünü çizme sorularındaki katılımcı hata oranları yer almaktadır.

Öğretim seanslarından önce cevaplandırdıkları tüm sorularda Y1, Y2, Y3 ve Y4 hata profillerinden bazılarını ya da hepsini sergileyen katılımcılardan Tuğçe ve Melis, seanslardan sonra bu sorulardan üçünde, Pınar ve Özge ise ikisinde bu hata profillerinden hiçbirini sergilememişlerdir.

Öğretim seanslarından sonra hiçbir katılımcının Y4 hatası yapmadığı tespit edilmiştir. Katılımcılar seanslardan önce yapıya görevlerde istenilen şekilde yönelmede zorlanıyorken, seanslardan sonra böyle bir sorun kalmamıştır. Onlar vücutlarını görevde istenilen şekilde yapıya yönlendirdiklerini düşünerek, yapının farklı yönlerden görünüşlerini çizmişlerdir. Son yazılı değerlendirmelerde Tuğçe'nin, Y4 hata profiliyle benzer şekilde Y1 ve Y3 hata profillerini de sergilemediği gözlenmiştir. Ayrıca Tuğçe Y2 hata profilini diğer katılımcılarla karşılaştırıldığında daha düşük oranda sergilemiştir (%27.77). Bu durum Tuğçe'nin birinci yönelim görevlerinde önemli ölçüde uzmanlaştığı şeklinde yorumlanabilir. Melis ve Pınar son yazılı değerlendirme sorularında aynı oranda Y1 ve Y3 hatası yaparken, Pınar'ın Y3 hata oranının Melis'ten fazla olduğu belirlenmiştir. Yani görevler Pınar'ın bilişsel yükünü Melis'ten biraz daha fazla oranda artırmıştır. Pınar ve Melis'in düşük oranda Y1 ve Y3 hatası yapmaları (%5.55), bakılan yönden yapının görünecek kısımlarını belirmede ve bu kısımları görünüş çizimlerine doğru bir şekilde konumlandırmada fazla sorun yaşamadıklarına işaret etmektedir. Özge ise Y1 ve Y3 hata profilini diğer katılımcılardan daha yüksek oranda sergilerken, Y2 hata profilini Pınar ile aynı oranda gerçekleştirilmiştir (%47.22). İlk yazılı değerlendirmelerde en az Y1, Y2, Y3 ve Y4 hata oranlarına sahip katılımcı Tuğçe ve en fazla hata oranlarına sahip katılımcı ise Özge'dir. Öğretim seanslarından sonra da durum değişmemiştir. Tüm katılımcıların son yazılı değerlendirmelerde hala Y2 hatası yapmaları görünüş çizimlerinde algılarının ya da duyularının etkisine bağlı kaldıkları ile açıklanamaz. Onların son yazılı değerlendirme görevlerindeki Y2 hataları yapıdaki orantısal ilişkileri belirleyememeleri, yapıyı hatalı bir şekilde birimlendirmeleri ve yapıyı oluşturan parçalar arasındaki geometrik ilişkileri fark edememeleri ile bağlantılıdır. Tüm katılımcılar birinci yönelim görevlerinde önemli oranda gelişim göstermişlerdir ve bu görevlerin onların çalışan belleklerinde yarattığı yük eskiye oranla önemli oranda azalmıştır.

Soru türleri bakımından ele alındığında ilk yazılı değerlendirmelerde birim küplü bütünleşik yapının farklı yönlerden görünüşünü çizmede Y1, Y2, Y3 ve Y4 hatalarından ortalama sırayla %25, %37.5, %29.18 ve %70. 83 oranlarında ve birim küplü bütünleşik olmayan yapının farklı yönlerden görüşünü çizmede ise ortalama sırayla %54.18,

%54.18, %54.18 ve %70.83 oranlarında hata yapılırken, son yazılı değerlendirmelerde hiç bir katılımcının bu soru türlerinde hata yapmadığı gözlenmiştir. Yani farklı zorluk derecelerine sahip birim küplü yapıların farklı yönlerden görünümü çizme görevleri katılımcılar tarafından şema haline getirilmiştir ve katılımcılar bu tarz sorularda artık hata yapmamaktadırlar. Şekil 3.72a'da birim küplü bütünleşik olmayan bir yapı ve yapının Pınar tarafından çizilen altı farklı yönden görünüşü yer almaktadır.



Şekil 3.72a. *Birinci Yönelim Bölümü Son Yazılı Değerlendirme Pınar Örneği-1*

Son yazılı değerlendirmelerde Y1, Y2 ve Y3 hata profillerinin üçünün de en yüksek oranda sergilendiği tek soru eğik yüzlere sahip karmaşık yapının farklı yönlerden görünüşlerini çizmeyi gerektiren beşinci sorudur. Birim küplü yapılardan sonra en az hata eğrisel yüzlere sahip orta derece karmaşık olan dördüncü soruda yapılmıştır. Bu soruda Tuğçe ve Melis hiç hata yapmazken, Pınar ve Özge sadece Y2 hatası yapmışlardır. Eğik yüzlere sahip orta derece karmaşık üçüncü soru ile eğik ve eğrisel yüzlere sahip karmaşıklık derecesi fazla altıncı soruda aynı oranda hata yapılmıştır. Buradan katılımcıların daire gibi cisimlerin geometrik özelliklerini kullanarak, yapının en, boy ve yükseklik boyutları hakkında muhakemede bulunabilirken, yapıdaki ayrıtların hizaları ve uzunlukları ile ilgili muhakemede bulunarak yapıyı birimlendirmelerini gerektiren görevlerde hatalar yapabildiklerine işaret etmektedir. Melis, Pınar ve Özge beşinci soruda Y1, Y2 ve Y3 hata profillerinin üçünü de sergilemişlerdir. Üç katılımcı da bu soruda %100 oranında Y2 hatası yapmışlardır. Ayrıca katılımcıların hepsi üçüncü, dördüncü ve altıncı soruda sadece Y2 hatası yapmıştır. Tuğçe üçüncü soruda (%100), Pınar ve Özge dördüncü ve altıncı soruda (sırayla %66.7 ve %83.3) en yüksek oranda Y2 hatası yapmışlardır.

Katılımcıların öğretim seansları öncesi ve sonrasında hangi hata profillerinden yüzde kaç oranında sergilediklerini karşılaştırabilmek için Tablo 3.20 oluşturulmuştur. Bu tablo katılımcıların her birinin yönelim birinci bölümündeki Y1, Y2, Y3 ve Y4 hata oranları hakkında bilgi sağlamaktadır.

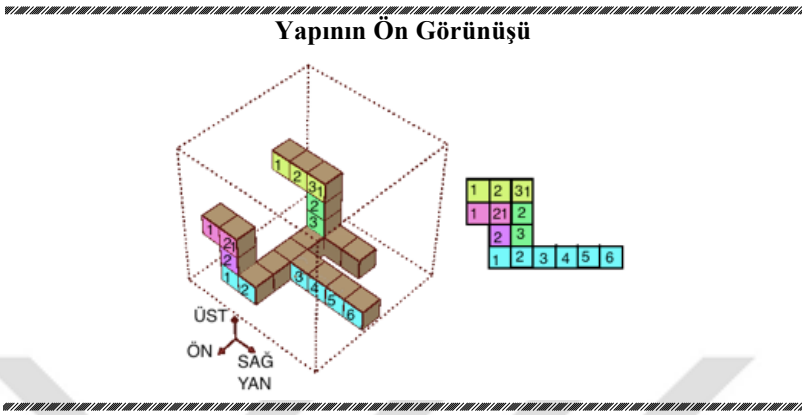
Tablo 3.20. *Birinci Yönelim Bölümü Kategorik Ön ve Son Yazılı Değerlendirme Sorularındaki Katılımcı Y1, Y2, Y3 ve Y4 Hata Oranları*

B.Y.B. Ön ve Son Görüşme Kategorilere Göre Katılımcı Y1, Y2, Y3 ve Y4 Hata Yüzdeleri (%)										
Hata	**Tuğçe**		**Melis**		**Pınar**		**Özge**		**Ort.**	
Kodu	**1.K**	**2.K**	**1.K**	**2.K**	**1.K**	**2.K**	**1.K**	**2.K**	**1.K**	**2.K**
Y1	8.33	0	55.55	5.55	33.35	5.55	55.56	11.12	38.2	5.55
Y2	52.76	27.77	77.76	33.33	72.23	47.22	100	47.22	75.69	38.89
Y3	27.78	0	61.1	5.55	50	5.55	66.67	11.12	51.39	5.55
Y4	38.88	0	63.86	0	94.43	0	97.22	0	73.6	0

İlk yazılı değerlendirmelerde Y2 ve Y4 hata profillerinin sergilenme oranlarının (sırayla 75.69 ve 73.6), diğer hata profillerinin sergilenme oranından daha fazla olduğu gözlenmiştir (sırayla 38.2 ve 51.39). Fakat öğretim seanslarından sonra yapılan son yazılı değerlendirmelerde katılımcıların hiç Y4 hatası yapmadığı belirlenmiştir. Katılımcıların son yazılı değerlendirme sorularında Y1 ve Y3 hata profillerini sergilenme oranları da azalarak %5.55 seviyelerine kadar gerilemiştir. Ön görüşmelerde katılımcıların yapıya belirli bir yönden bakıldığında yapının gerisinde olan kısımlarının görünmeyeceği ile ilgili ön yargılara sahip oldukları söylenmişti. Öğretim seanslarından sonra yapılan son görüşmelerde, katılımcıların belirli bir yönden yapının görünecek kısımlarını belirleme ve bu kısımları görünüş çizimlerine yansıtma için gerekli şemaları edindikleri gözlenmiştir. Pınar Şekil 3.72b'de yer alan yapıya önden bakıldığında hangi yüz ya da yüz parçalarının görüneceğini yapı ile çizimi arasında birebir eşleştirme yaparak tek tek belirtmiştir. Görevde hiç Y1, Y2, Y3 ve Y4 hatası yapmayan katılımcı ön görünüş çizimini nasıl yaptığını şu şekilde anlatmaktadır:

P: Bir birim bunların üzerinde 3 birimlik var (üst satırdaki üç kare), onun altında bir iki (ikinci satırdaki ilk iki kare) ve bunun bir tane fazlalığını da onun yanında (üst satırdaki sağda kalan üçüncü kare) görücek şekilde üç birimliğim var (üçüncü sütundaki alt alta yer alan üç kare), sonra bir iki birimliğimde burda var (ikinci sütunda ortada kalan kareler) onu da çiziyorum, sonra tabanını çiziyorum, bir iki üç dört beş altı birim olucak şekilde (en alt satırdaki altı kare), bunu da (alt satırdaki 3, 4, 5 ve 6 numaralı kareler) bunun yanında (alt satırdaki 1 ve 2 numaralı kareler) olucak şekilde görürüm.

Öğretim seansından sonra katılımcının bakış yönüne göre yapının görünecek kısımlarını doğru bir şekilde belirleyebildiği gözlenmiştir, Pınar bakış yönüne göre yapının gerisinde olan fakat görünecek tüm kısımlarını görünüş çizimine doğru bir şekilde yansıtmıştır.

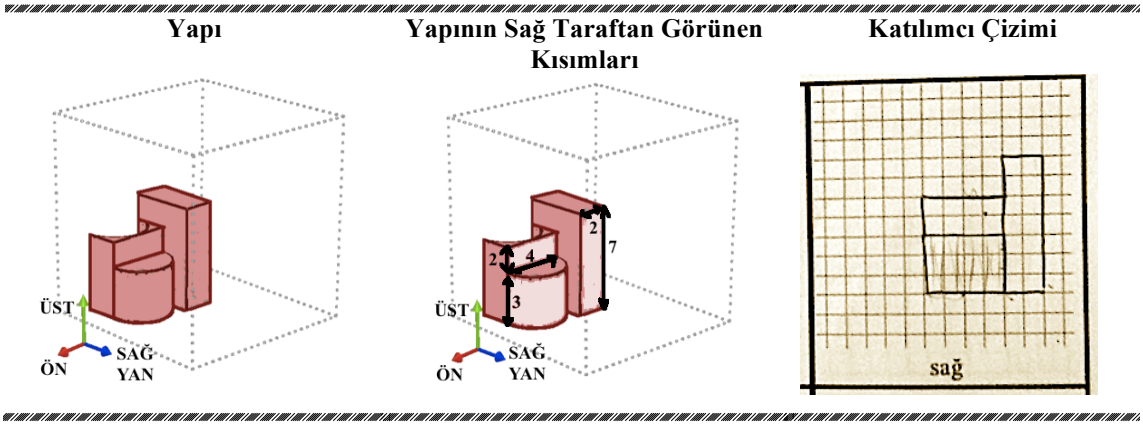


Şekil 3.72b. *Birinci Yönelim Bölümü Son Görüşme Pınar Örneği-1*

Öğretim seanslarından sonra katılımcıların Y1, Y3 ve Y4 hata oranları minimum düzeye inmesine rağmen, ön görüşmelerde %75.69 oranında yapılan Y2 hatası, seanslardan sonra bile %38.89 oranında yapılmaya devam etmiştir. Seanslardan önce yapının farklı yönden görünüşlerini çizerken genellikle algılarına dayalı olarak hareket eden katılımcıların, seanslardan sonra yapıyı oluşturan parçaların görüntü olarak nasıl bir geometrik bir şekil üreteceğini belirlemede fazla sorun yaşamadıkları gözlenmiştir (örneğin, silindirik yapıların yan yüzü dikdörtgen, üst ve alt tabanı daire şeklinde görünmektedir).

Şekil 3.73'deki eğrisel yüzlere sahip orta derece karmaşık yapının geometrik ve orantısal özellikleri ile ilgili doğru çıkarımlarda bulunan Melis, yapının farklı yönlerden görünüşlerini çizerken de algılarına dayalı olarak hareket etmemiştir. Katılımcı yapının sol görünüşünü Şekil 3.73'deki gibi çizmiştir ve bunu nasıl yaptığını son görüşmelerde şu şekilde anlatmıştır:

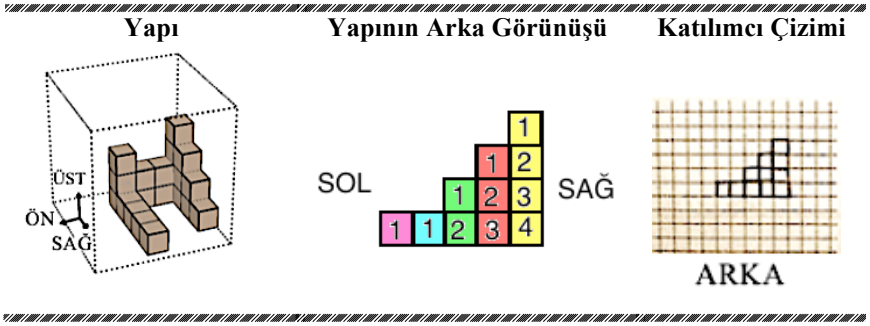
M: Sağdan görünüş, sağ tarafta yedi birim belirlediğim dikdörtgensel, yediye iki birim belirlediğim dikdörtgensel bölgeyi görürüm, sonra, üç birim yükseklikte ve yarıçapı iki olduğundan dolayı dört birim uzunlukta, dört birim uzunlukta dairesel bölgeden dolayı kare, dikdörtgen bir şekil göreceğim, onun üstünde de ikiye dört birim bir dikdörtgensel bölge görücem.



Şekil 3.73. *Birinci Yönelim Bölümü Son Yazılı Değerlendirme Melis Örneği*

İlk yazılı değerlendirmelerde Pınar ve Özge'nin çok yüksek oranda yapıya kendilerini yönlendirme hatası yaptıkları tespit edilmiştir (sırayla %94.43 ve %97.22). Bu iki katılımcı kadar olmasa da Melis de oldukça yüksek oranda Y4 hatası yapmıştır (%63.86). En düşük oranda Y4 hatası yapan katılımcı Tuğçe olmasına rağmen, onun da yapıya kendine yönlendirmede sorunlar yaşadığı belirlenmişti (%38.88). Fakat öğretim seansları sonrasındaki ikinci yazılı değerlendirmelerde katılımcıların hiç Y4 hatası yapmadıkları, yapıya yönelmede %100 başarı sağladıkları gözlemlenmiştir. Şekil 3.74'de bütünleşik bir yapı ve bu yapının Özge tarafından doğru bir şekilde çizilen arka görünüşü yer almaktadır. Özge bu yapının oklarla etiketlenen arka tarafına kendisini doğru bir şekilde yönlendirdikten sonra, yeni vücut koordinat sistemine göre yapıyı nasıl göreceğini son görüşmelerde şu şekilde tarif etmiştir:

Ö: Arkadan bakıyorum, sağımda bir, iki, üç, dört birim görücem sağımda (sağ sütundaki 1,2,3,4 numaralı kareler), soluma doğru yaklaştığım zaman tek başına kalıcak (sol sütundaki 1 kare), bir birim, şöyle baktığım zaman üst üste bir birim, bunun üstünde bir şey yok (soldan ikinci sütundaki 1 kare), şurda iki birim (soldan üçüncü sütundanki 2 kare), şurda üç birim (soldan dördüncü sütundanki 3 kare) ve şurda dört birim (sağdaki sütunda bulunan 4 kare) olucak şekilde

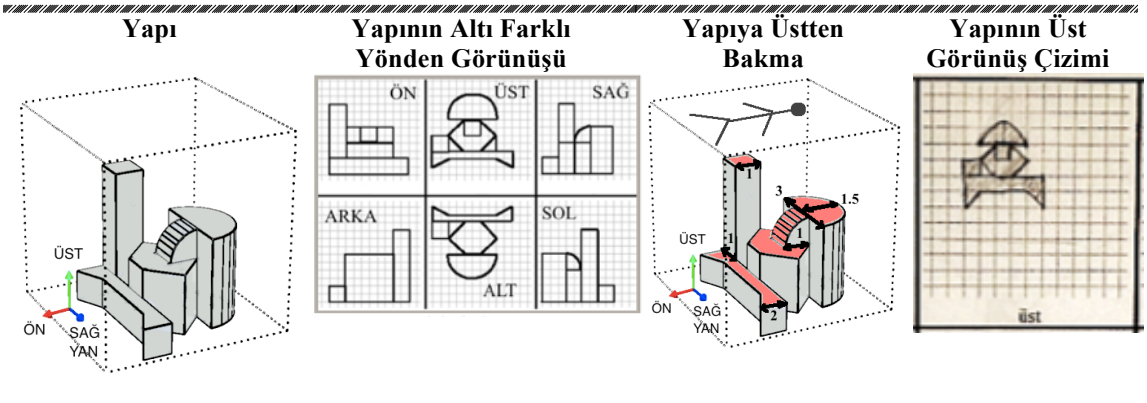


Şekil 3.74. *Birinci Yönelim Bölümü Son Yazılı Değerlendirme Özge Örneği*

İlk ve ikinci yazılı değerlendirmelere göre Tuğçe'nin Y1 ve Y3 hatasında %100 azalma meydana geldiği, Melis, Pınar ve Özge'nin ise Y1 hatalarında sırayla %90, %83.4 ve %79.99 oranlarında azalma, Y3 hata sayılarında ise sırayla %90.9, %88.9 ve %83.3 oranlarında azalma meydana geldiği gözlemlenmiştir. Katılımcıların konumlandırma hatalarının azalma Y1, Y2 ve Y4 hatalarındaki azalma ile bağlantılıdır. Katılımcılar kendilerini yapıya soruda istenilen şekilde yönlendirdikten, bakılan yöne göre yapının görünen parçalarını belirledikten ve yapının geometrik ve orantısal özellikleri ile ilgili çıkarımlarda bulunduktan sonra, kendi yeni vücut koordinat sistemlerinin konumuna göre yapının hangi parça ya da parçalarının nerede bulunacağı hakkında muhakemede bulunmaları gerekmektedir. Son yazılı değerlendirmelerde katılımcıların bunu büyük oranda başardıkları gözlenmiştir. Tuğçe Şekil 3.75'teki eğik ve eğrisel yüzlere sahip karmaşık yapıya üstten bakıldığında elde edilecek görüntünün bir kısmını son görüşmelerde şu şekilde tarif etmiştir:

T: Üste böyle baktığımda (eliyle bakış yönüne işaret ediyor) öncelikle ben ne gördüm ıı üçe bir buçuk yarıçapa sahip şey gördüm ondan sonra şuraya bir buçuk dedim, burası da üç birim ya böyle bir yarım daire çizdim, daha sonra altına da bu yarım dairenin ortasına gelicek şekilde bir birimliğimi burdan aldım, bir birimlik olan bir altıgen çizdim, bir iki, üç, dört, beş, altıgen çizdim.

Tuğçe yapıya üstten baktığında, kendi vücut koordinat sistemine göre altıgen şekli yarım dairenin altında göreceğini belirtmektedir. Ayrıca altıgenin bir kenarının yarım dairenin çapının tam ortasında olması gerektiğini belirtmiştir. Tuğçe'nin söylemlerinden ve onun üst görünüş çiziminden yapıya belirli bir yönden bakıldığında oluşacak şekilleri kendi koordinat sistemine göre doğru bir şekilde konumlandırabildiği anlaşılmaktadır (Bkz. Şekil 3.75).



Şekil 3.75. *Birinci Yönelim Bölümü Son Yazılı Değerlendirme Tuğçe Örneği*

İkinci yazılı değerlendirmelerde tüm katılımcılar tarafından Y4 hatası yapılmaması, onların düşük oranlarda Y1 ve Y3 hatası yapmaları, öğretim seanslarının katılımcıların yapıya istenen biçimde yönelme, baktıkları yönden görünecekleri belirleme ve kendi vücut yönelimlerine göre yapının görünen kısımlarını konumlandırma için gerekli şemaları kazanmalarında oldukça büyük etkiye sahip olduğu anlamına gelmektedir. Öğretim seansları öncesinde Melis'in en çok, Tuğçe, Pınar ve Özge'nin ise ikinci olarak Y2 hatası yaptıkları belirlenmiştir, ikinci yazılı değerlendirmelerde tüm katılımcıların Y2 hatasında sırayla %47.37, %57.14, %34.62 ve %52.78 oranında azalma meydana gelmiştir. Yani Y2 hata sayısında minimum azalma Pınar'da, maksimum azalma Melis'te meydana gelmiştir. Tüm katılımcılar yapının görünüşünü geometrik özelliklerine göre çizmede istenen gelişimi gösterememişlerdir. Buradan öğretim seanslarının Y2 hatasının önüne geçmede diğer hata türlerini azaltmaya göre daha az etkili olduğunu söylenebilir.

Bir yapıya ön/arka, sağ/sol ve üst/alt taraflarından bakma görevlerinde, katılımcıların öğretim seansları öncesi ve sonrası bakış yönüne göre hata oranlarını karşılaştırabilmek için Tablo 3.21 oluşturulmuştur.

Tablo 3.21. *Birinci Yönelim Bölümü Ön ve Son Görüşme Sorularında Yapıya Bakış Yönüne Göre Katılımcı Y1, Y2, Y3 ve Y4 Hata Oranları*

B.Y.B. Ön ve Son Görüşme Bakış Yönüne Göre Katılımcı Y1, Y2, Y3 ve Y4 Hata Yüzdeleri (%)							
K	**H.K.**	**Ön**	**Ark**	**Sğ**	**Sl**	**Üst**	**Alt**
	Y1	0	0	0	0	0	0
T	**Y2**	16.7	16.7	50	50	16.7	16.7
	Y3	0	0	0	0	0	0
	Y4	0	0	0	0	0	0
	Y1	16.7	16.7	0	0	0	0
M	**Y2**	33.3	33.3	33.3	33.3	33.3	33.3
	Y3	16.7	16.7	0	0	0	0
	Y4	0	0	0	0	0	0
	Y1	0	0	0	0	16.7	16.7
P	**Y2**	33.3	50	50	50	50	50
	Y3	0	0	0	0	16.7	16.7
	Y4	0	0	0	0	0	0
	Y1	16.7	16.7	0	0	16.7	16.7
Ö	**Y2**	33.3	66.7	33.3	50	50	50
	Y3	16.7	16.7	0	0	16.7	16.7
	Y4	0	0	0	0	0	0
	Y1	8,35	8,35	0	0	8,35	8,35
Ort	**Y2**	29,15	41,68	41,65	45,83	37,5	37,5
	Y3	8,35	8,35	0	0	8,35	8,35
	Y4	0	0	0	0	0	0

İkinci yazılı değerlendirmelerde katılımcıların ön ile arka, sağ ile sol, üst ile alt görünüşlerde birkaç görünüş çizimi haricinde aynı oranlarda hata yaptıkları belirlenmiştir. Bu durum katılımcıların ön ile arka, sol ve sağ ile üst ve alt görünüşler arasındaki simetrik benzerlik ilişkisini şema haline getirmeleri ile yakından ilişkilidir (Bkz. Tablo 3.21). Örneğin, Melis ön ve arka görünüş çizimlerinin ikisinde de Y1, Y2 ve Y3 hatalarını sırayla %16.7, %33.3 ve %16.7 oranında, Özge'nin ise üst ve alt görünüş çizimlerin ikisinde de bu hata profillerini sırayla %16.7, %50 ve %16.7 oranında sergilemişlerdir.

İlk yazılı değerlendirmelerde katılımcıların sağ ve ön görünüşlerdeki hata oranlarının üst, alt, arka ve sol görünüşlerdeki hata oranlarından daha düşük olduğu gözlenmişti. Seanslar öncesinde katılımcıların sağ ve ön görünüş görevlerinde, diğer görünüş görevleri ile karşılaştırıldığında daha az oranda hata yapmalarının temel nedeni, sayfa düzlemine yansıtılmış üç boyutlu yapının ön, sağ ve üst görüntü ile ilgili birçok görsel ipucu vermesi ile açıklanmıştı. Kâğıt düzlemi üzerine yansıtılmış yapının arka, sol ve alt tarafları görünür değildir, bu nedenle bir katılımcının, yapının bu taraftan elde edilecek görüntülerini kâğıt düzlemine inşa edebilmesi ancak yapının görünmeyen tarafları hakkında muhakeme edebilmesiyle mümkündür. Öğretim seansları ile bunun başarıldığı görülmektedir. Son görüşmelerde katılımcıların çoğunlukla yapının görünmeyen arka tarafı ile görünür olan ön tarafı, görünmeyen sol tarafı ile görünür olan sağ tarafı ve görünmeyen alt tarafı ile görünür olan üst tarafının üreteceği görünüşler arasındaki benzerlik ilişkisini bir yapının farklı yönlerden oluşacak görüntüsünü çizmede kullandıklarını göstermiştir. Ön yazılı değerlendirmelerde yapıya görevde istenilen şekilde yönelemediği, bakış yönüne göre yapının hangi kısımlarının hangi geometrik şekil olarak görüneceğini tespit edemediği ve yapının görünecek kısımlarını yeni vücut yönelimlerine göre zihinlerinde konumlandıramadığı belirlenen katılımcıların, seanslardan sonra büyük oranda bu zorlukların üstesinden geldikleri gözlenmiştir. Fakat son görüşmeler katılımcıların yapıdaki orantısal ilişkileri belirlemede ve ayrıtlarını hizalayarak boyutlarını aynı birim cinsinden ifade etmede hala sorunlar yaşadıklarına, bu nedenle Y1, Y2 ve Y3 hatalarını yapabildiklerine işaret etmektedir.

Katılımcılara sorulan ikinci yönelim bölümü son yazılı değerlendirme soruları ön yazılı değerlendirme soruları ile benzerdir. Katılımcıların son yazılı değerlendirme ve görüşmelerde, cisme küpün üst ya da alt köşe noktalarından birinden bakıldığında cismin görünecek kısımlarını eksik ya da yanlış belirleme (Y5), istenen köşe noktasında

bulunduğunu hayal ederek, yeni yönelimine göre elde edilecek görüntünün parçalarının konumlarını tarif edememe ya da yanlış tarif etme ve oluşacak görüntüyü izometrik kâğıda çizememe ya da yanlış çizme (Y7) hatalarını yapma durumları incelenmiştir.

Öğretim seanslarından sonra gerçekleştirilen son görüşmelerde Pınar ve Özge'nin küpün ortasında yer alan bir cisme, küpün üst ve alt köşe noktalarından baktıklarında onun hangi kısımlarını göreceklerini ve bulundukları köşe noktasına göre bu kısımların nerede bulunacağı hakkında doğru bir şekilde muhakemede bulunmaya başladıkları gözlenmiştir. Hatta bu iki katılımcı modifiye bir cisme küpün üst ve alt köşe noktalarından baktıklarında elde edilebilecek görüntü ile ilgili, düşüncelerini yansıtan 3B'li çizimler yapmışlardır.

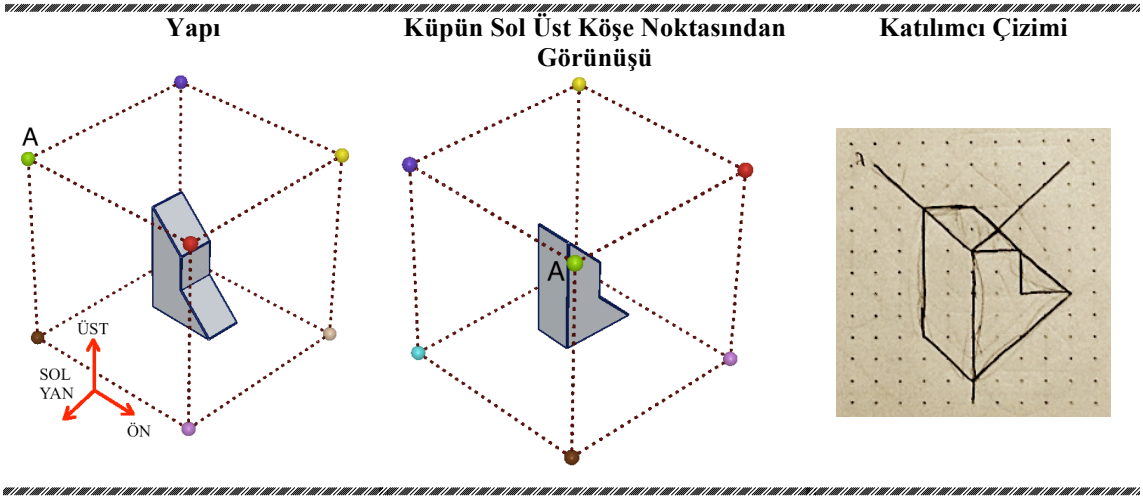
Şekil 3.76'da küpün ortasında yer alan modifiye cisme, küpün A üst köşe noktasından bakıldığında elde edilecek görüntüsünü Pınar son görüşmelerde şu şekilde tarif etmektedir:

A: A dan baktın mesela cismin hangi yüzlerini görürsün?

P: Üst yüzünü, arka yüzünü, sol yüzünü görürüm.

A: Onları nasıl görürsün?

P: Şimdi arka yüzünü, sağ, solda, arka yüzünü solda, bu sol yüzünü de sağda olucak şekilde görücem, üst yüzünün şurasını (üst yüzde, yukardaki eğik yüz) ve hatta bu uç kısmını aşağı tarafını da görürüm (üst yüzde yer alan tabana yakın eğik kısım).



Şekil 3.76. *İkinci Yönelim Bölümü Son Yazılı Değerlendirme Pınar Örneği*

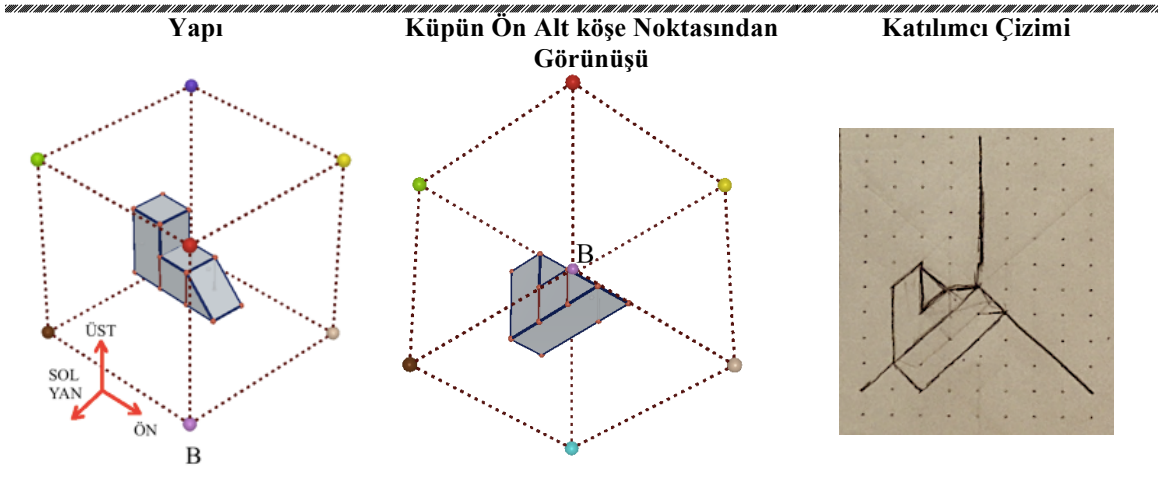
Pınar cismin üst, arka ve sol yüzünü göreceğini belirtmiştir, fakat cismin üst ve alt kısmı eğik yüzlere sahip olduğu için, A köşe noktasından bakıldığında cismin üst yüzeyi hiç görülmeyecektir (Bkz. Şekil 3.76). Eğer bu eğik yüzler yer düzlemi ile 45 dereceden

daha küçük açı yapsalardı bakış noktasına göre aşağıda yer alan eğik yüzün bir kısmı, yukarda kalanın ise tamamı görülebilirdi. Ayrıca Pınar'ın görünüş çizimine cismin ayrıtları arasındaki orantısal ilişkileri doğru bir şekilde yansıtamadığı görülmektedir. Katılımcı 3B'li görünüşü çizerken birim küplerden yararlanmak yerine cismin ayrıtları arasındaki paralellik ilişkilerini kullanmıştır.

Pınar ve Özge ile karşılaştırıldığında, Tuğçe ve Melis'in cisme küpün köşe noktalarından bakma görevlerinde daha gelişmiş ve doğru çıkarımlar yapabildikleri gözlenmiştir. Son görüşmelerde, Şekil 3.77'deki modifiye cisme küpün B alt köşe noktasından bakıldığında elde edilecek görüntüsünü Melis şu şekilde tarif etmektedir:

M: Şimdi B den baktığım zaman, sağ tarafta bu kısmı görcem (cismin eğik duran ön yüzeyini gösteriyor), sol tarafta kesik L kısmını görcem, şimdi tabanda zaten düz, sol tarafta görceğim kesik L kısmını böyle çizdim, sağ tarafta bakıyorum ama kesik olduğu için ve buralar üst yüz olduğu için göremem onları (eğik yüzden ve küpün üst yüzünden bahsediyor), sadece şunu görebilirim (kare prizma ile küpün kesişim düzleminde bulunan, kare şeklindeki yüz) biraz onu da şöyle belirttim, bu şekilde.

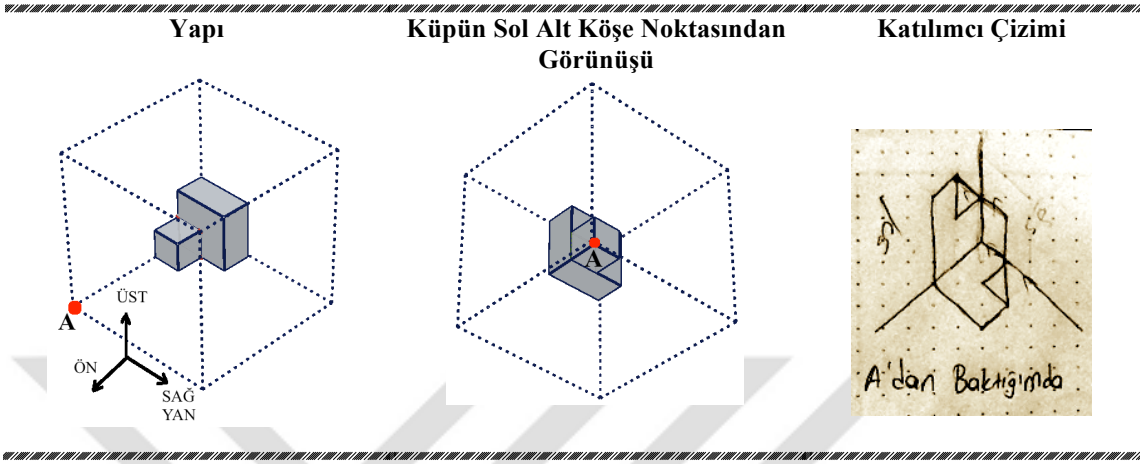
Melis, cisme küpün alt köşe noktasından bakıldığında, önce cismin ön tarafını göreceğini belirtmiş fakat daha sonra bu yüz eğik konumda bulunduğu için göremeyeceğini belirtmiştir. Ayrıca Melis, elde edilecek 3B'li görüntüyü izometrik kâğıda inşa etmiştir (Bkz. Şekil 3.77). Melis cismin 3B'li görünüşünü inşa ederken birim küplerden yararlanmıştır. Çiziminde cismin orantısal ilişkilerini ve ayrıtları arasındaki paralellik ilişkisini doğru bir şekilde yansıtabilmiştir.



Şekil 3.77. *İkinci Yönelim Bölümü Son Yazılı Değerlendirme Melis Örneği*

Son yazılı değerlendirmede Melis ve Tuğçe'nin modifiye ve iki cismin kombine edilmesiyle oluşmuş cisimlere küpün üst ve alt köşe noktalarından bakıldığında elde

edilecek görüntüyü inşa etmede sorun yaşamadıkları gözlenmiştir. İki katılımcı cisimleri inşa ederken, izometrik kâğıdı, oluşan 3B'li görüntünün özelliklerini yansıtacak biçimde kullanmışlardır. Bu duruma örnek olarak Tuğçe'nin çizimi verilebilir (Bkz. Şekil 3.78).



Şekil 3.78. *İkinci Yönelim Bölümü Son Yazılı Değerlendirme Tuğçe Örneği*

Şekil 3.78'de küp ortasında yer alan kombine bir cisim, onun küpün alt A köşe noktasından görünüşü ve Tuğçe'nin 3B'li görünüş çizimi yer almaktadır. Tuğçe Şekil 3.78'de yer alan kombine cismi nasıl inşa ettiğini son görüşmelerde şu şekilde anlatmıştır:

T: Öncelikle yaparken, şuna dikkat ettim, A dan baktığımda, ıı ben tabanı nasıl görüyorum dedim, tabana baktığımda…tabanın L şeklinde olucağı çok belli, daha sonra ben bunu nasıl desem, burdaki uç kısma göre aldım (uç kısım bakış noktasına yakın olucak şekilde), burdaki uç kısma göre aldığımda burdaki L şeklini aktardım öncelikle (sol yan yüz)

A: Niye bu şekilde değil de böyle belirledin? (L şeklindeki yüzü niçin o şekilde çizdiğini soruyor)

T: Çünkü cisim öyle gidiyor önden arkaya doğru, yani kısa taraf önde olmalı uzun taraf arkada.

Tuğçe cismin önce tabanını çizmiştir, bunu çizerken L şeklindeki yüzün kısa tarafını bakış noktasına yakın, uzun tarafını ise bakış noktasından daha uzak bir mesafeye konumlandırdığını anlatmıştır. Buradan Tuğçe'nin çizim yaparken izometrik kâğıt üzerinde 3B'li bir alan yaratarak, ona göre çizimini gerçekleştirdiği anlaşılmaktadır. Ayrıca Tuğçe 3B'li görünüş çizimini yaparken cismin ayrıtları arasındaki paralellik ilişkilerine de başvurmuştur.

Son görüşme analizlerinden, öğretim seansları ile uzmanlaşmış katılımcıların birinci yönelim bölümü ile ilgili görevlerin gereklerini yerine getirirken farklı yönlerden görünüşü çizilecek yapı ne kadar karmaşık olursa olsun, aşağıda yer alan tüm şemalara

başvurabildikleri anlaşılmaktadır. Görevlerde yeterli uzmanlığa ulaşmamış olanların nispeten karmaşıklık düzeyi daha az olan yapıların farklı yönlerden görünüş çizimlerinde aşağıda yer alan tüm şemalara başvurabildiği, fakat farklı yönlerden görünüş çizimi yapılacak yapı karmaşıklaştıkça aşağıda yer alan şemaların bazılarına başvuramadığı belirlenmiştir. Bu şemalar şu şekilde maddelenebilir: (1) Yapıya ön/arka, sağ/sol ve üst/alt taraflarından yönelebilme, (2) yapıdaki orantısal ilişkileri kullanarak, yapının boyutlarını aynı birim cinsinden ifade etme, (3) yapı yüzeyi üzerinde bulunan eğik ve eğrisel yüzlerin belirli bir yönden görünüşü ile ilgili genellemelere ulaşma, (4) yapı yüzeyi üzerinde bulunan yüzlerin, belirli bir yönden görünümü ile oluşan şekillerin geometrik özelliklerini belirleme, (5) yapıya görevin gerektirdiği şekilde yöneldikten sonra, yeni koordinat sistemine göre elde edilecek görüntüyü sayfa düzlemine doğru bir şekilde yansıtma ve (6) ön ile arka, sağ ile sol ve üst ile alt görünüşler arasındaki simetriye dayanan benzerlik ilişkilerini genelleme ve simetrik görüntüler arasındaki farklılığın nedenlerini açıklama. Bu durum ikinci yönelim bölümü için de benzerdir. Zor görevlerde bile uzmanlaşmış katılımcıların aşağıda maddelenen iki şemaya da başvurabildikleri, acemi olanların ise görevler zorlaştıkça bu şemaları doğru bir şekilde kullanamadıkları belirlenmiştir. İlgili şemalar şunlardır: (1) Cisme küpün köşe noktalarına yöneldikten sonra, elde edilecek görüntüyü kendi yönelimlerine göre ayırt edici birçok detaya yer vererek tarif etme ve (2) cisme küpün köşe noktalarından yöneldikten sonra, elde edilecek 3B'li görüntüyü izometrik kâğıda birim küplerden yararlanarak ya da cismin ayrıtlarının birbiri ile ilişkisinden yararlanarak doğru bir şekilde inşa edebilme.

3.3.3.2. *Yönelim bölümü görevlerinin algılanan zorluğu*

Ön ve son yazılı değerlendirmede yer alan her bir sorunun bir katılımcı tarafından algılanan ortalama zorluğu, o soruda yer alan görünüş görevlerinin o katılımcı tarafından ne derece zor bulunduğu ile ilgili derecelendirme puanlarının ortalaması alınarak hesaplanmıştır. Her bir sorunun her bir katılımcı tarafından algılanan ortalama zorluğu hesaplandıktan sonra Tablo 3.22 oluşturulmuştur.

Ön yazılı değerlendirmelerde yönelim sorularını biraz zor ya da çok zor bulan katılımcılar, son yazılı değerlendirmelerde bu tür soruları biraz basit ya da basit bulmuşlardır. Başka bir şekilde ifade etmek gerekirse, ön yazılı değerlendirme sorularının algılanan zorluğu ile ilgili katılımcı derecelendirme puan ortalaması 6.55 seviyesindeyken, son yazılı değerlendirme anketlerinde bu oran 3.79 seviyesine inmiştir.

Tablo 3.22. *Birinci Yönelim Bölümü Ön ve Son Yazılı Değerlendirme Soru Türlerinin Katılımcılar Tarafından Algılanan Zorluğu*

B. Y. B. Ön ve Son Görüşme Sorularının Algılanan Zorluğu ile İlgili Katılımcı Derecelendirme Puanları														
Soru	**1**		**2**		**3**		**4**		**5**		**6**		**Ort**	
Görüşme	**Ön**	**Son**	**Ön**	**Son**	**Ön**	**Son**	**Ön**	**Son**	**Ön**	**Son**	**Ön**	**Son**	**Ön**	**Son**
Tuğçe	1	1	2	1	3.67	2.33	4.67	3	6.83	3.33	6.5	4.33	4.11	2.5
Melis	6.33	2	7.67	2	7.33	5	5.67	4	8.33	7.33	8.5	7	7.31	4.56
Pınar	4.17	3	4.83	3	6.5	4.67	7.5	6.67	8.17	7	9	7.5	6.70	5.3
Özge	8	1	8	1	7.67	2.5	7.67	2.33	9	6.5	8.17	3.5	8.09	2.81
Ort	4.88	1.75	5.63	1.75	6.29	3.63	6.38	4	8.08	6.04	8.04	5.58	6.55	3.79

Katılımcılar yönelim sorularını doğru cevaplamak için yapıya kendilerini yönlendirme, bakılan yönden yapının görünecek kısımlarını belirleme, yapının geometrik ve orantısal özelliklerini belirleme, yapının görünecek kısımları arasındaki konum ilişkilerini görünüş çizimine yansıtma gibi şemalara sahip değilken, soruların katılımcılar tarafından algılanan bilişsel yükü oldukça yüksektir. Fakat katılımcılar yönelim görevlerinde uzmanlaştıkça, bu tür görevler onların bilişsel yüklerinde eksisi kadar artış yaratmamıştır. Son görüşmelerde bu durumu Özge şu şekilde anlatmaktadır:

Ö: Mesela şu kısım daha yüksek, aslında yukardan baktığım zaman bunlar aynı hizada görünücek birleşik, bunu öğretim seansında sonra gördüm, ama bilmediğim için, önceden bunlar bana çok karışık geliyordu, şu an baktığım zaman basit ama, o zaman karışık geliyordu, çünkü aynı yerde olucağını uzaklaştıkça, mesela yamuk bir paralelkenar, üçgen prizmayı farzedelim, uzaklaştıkça üçgen prizma kareleşiyor, dikdörtgenleşiyor, uzaklaştıkça dikdörtgen halini alıyor bunu öğrendim öğretim seansında ama başta bunları yapamıyordum, yine paralelkenarmış gibi, yine eğimli görünücekmiş gibi düşünüyordum

Özge seanslardan önce yapıya belirli bir yönden baktığında yapının hangi kısımlarını göreceğini belirleyemediğini, kendi vücut koordinat sistemine göre bu kısımların konumları hakkında muhakemede bulunamadığını ayrıca eğik ve eğrisel yüzleri görünüş çizimlerine nasıl yansıtacağını bilmediğini söylemektedir. Bu nedenlerle görevler ona önceleri çok karışık ve zor gelmiştir. Fakat katılımcılar seanslar boyunca, yönelim görevlerini doğru yapmak için gerekli şemaları edinmişlerdir ve bu soru türleri onların çalışan belleklerinde eskisi kadar yük oluşturmamaya başlamıştır.

Birim küplerden oluşan basit bütünleşik ya da bütünleşik olmayan yapıların katılımcılar tarafından algılanan ortalama zorluğunda sırayla 3.13 ve 3.88 puan, eğik ve eğrisel orta derece soruların algılanan zorluğunda sırayla 2.66 ve 2.38 puan, eğik ve eğrisel yüzlere sahip karmaşık yapıların zorluğunda sırayla 2.04 ve 2.46 puan azalma

meydana gelmiştir. Buradan katılımcılar tarafından öge ve etkileşimli öge miktarı fazla olarak algılanan görevlerin algılanan zorluğunda daha az bir gerileme olduğunu söylenebilir.

Birinci yönelim bölümündeki son yazılı değerlendirme görevlerinin zor ya da kolay olarak algılanmasında bakış yönünün etkili olup olmadığını belirlemek için her bir katılımcının sorulan tüm sorularda aynı bakış yönü için verdiği derecelendirme puanlarının ortalaması alınmıştır. Seanslar öncesi ve sonrası bakış yönüne göre görevlerin algılanan zorluğundaki değişimi incelemek için Tablo 3.23 oluşturulmuştur.

İlk yazılı değerlendirmelerle ilgili anket puanlarında, yapılara bakış yönünün görevlerin algılanan zorluğuna etkisi olmadığı düşünülse de (çünkü ilk görüşmede alt bakış görevlerinin algılanan zorluğu diğer görev türlerinden daha az ve ortalama 6.13'ken, sol bakış görevlerinin diğerlerinden daha fazla ve ortalama 6.88 seviyelerindedir), ön görüşmelerde bakılan taraftan yapının görülen kısmının girintili çıkıntılı bir yapıya sahip olmasının bilişsel yükü artırmada etkili olduğu anlaşılmıştır.

Tablo 3.23. *Birinci Yönelim Bölümü Ön ve Son Yazılı Değerlendirme Sorularında Yapıya Bakış Yönünün Görevlerin Algılanan Zorluğuna Etkisi*

B.Y.B. Ön ve Son Görüşme Yapıya Bakış Yönüne Göre Katılımcı Derecelendirme Puanları												
Soru	**Ön**		**Ark**		**Sğ**		**Sl**		**Üst**		**Alt**	
Görüşme	**Ön**	**Son**	**Ön**	**Son**	**Ön**	**Son**	**Ön**	**Son**	**Ön**	**Son**	**Ön**	**Son**
Tuğçe	4.33	2.33	4.17	2.33	4.17	2.83	4.17	2.83	4.33	2.33	3.5	2.33
Melis	6.83	4.83	6.83	4.83	8.17	4.67	8.17	4.67	7.17	4.17	6.67	4.17
Pınar	6.33	5.83	6.5	5.33	7	4.83	7	4.83	6.83	5.5	6.5	5.5
Özge	8.17	3.5	8.33	3.17	7.83	2.17	8.17	2.17	8.17	3	7.83	2.83
Ort	6.42	4.12	6.46	3.92	6.79	3.63	6.88	3.63	6.63	3.75	6.13	3.71

İlk anketlerle benzer biçimde, son anket puanlamalarından elde edilen veriler de bakış yönünün görevlerin algılanan zorluğuna etkisi olmadığına işaret etmektedir. Çünkü son anketlerde ön bakış görevlerinin algılanan ortalama zorluğunun 4.12 seviyesinde, sağ/sol bakış görevlerinin algılanan ortalama zorluğunun ise ortalama 3.63 seviyesinde olduğu belirlenmiştir. Oysa son anketlerdeki en yüksek derecelendirme puanı ön, en düşük derecelendirme puanı sağ/sol bakışa aittir. En yüksek ve en düşük puan arasında sadece 0.5 puanlık bir fark söz konusudur. Her ne kadar derecelendirme puanlarından bakış yönünün görevlerin zorluğuna etkili olmadığı düşünülse de, öğretim seansları boyunca katılımcılar üst ve alt bakış görevlerinde yapıya nasıl yöneleceklerini bilmedikleri için oldukça zorlandıklarını belirtmişlerdir. Fakat seanslardan sonra yapıya

soruda istenilen şekilde bakmayı öğrendikleri için, son yazılı değerlendirme sorularını cevaplarlarken yapıya üstten ve alttan yönelmede bir sorun yaşamamışlardır. Son görüşmelerde araştırmacı ve Tuğçe arasında geçen diyalog bu duruma bir örnek olarak gösterilebilir:

T: Üst ve alt bakışlarda zorlandım sadece

A: Onun nedeni ne sence?

T: Onun nedeni, o an kendimi nasıl konumlandıracağımı bilemedim o yüzden, yani nerden baktığımı bilemedim, Cabri ye göre, mesela Cabri benden farklı bakıyordu, ben ondan farklı bakıyordum, şekil olarak aynıydı sadece yönleri farklıydı, mesela bu sağ taraftaysa ben sol tarafta çiziyordum, o da benim bakış açımdan kaynaklanıyordu, farklı baktığım için, sonra Cabri'nin nasıl baktığını farkettim, onu öğrendikten sonra onun gibi bakarak hallettim

Katılımcılar öğretim seanslarından önce yönelim ikinci bölümünü çok çok zor bulmuşlardır. Onlar cisme küpün köşe noktalarından birinden baktıklarında elde edilecek görüntüleri zihinlerinde canlandıramamışlardır. Bu nedenle cismin belirli bir köşe noktasından bakıldığında hangi yüzlerinin ya da yüz parçalarının görüleceği sorularında eksik ya da yanlış çıkarımlarda bulunmuşlardır. Oysa seanslardan sonra katılımcılar cismin görünecek kısımlarını belirlemede ve küpün belirtilen köşe noktasından bakıldığında elde edilecek görüntüyü yeni vücut yönelimlerine göre tarif etmede zorlanmamışlardır. Pınar'ın son görüşmelerdeki söylemleri bu durumu örneklemektedir:

P: O zaman düşünemiyodum ama şu an söyleyebilirim, arkasını görcem, sol yüzünü görcem, bi de üstünü görcem, ama o zaman hiç aklıma gelmiyordu bunlar, ya da ne geliyordu arkası ile üstü gelirdi, sol tarafı unutabilirdim, tahmin ettim desem çizerken çok zorlanırdım, aynı şekilde bu da öyle, bunların hepsinde çok zorlanmıştım.

Cisme küpün üst köşe noktalarından bakma görevlerinde, cismin üst kısmındaki parçalar, bakış noktamıza yakın dururken, cismin alt tabanına yakın olan kısımları bakış noktamızdan uzakta yer alır. Cisme alt köşe noktalarından bakma görevlerinde ise durum tam tersidir. Yönelim üçüncü öğretim seansındaki etkinlikler katılımcıların cisme küpün üst köşe noktalarından baktıklarında elde edilecek görüntüleri belirleme ve inşa etme süreçleri ile ilgiliyken, dördüncü seanstaki etkinlikler cisme küpün alt köşe noktalarından bakıldığında elde edilecek görüntüleri belirleme ve inşa etme süreçleri ile ilgilidir. Cisme küpün üst köşe noktalarına bakma görevlerinde yeterli uzmanlığa sahip olmadan cisme küpün alt köşe noktalarından bakma görevlerine geçen katılımcılar, iki görev türünde de kendilerini geliştirememişlerdir. Pınar ve Özge son görüşmelerde karmaşıklık derecesi daha az olan modifiye cisimlere küpün alt ve üst köşe noktalarından bakıldığında elde edilecek görüntü ile ilgili doğru çıkarımlarda bulunmuşlar ve izometrik kâğıda tarif

ettikleri görüntüyü yansıtmışlardır. Fakat, cisimler karmaşıklaştıkça onların görünecek kısımlarını eksiksiz olarak belirlemede ve bu görüntüyü izometrik kâğıda yansıtmada sorunlar yaşadıkları gözlemiştir. Özge'nin son görüşmelerdeki söylemleri bu duruma örnek olarak gösterilebilir:

Ö: Evet, son kısım, yönelim kısmının son seanslarının çok faydalı olduğunu düşünmüyorum, bu belki bizden de kaynaklıdır, benden de kaynaklıdır bilmiyorum, ama yukardan bakma olaylarını falan oturtuyorsun sonra aşağıdan bakma olayına girdiğimiz zaman ortalık biraz karışıyor, karıştığı için oralar hani çok zor geldi bana, yönelim kısmında son kısım çok çok zor geldi.

Tuğçe ve Melis, modifiye ve iki cismin kombine edilmesiyle oluşmuş cisimlere küpün üst ve alt köşe noktalarından bakıldığında elde edilecek görüntüyü belirleme ve izometrik kâğıda yansıtma görevlerinde, diğer iki katılımcıyla karşılaştırıldığında daha çok uzmanlaşmışlardır. Seanslardan önce izometrik kâğıda bir cismin 3B'li görünüşünü yansıtmayan katılımcıların, seanslardan sonra modifiye ve iki cismin kombine edilmesiyle oluşan cisimlere küpün üst ve alt köşe noktalarından bakıldığında elde edilecek görüntüleri çizmeye başladıkları gözlenmiştir. Her ne kadar yönelim öğretim seansları ile katılımcıların uzamsal düşünme becerilerinin gelişiminde etkili olsa da katılımcılar, yönelim ikinci bölümüne ayrılan öğretim seanslarının daha uzun olması gerektiğini ve son iki seansta yapılan etkinliklerin yetersiz kaldığını düşünmektedir. Son görüşmelerde Tuğçe bu durumu şu şekilde ifade etmektedir:

T: Şey etkinlikleri yavaş yavaş sürdürmek gerekiyor yönelimde bence, kolaydan zora doğru gidiyoruz ya hani, o etkinlikleri mesela, kolay soruları biraz daha fazlalaştırarak, süreci biraz daha uzun tutmak gerekiyor bence

3.3.4. Katılımcıların ön ve son PSVT puanlarının karşılaştırılması

Yapılan öğretim seanslarının, katılımcıların PSVT bağlamında uzamsal görselleştirme becerilerine etkisini değerlendirebilmek için son klinik görüşmelerden sonra PSVT testi onlara yeniden uygulanmıştır. Katılımcıların her birinin seanslardan önce ve sonra PSVT puanlarını karşılaştırabilmek için Tablo 3.24 oluşturulmuştur.

Öğretim seanslarından sonra bütün katılımcıların PSVT'deki doğru cevap sayılarının arttığı gözlenmiştir. Öğretim seansları öncesinde ortalama yaklaşık 15 soruya doğru cevap veren katılımcılar, öğretim seansları sonrasında ortalama yaklaşık 29 soruya doğru cevap vermişlerdir. Katılımcılar seanslardan önce ortalama olarak PSVT sorularının %41'ini doğru cevaplandırırken, seanslardan sonra ortalama olarak %80'ini doğru bir şekilde cevaplandırmışlardır.

Tablo 3.24. Dört *Katılımcının Öğretim Seansları Öncesi ve Sonrası PSVT Açınım, Döndürme ve Yönelim Bölümü Doğru Cevap Sayı ve Oranları*

Öğretim Seansları Öncesi ve Sonrası Katılımcıların Her Bir Bölümdeki PSVT Doğru Cevap Sayı ve Yüzdeleri																
Bölüm	**Açınım**				**Döndürme**				**Yönelim**				**Genel**			
Ön/Son	**S.Ö.**		**S.S.**		**S.Ö.**		**S.S.**		**S.Ö.**		**S.S.**		**S.Ö.**		**S.S.**	
Katılımcı	**DS**	**%**	**DS**	**%**	**DS**	**%**	**DS**	**%**	**DS**	**%**	**DS**	**%**	**DS**	**%**	**DS**	**%**
Tuğçe	4	33	12	100	4	33	10	83	3	25	10	83	11	30	32	88
Melis	11	91	12	100	7	58	11	91	3	25	10	83	21	58	33	91
Pınar	2	16	9	75	7	58	10	83	2	16	7	58	11	30	26	72
Özge	7	58	11	91	5	41	7	58	4	33	6	50	16	44	24	66
Ort.	6	50	11	91	5.75	48	9.5	79	3	25	8.25	69	15	41	29	80

Öğretim seansları sonrasında tüm katılımcıların her bir PSVT bölümü başarı puanlarında artış gözlenmiştir. Katılımcıların açınım, döndürme ve yönelim bölümü PSVT puanları ortalama sırayla %41, %31 ve %44 oranlarında artarak sırayla %91, %79 ve %69 seviyelerine ulaşmıştır. Buradan öğretim seanslarından sonra genel olarak katılımcıların açınım görevlerinde yüksek, döndürme bölümünde oldukça iyi ve yönelim bölümünde iyi bir performans sergiledikleri söylenebilir. Son PSVT yönelim bölümü katılımcı puanlarının diğer bölümlerle karşılaştırıldığında düşük kalması, onların ön PSVT yönelim bölümündeki kötü performansları ile bağlantılıdır.

Seanslardan önce PSVT sorularının %30'una doğru cevap veren Tuğçe'nin, seanslardan sonra soruların %88'ini doğru cevaplandırdığı belirlenmiştir. Katılımcı ön PSVT'nin üç bölümünde de düşük performans sergilerken, son PSVT'nin üç bölümünde de yüksek performans sergilemiştir. Seanslardan sonra Tuğçe'nin açınım bölümündeki tüm soruları doğru bir şekilde cevaplandırdığı, döndürme ve yönelim bölümlerindeki soruların ise %83'ünü doğru bir şekilde cevaplandırdığı görülmüştür.

Melis ön PSVT sorularının %58'ini doğru bir şekilde cevaplandırırken, son PSVT sorularının %91'ini doğru bir şekilde cevaplandırmıştır. Yani Melis PSVT'de başlangıçta orta seviyede bir performans sergilerken, öğretim seanslarının ardından oldukça yüksek seviyede bir performans sergilemiştir. Seanslar katılımcının açınım bölümü PSVT puanını fazla etkilememiştir. Melis seanslardan önce açınım bölümü sorularından sadece birinde hata yaparken, seanslardan sonra bu bölümdeki tüm soruları doğru bir şekilde cevaplandırmıştır. Katılımcı ön PSVT'de döndürme bölümü sorularının %58'ine, son PSVT döndürme bölümü sorularının ise %91'ine doğru cevap vermiştir. Yani katılımcı döndürme bölümünde başlangıçta orta seviyede performans sergilerken, seanslarla yüksek performans sergilemeye başlamıştır. Melis ön PSVT yönelim bölümünde yer alan soruların %25'ini, son PSVT yönelim bölümü sorularının ise %83'ünü doğru yapmıştır.

Buradan seansların katılımcının yönelim bölümü görevlerini yapmak için gerekli becerileri edinmesine önemli oranda katkı yaptığı söylenebilir.

Pınar ön PSVT sorularının %30'unu, son PSVT sorularının ise %72'sini doğru bir şekilde cevaplandırmıştır. Yani Pınar başlangıçta PSVT'de düşük bir performans sergilerken, öğretim seanslarının etkisi ile iyi bir performans sergilemiştir. Katılımcı ön PSVT açınım bölümü sorularının %16'sına, son PSVT açınım bölümü sorularının ise %75'ine doğru cevap vermiştir. Başlangıçta PSVT açınım bölümü sorularında oldukça zorlanan katılımcı, öğretim seansları ile bu tür soruların çoğunu doğru bir şekilde cevaplandırmıştır. Pınar başlangıçta PSVT döndürme bölümünde orta seviyede bir performans sergilerken, seanslarla bu bölümde yüksek performans sergilemiştir. Pınar'ın PSVT yönelim bölümü sorularını doğru cevaplama oranında da artış olmuştur. Katılımcının ön PSVT yönelim bölümü puanı oldukça düşükken, son PSVT yönelim bölümü puanının orta seviyede olduğu gözlenmiştir.

Öğretim seansları sonrasında Özge'nin PSVT puanında %22 oranında artış meydana gelmiştir. Özge ön PSVT sorularının %44'ünü, son PSVT sorularının ise %66'sını doğru bir şekilde cevaplandırmıştır. Ön PSVT açınım bölümünde katılımcı orta seviyede bir performans sergilerken, son PSVT açınım bölümünde oldukça yüksek bir performans sergilemiştir. Katılımcının seanslar öncesinde PSVT döndürme ve yönelim bölümleri performansının düşük, sonrasında ise orta seviyede olduğu söylenebilir. Özge ön PSVT açınım, döndürme ve yönelim bölümü sorularının sırayla %58, %41 ve %33'üne, son PSVT'nin ise sırayla %91, %58 ve %50'sine doğru cevap vermiştir.

Tuğçe, Melis, Pınar ve Özge'nin PSVT puanları sırayla %58, %33, %42 ve %22 puan artarak, %88, %91, %72 ve %66 seviyelerine çıkmıştır (Bkz. Tablo 3.24). Katılımcıların puanlarındaki artıştan öğretim seanslarından sonra en fazla ilerlemeyi Tuğçe'nin, en az gelişimi ise Özge'nin gösterdiği söylenebilir. Tuğçe'den sonra en fazla gelişim gösteren katılımcı ise Pınar'dır. Öğretim seanslarından sonra Tuğçe ve Melis'in PSVT puanlarının birbirine yakın ve oldukça yüksek olduğu belirlenmiştir. Pınar ve Özge'nin PSVT puanlarında da önemli bir artış meydana gelmiştir.

Öğretim seanslarından sonra Tuğçe ve Melis açınım bölümünde hiç hata yapmazken, Özge bir soruda, Pınar ise 3 soruda hata yapmıştır. Açınım bölümü ile ilgili yapılan değerlendirmeler ışığında, öğretim seanslarının Tuğçe, Pınar ve Özge'nin uzamsal görselleştirmelerini önemli oranda artırdığı söylenebilir. PSVT'de elde edilen sonuçlara göre Melis için durum tam olarak bu şekilde değildir. Melis öğretim seansı

öncesinde açınım bölümü ile ilgili soruların zaten yaklaşık %91'ini doğru olarak cevaplandırmıştır. Seanslardan sonra Tuğçe ve Melis'in açınım bölümü performanslarının çok çok yüksek, benzer şekilde Özge'nin oldukça yüksek olduğu söylenebilir. Açınım bölümünde Pınar da iyi bir performans sergilemiştir.

Zihinde döndürme yeteneğini geliştirmeye yönelik öğretim seansları sonrasında, Tuğçe'nin bu bileşene ait uzamsal görselleştirmesi %50, Melis'in %33, Pınar'ın %25 ve Özge'nin ise yaklaşık %17 artmıştır (Bkz. Tablo 3.24). Öğretim seanslarından sonra, Tuğçe, Melis ve Pınar zihinde döndürme bölümünde oldukça yüksek performans sergilemişlerdir. Fakat öğretim seanslarının Özge'nin zihinde döndürme becerisine katkısı, diğer katılımcılarla karşılaştırıldığında daha az olmuştur.

Öğretim seanslarının öncesinde yapılan PSVT'de tüm katılımcıların yönelim sorularına verdikleri doğru cevap sayıları dikkate alındığında, onların küpün ortasında bulunan bir cisme küpün köşe noktalarından bakıldığında elde edilecek görüntüyü zihinde canlandırma görevlerinde oldukça başarısız oldukları görülmüştür. Öğretim seansları öncesinde Tuğçe ve Melis, yönelimle ilgili soruların %25'ini doğru cevaplarken, yapılan seanslarla doğru sayıları yaklaşık %58 artarak, %83'e çıkmıştır. Pınar ve Özge ise seanslardan sonra PSVT sorularının sırayla %58 ve %50'ini doğru cevaplandırdıkları söylenebilir. Tuğçe ve Melis seanslardan sonra yönelim bölümünde oldukça yüksek performans sergilemişlerdir. Pınar ve Özge'nin PSVT yönelim puanları istenilen kadar olmasa da artış göstermiştir.

4. SONUÇ, TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Bu bölümde önce araştırma bulgularından elde edilen sonuçlara yer verilmiş, sonra bu sonuçların literatürde yer alan benzer araştırma sonuçları ile benzerlik ve farklılıkları tartışılmış ve son olarak araştırma sonuçlarından yararlanılarak önerilerde bulunulmuştur.

4.1. Sonuçlar

Araştırma bulgularının yorumlanması ile ulaşılan sonuçlar takip eden üç başlık boyunca araştırma akışını yansıtacak şekilde sunulmuştur.

4.1.1. Seanslar öncesi durum

Uzamsal becerilerin değerlendirilmesinde verilen bir cismin yüzeyini zihinde açma ya da bir açınım örüntüsünü zihinde katlayarak kapalı cisim yüzeyini belirleme, döndürülmüş bir nesneye göre başka bir nesneyi zihinde döndürme ve belirli bir nesnenin (yapı ya da cisim) belirli bakış noktasından görünüşünü zihinde canlandırma gibi görevlerin yer aldığı beceri testlerine (örneğin, PSVT) başvurulmaktadır. Testlerde gösterilen performansa göre bireyler uzamsal becerileri gelişmiş ya da gelişmemiş olarak nitelendirilmektedir. Testler uzamsal becerileri gelişmemiş olarak nitelendirilen bireylerin neleri yapamadıkları hakkında bilgi verirken, uzamsal becerileri gelişmiş olarak nitelendirilen bireylerin neleri yapabildikleri hakkında sınırlı miktarda bilgi sağlamaktadır. Bir uzamsal yetenek testinde başarısız olan bir bireyin, testte yer alan benzer uzamsal görevlerde de zorlanacağını düşünmek doğaldır. Bunun aksine uzamsal yetenek testinde başarılı bir bireyin, testte yer alan benzer uzamsal görevleri yerine getirebileceği ve bu görevlerde zorlanmayacağı düşünülebilir. Araştırmada, PSVT'nin üç (açınım, döndürme ve yönelim) bölümünde de düşük performans sergileyen Tuğçe, PSVT ile benzer soruların yer aldığı yazılı değerlendirmenin üç bölümünde de düşük performan sergilemiştir. Farklı olarak PSVT'nin açınım bölümünde yüksek performans sergileyen Melis ve temel düzeyin üzerinde performans sergileyen Özge, döndürme bölümünde temel düzeyin üzerinde performans sergileyen Melis ve Pınar, PSVT ile benzer soruların yer aldığı yazılı değerlendirmenin üç bölümünde de düşük performans sergilemiştir. Buradan PSVT ya da PSVT'nin belirli bölümlerindeki yüksek ya da orta derece başarının, gelişmiş ya da yeterli düzeyde uzamsal beceri anlamına gelmeyeceği sonucuna varılabilir.

Matematik öğretmen adayları uzamsal görevlerle karşılaştıklarında çeşitli nedenlerle bağlantılı olarak onları yapmada zorlandıkları belirlenmiştir. Araştırma uzamsal zorlukların geometrik düşünme, algılama, dönmeyi hareket olarak ele alma, kavram bilgisi, geometrik çizim ve perspektif alma sorunları ile bağlantılı olduğunu göstermiştir.

Çalışmaya katılan öğretmen adaylarının uzamsal problemlerin farklı çözüm adımlarında zorlanabildiği gözlenmiştir. Bunlar; (1) Verilen ve istenilenin anlaşılmaması, (2) strateji geliştirememe, (3) stratejiyi uygulayamama ya da (4) uyguladığı stratejinin doğruluğunu kontrol etmeme şeklinde dört maddede ele alınabilir. Verilenin anlaşılmaması uzamsal nesnenin (örneğin, cisim, yapı, şekil gibi) uzunluk ya da açı ölçüleri hakkında karar verememe ya da nesnedeki uzamsal ilişkileri belirleyememe, istenilenin anlaşılmaması çözüm için hatalı bir plan yapılması davranışlarına neden olmuştur. Prototip örneklere dayalı problem çözme şemalarına sahip öğretmen adayları yeni ve farklı uzamsal görevlerle karşılaştıklarında, onları yapmak için uygun strateji geliştirmede zorlanmış, geliştirememiş ya da mantıksız bir strateji geliştirebilmişlerdir. Öğretmen adaylarının geliştirdikleri stratejiyi uygulama aşamasında da hatalar yapabildikleri belirlenmiştir. Ayrıca öğretmen adaylarının uzamsal görevleri tamamladıktan sonra, onların doğruluğunu kontrol etmedikleri anlaşılmıştır. Buradan, öğretmen adaylarının uzamsal problemleri çözmek için, Polya (1973) tarafından tanımlanan problem çözme adımlarını takip etmedikleri sonucu çıkarılabilir.

Nesnel karmaşıklık düzeyi fazla olan uzamsal görevlerin bilişsel talepleri yüksektir ve görevlerin nesnel karmaşıklık düzeyi arttıkça hata oranlarının da artması beklenir. Çalışma nispeten ön-bilgi ve deneyime sahip olunan uzamsal görevler için bunun geçerli olduğunu göstermiştir. Genel olarak görevlerin karmaşıklık düzeyi arttıkça öğretmen adaylarının hata oranı da artmıştır. Fakat öğretmen adaylarının ön-bilgi ve deneyime sahip olmadıkları karmaşıklık düzeyi nispeten daha az olan uzamsal görevlerde bile yüksek oranda hata yapabildikleri belirlenmiştir. Görevin bilişsel taleplerini karşılamak için gerekli şemalara sahip olunmaması hata oranlarında artış ile sonuçlanmıştır.

Ön bilgi ve deneyime sahip olunan aynı tür uzamsal görevlerde, nesnel karmaşıklık düzeyi nispeten fazla olanların bilişsel yük yaratan alanlarının, karmaşıklık düzeyi nispeten daha az olanlardan farklı alanlara kümelenebildiği belirlenmiştir. Ayrıca nesnel karmaşıklık düzeyi nispeten fazla olan uzamsal görevlerin bilişsel yük yaratan alanlarının daha fazla olduğu görülmüştür. Bununla birlikte, uzamsal görevin karmaşıklık

derecesinin, zorlanılmaya başlanan problem çözme adımının göstergesi olabileceği belirlenmiştir.

Görevin nesnel karmaşıklığı ile öğretmen adayları tarafından algılanan zorluğunun birbiri ile bağlantılı olduğu görülmüştür. Genel olarak, nesnel karmaşıklığı nispeten daha az olan uzamsal görevler öğretmen adayları tarafından daha kolay, nesnel karmaşıklığı nispeten fazla olanlar ise daha zor bulunmuştur. Fakat bu durum ön-bilgi ve deneyime sahip olunan görevler için geçerlidir. Çünkü aşina olunmayan görevler, nesnel karmaşıklık düzeyine bakılmaksızın bazı öğretmen adayları tarafından zor olarak nitelendirilebilmiştir. Bununla birlikte uzamsal görevlerde yer alan görsel ipuçlarının algılanan zorluğun azalması yönünde, belirli becerilere sahip olmama ve belirli konu alanlarındaki yetersizliklerin algılanan zorluğun artması yönünde etkili olduğu belirlenmiştir.

Genel olarak öğretmen adaylarının hata oranları ile görevlerin algılanan zorluklarının birbiri ile bağlantılı olduğu gözlenmiştir. Fakat öğretmen adayları uzamsal görevlerin belirli bir yönünü anladıklarında, sezdiklerinde ve doğru olmasa da birtakım işlemler uygulayıp onları çözdüklerine inandıklarında onları zor olarak nitelendirmemişlerdir. Bu görev türlerinde hata oranları yüksek de olsa algılanan zorluk ile ilgili puanlamalar düşük olmuştur.

4.1.2. Seansların etkisi

Öğretim seansları boyunca yürütülen etkinliklerin öğretmen adaylarının uzamsal zorluklarının giderilmesine ve uzamsal becerilerinin gelişimine etkisi BYT ve Cabri3D öğrenme ortamı ile ilişkilendirilerek takip eden iki alt başlık boyunca ele alınmıştır.

Seanslar ve BYT'nin rolü

Açınım, döndürme ve yönelim bölümlerinden oluşan öğretim seanslarının her birine nispeten karmaşıklık derecesi düşük ve/veya ön-bilgi ve deneyime sahip olunan uzamsal görevlerle başlanılarak, görevlerin karmaşıklık derecesini aşamalı olarak artırmak öğretmen adaylarının şema oluşum süreçlerini desteklemiştir. Bu tür bir yaklaşım basit uzamsal görevlerin bilişsel yük yaratan alanları ile başa çıkmada etkili yeni öğrenmelerin gerçekleşmesini sağlamıştır. Böylece karmaşıklık derecesi nispeten fazla olan uzamsal görevlerin farklı yerlerine kümelenmiş bilişsel yük alanları için daha fazla çalışan bellek kaynağı ayrılabilmiştir. Görevlerin karmaşıklık derecesinin aşamalı olarak

arttırılması, önceki şemalarda değişiklik yapılarak ya da düzenlenerek yenilerin edinilmesini sağlamıştır.

Hedefte serbestlik etkisine sahip problemler, karşılaşılan uzamsal görevlerle baş etmede öğretmen adaylarına kendi stratejilerini seçme imkânı sunmuştur. Böylece öğretmen adayları kendi öğrenmelerinin sorumluluğunu alabilmişlerdir. Bilhassa görevlerde uzmanlaşan öğretmen adayları nispeten daha az ya da nispeten daha fazla bilişsel yük yaratan stratejilerin farkına varmışlardır. Böylece karşılaştıkları uzamsal görevleri yapmak için geliştirdikleri stratejileri uygulamada sorun yaşayacaklarına inandıkları zaman, stratejilerinde değişiklik yapabilmişlerdir.

Öğretmen adaylarının uzamsal görevleri yapmak için geliştirdikleri stratejiler ile tasarlayıcının Cabri3D materyalleri içine ve/veya öğreticinin yönlendirmeler içine yerleştirdiği stratejiler birbirinden farklı olabilmektedir. Öğretim seansları boyunca çözülmüş örneklerden yararlanma öğretmen adaylarının uzmanlaşma derecelerine göre hem kendi geliştirdiklerinden farklı stratejilerin olduğunu fark edebilmelerini hem de hatalarla sonuçlanan davranış kalıplarını değiştirebilmelerini sağlamıştır. Çözülmüş örnekler, öğretmen adaylarına gelişimsel olarak üç öğrenme deneyimi sağlamışlardır. Bunlar: (1) Uzamsal görevle ile ilgili temel konu alan bilgisinin kazanımı, (2) hatalar ile sonuçlanan yanlış düşünme yollarının terk edilmesi ve (3) çeşitli stratejilerin geliştirilmesi, şeklindedir. Öğretim seansları boyunca çeşitlendirilen çözülmüş örnekler öğretmen adaylarının uzamsal görevler ve çözümlerini ardışık ve aşamalı olarak ilerleyen bir öğretim dizisi içinde görmelerini ve içselleştirmelerini sağlamıştır. Uzamsal görevler ve onların Cabri3D içine gömülü olan çözüm yollarındaki çeşitlilik uzmanlık derecelerine göre öğretmen adaylarının çözüm stratejilerinin de çeşitlenmesine neden olmuştur.

Döndürme ve yönelme eylemlerini içeren uzamsal örüntüleri zihinde canlandırma etkinlikleri, öğretmen adaylarının strateji geliştirme süreçlerini tetiklemiştir. Böylece öğretmen adayları uzamsal bir görevi nasıl çözecekleri ile ilgili zihinlerinde nispeten yüzeysel dinamik imajlar üretebilmişlerdir.

Zihinde canlandırılan çözüm, kâğıt üzerindeki yanıt, Cabri3D'deki çözülmüş örnek ya da çözülmüş örnekle yanıtın karşılaştırılması ile ilgili yapılan bireysel açıklamalar öğretmen adaylarının uzamsal görevi anlamalarını, kendi çözüm yollarındaki hataları fark etmelerini, bir görevin farklı çözüm yollarını görmelerini ve uzmanlaşma derecelerine göre bir görevi çözmek için birden fazla strateji geliştirebilmelerini sağlamıştır.

Uzamsal görevlerin gereklerini yerine getirmede nispeten daha acemi kalanların görevlerde uzmanlaşanlara göre aynı ya da daha az ve daha temel seviyede şemalara sahip oldukları ve karmaşıklık derecesi fazla görevlerde daha fazla zorlandıkları belirlenmiştir. Oysa uzmanlaşma aynı ya da daha fazla ve nitelikli şema edinimi ile sonuçlanmıştır. Görevlerde uzmanlaşan öğretmen adaylarının söylemlerinde daha derin bir düşünmenin ürünü olan detaylandırma dikkat çekmektedir. Nispeten daha yüzeysel bir düşünmenin ürünü olan genel söylemler ise öğretmen adaylarının görevlerdeki acemiliğinin bir göstergesi olmuştur.

Seanslar ve Cabri3D'nin rolü:

Cabri3D materyallerini kullanma uzamsal görevlerde verilen ve istenilenin anlaşılmamasından kaynaklanan hatalı düşünme yollarının terk edilmesinde etkili gerçek hayat deneyimleri sağlamıştır. Uzamsal nesneler ve onlara uygulanan eylemler sonucu oluşan görüntüler ile ilgili yeterli deneyime sahip olmama, gerçekliği yansıtmayan algıların çözüm sürecini olumsuz yönde etkilemesine neden olabilmiştir. Çünkü algılanan görüntü gerçekliği yansıtmayabilmektedir. Cabri3D materyalleri ile uzun süre etkileşim ekran üzerinde yer alan nesne görüntüleri ve nesnelere uygulanan eylemler sonucu oluşan görüntülerin bellekte depolanmasını sağlamıştır. Böylece öğretmen adayları benzer uzamsal görevlerle karşılaştıklarında gerçek görüntü ile ilgili doğru tahminlerde bulunabilmişlerdir.

Cabri3D öğrenme etkinlikleri öğretmen adaylarının geometrik muhakeme (görselleştirme, formal ve formal olmayan muhakeme) ve analitik düşünme (birleştirme, ayrıştırma ve ilişkiler) becerilerini geliştirmiştir. Bu sayede nesne ya da nesne parçalarının geometrik özelliklerini belirleyebilmiş, uygulanan eylemleri analitik bir bakış açısı ile ele alabilmiş, birleştirme ve ayrıştırma işlemlerinin etkilerini gözlemleyebilmişlerdir. Ayrıca nesne parçalarının ya da nesnelerin birbiri ile olan uzamsal ve konum ilişkilerini doğru bir şekilde belirleyebilmişlerdir.

Uzamsal görevler geometri, analitik geometri ve projektif geometri konuları hakkında kavram ve bağıntı bilgisine sahip olmayı gerektirir. Cabri3D öğretim seansları öğretmen adaylarının uzamsal görevleri yapmada mevcut bilgilerine başvurmalarını sağlamanın yanısıra ilgili yeni kavramları edinme süreçlerini de desteklemiştir.

Uzamsal görevlerin gereklerinin yerine getirilebilmesi için geometrik nesnelerin uzunluk ve açı ölçülerinin bilinmesi ya da onların büyüklükleri hakkında tutarlı tahminlerde bulunulabilmesi gerekmektedir. Öğretmen adaylarının Cabri3D'deki ölçme

deneyimleri geometrik nesnelerin tüm uzunluklarını ya da açılarını ölçme, bazı ayrıt ya da uzunluklarını ölçtükten sonra diğerleri hakkında çıkarımda ya da tahminde bulunma ve uzunluk ya da açıları birbirleriyle karşılaştırarak onların ölçüleri hakkında orantısal ilişkileri koruyan tutarlı tahminlerde bulunma şeklinde olmuştur. Cabri3D ile etkileşim sonucu bellekte depolanan nesne uzunluk ve açı ölçüleri hakkındaki deneyimler, benzer uzamsal görevlerle karşılaşıldığında uzmanlık derecelerine göre öğretmen adayları tarafından onlar hakkında orantısal ilişkileri koruyan daha tutarlı tahminlerde bulunulmasını sağlamıştır.

Cabri3D öğretim seansları öğretmen adaylarının söylemleri üzerinde de etkili olmuştur. Günlük konuşma dilinin hâkim olduğu ve matematik terimlerinin genellikle hatalı bir şekilde kullanıldığı söylemlerden, Cabri3D'deki sanal manipülatiflerin dinamik doğasını taklid eden söylemlerin ağırlık kazandığı, matematik terimlerinin genellikle doğru bir şekilde kullanıldığı ve günlük konuşma dilinin ağırlığını kaybettiği söylemlere doğru bir gelişim söz konusu olmuştur.

Öğrenme sürecinde Cabri3D materyallerini kullanmanın yanısıra yönlendirmelerin de etkili olduğu belirlenmiştir. Ardışık ve örüntü oluşturan sorularla yapılan yönlendirmeler öğretmen adaylarının problem çözme şemalarının (anlama, strateji geliştirme, geliştirilen stratejileri uygulama ve çözümün doğruluğunu kontrol etme) gelişmesini sağlamıştır. Öğretmen adayları kendi yaptıkları hakkında düşünmelerini sağlayan yönlendirmeler ile uzamsal görevlerde ne tür hatalar yaptıklarını fark etmiş ve düzeltebilmişlerdir. Uzamsal görevleri irdelemelerini sağlayan yönlendirmeler ise öğretmen adaylarının uzamsal görevleri analitik bir bakış açısı ile ele almalarına neden olmuştur.

Cabri3D öğrenme materyalleri ya da yönlendirmeler uzamsal görev ile ilgili çözüm stratejilerinin ardışık bir sıra halinde eylem örüntüleri olarak zihinde canlandırılmasını sağlamıştır. Başka bir deyişle Cabri3D'e başvurularak içselleştirilen nesne ya da nesne parçalarının zamana bağlı konum ya da bireyin zamana bağlı konum ilişkileri yeni uzamsal görevlerin gereklerini yerine getirmek için öğretmen adayları tarafından öğretim seansları boyunca ve sonrasında kullanılmışlardır.

Öğretmen adaylarının belleklerinde uzamsal görevlerde uzmanlaşma derecelerine göre çeşitli genelleme şemaları oluşmuştur. Bunlar, kısa muhakeme zincirleri ile ulaşılan temel genellemeler ve daha uzun muhakeme zincirleri ve/veya temel genelleme şemalarının kullanıldığı kısa muhakeme zincirleri ile ulaşılan gelişmiş genellemeler

şeklindedir. Karmaşıklık derecesi nispeten fazla uzamsal görevler için temel genellemelere başvurulması öğretmen adaylarının strateji geliştirme süreçlerini olumsuz yönde etkilemiş ve çözüm deneme-yanılma gibi gelişmemiş yöntemler yoluyla elde edilmeye çalışılmıştır. Oysa gelişmiş genelleme şemalarına sahip öğretmen adayları uzamsal görevleri yapmak için farklı stratejiler geliştirebilmiş ve geliştirdikleri stratejiler içinden hangi ya da hangilerinin en az bilişsel yük ile sonuçlanacağını tespit edebilmişlerdir.

Çizim etkinlikleri uzamsal becerilerin gelişmesini sağlamıştır. Öğretim seansları boyunca zihinde canlandırılan görüntülere ait geometrik çizimler ile Cabri3D'deki görüntüleri karşılaştırma etkinlikleri sistematik olarak tekrarlanan belirli hata profillerinin sergilenme oranında azalmaya neden olmuştur. Birtakım yönlendirmelerin yer aldığı etkinlikler öğretmen adaylarının 2B'li ve 3B'li geometrik çizim yapma becerilerinin gelişmesi üzerinde de etkili olmuştur.

4.1.3. Seanslar sonrası durum

Öğretim seansları sonrasında öğretmen adaylarının PSVT puanları artmış ve hata oranlarında azalma meydana gelmiştir. Ön görüşmeler kapsamında belirlenen hata profillerinden bazılarının öğretim seanslarından sonra hiç yapılmadığı diğerlerinin sergilenmeye devam ettiği gözlense de onların sergilenme oranlarında da önemli oranlarda azalmalar meydana geldiği gözlenmiştir. Bilhassa karmaşıklık derecesi fazla olan uzamsal görevlerde seanslardan sonra tüm ya da belirli hata profilleri sergilenmeye devam etmiştir. Öğretim seanslarından sonra uzamsal görevlerin bilişsel yük yaratan alanlarında azalma ve/veya değişme meydana gelmiştir. Ayrıca son görüşme PSVT puanları ile hata oranları arasında anlamlı bir ilişkinin olduğu belirlenmiştir.

Öğretim seanslarından sonra görevlerin algılanan zorluğu genel olarak azalmıştır. Fakat yeni öğrenmelerle görevlerin algılanan taleplerinde artış, açınım birinci kategori görevlerinin algılanan zorluğunda düşük oranda da olsa artış meydana gelmesine neden olmuştur. Görevlerin algılanan zorluğunda azalma ile görevlerde otomatiklik kazanma ve ulaşılan genellemelere esnek bir şekilde başvurmanın bağlantılı olduğu gözlenmiştir. Acemi kalanların uzamsal görevleri yapmada deneme-yanılma gibi gelişmemiş yöntemlere başvurdukları belirlenmiştir. Fakat temel genellemelerde otomatikleşme deneme içinde yer alan işlemlerin seri bir halde yerine getirilmesini sağlamış, böylece bir sonraki denemeler çalışan bellekte fazla yük yaratmadan uzamsal görevlerin gerekleri

yerine getirilmeye çalışılmıştır. Uzmanlaşma ile çeşitli stratejiler geliştirilebilmiş ve uzamsal görevlerin yarattığı bilişsel yükün miktarına göre onlara esnek bir şekilde başvurulabilmiştir.

4.2. Tartışma

Öğretmen adaylarına öğretim uygulanmadan önce uzamsal görevlerde niçin zorluk çektikleri ile hata oranlarının ve görevlerin algılanan zorluğunun artmasında ne tür faktörlerin etkili olduğu, öğretim seansları boyunca uzamsal zorlukları gidermede BYT'ye dayalı öğretim ve Cabri3D öğrenme ortamının etkisi, seanslar sonrasında öğretmen adaylarının, hata oranlarında ve görevlerin algılanan zorluğunda bir değişiklik olup olmadığı aşağıda yer alan başlıklar boyunca tartışılmıştır.

4.2.1. Matematik öğretmen adaylarının uzamsal zorluklarının altında yatan nedenler

Hatalar 'bir öğrenme deneyimi boyunca bir öğrencinin karşılaştığı zorlukların basit semptomları (Luneta, 2008, s.386)' olarak ifade edilmektedirler. PSVT ile benzer soruların yer aldığı ön-yazılı değerlendirme görevlerinde matematik öğretmen adaylarının çeşitli hata profillerini sergiledikleri belirlenmiştir (Örneğin, A1, D1, Y1 gibi). Açınım, döndürme ve yönelim bölümü ön-yazılı değerlendirme görevlerinin her birinde sergilenen hata profilleri öğretmen adaylarının uzamsal zorluklarının bir göstergesidir. Öğretmen adaylarının uzamsal zorluklarının altında yatan nedenler aşağıda yer alan alt başlıklar boyunca tartışılmıştır:

3B'li Geometrik Düşünme Seviyelerinin Yeterince Gelişmemesi:

Uzamsal görevlerin doğru bir şekilde yapılabilmesi için cisim ya da yapının bileşenlerinin (yüz, ayrıt ve köşe noktaları gibi) ayırt edilebilmesi gerekmektedir, fakat matematik öğretmen adaylarının yapı ya da cismi görünüşlerine göre bütüncül olarak ele almaları çeşitli hata profillerinin sergilenmesi ile sonuçlanmıştır. Birim küplerden oluşan bir yapının sağ görünüşünün 3B'li olduğunu ve bunu görünüş çizimine yansıtmanın çok zor olduğunu düşünerek, sağ görünüş çizimini yapmama davranışı buna örnek olarak verilebilir. Cisim ya da yapıyı bütüncül olarak ele alma davranışı Gutierrez, Jaime ve Fortuny'nin (1991) tanımladığı 3B'li geometri öğrenme sürecinin 'tanıma seviyesi' ile örtüşmektedir. Gutierrez ve diğerleri, tanıma seviyesinde olan öğrenenlerin (van Hiele 3B'lu geometrik düşünme teorik çerçevesine göre birinci seviye) katı cisimleri

görünüşlerine göre değerlendirdiklerini ve 3B'li nesneleri bir bütün olarak düşünüp onların bileşenlerini ya da özelliklerini göz önünde bulundurmadıklarına vurgu yapmaktadırlar (s.242). Çalışma kapsamında öğretmen adaylarının 3B'li van Hiele geometrik düşünme seviyeleri ölçülmese de onların uzamsal görevlere verdikleri yanıtlardan geometrik muhakeme biçimleri yorumlanmıştır.

Yapı ya da cismin bileşenlerini analiz etme becerileri yeterince gelişmemiş olan matematik öğretmen adaylarının uzamsal görevleri doğru yapmak için gerekli bileşenlerin hepsini belirleyememeleri ve bu bileşenlerin geometrik özelliklerine dikkat etmemeleri çeşitli hata profillerinin sergilenmesine neden olmuştur. Yapı ya da cismin bileşenlerini belirleyememe davranışına bir örnek, yapı ya da cismin bakılan yönden görünmeyen yüzlerini çizimine yansıtmama davranışı verilebilir. Yapı ya da cismin bileşenlerinin geometrik özelliklerini dikkat etmemeye bir örnek olarak ise, çeşitli uzamsal görevlerde cismi (ya da yapıyı) oluşturan yüzlerin hangi çokgen ailesine ait olduğunu göz önünde bulundurmama, cismin yüz sayısını belirlememe davranışları verilebilir. Bu düşünme şekli Gutierrez, Jaime ve Fortuny'nin (1991) çalışması içinde tanımlanmıştır. Gutierrez, Jaime ve Fortuny'e (1991) göre öğrenenler 3B'li geometrik düşünmenin (van Hiele 3B'li geometrik düşünme teorik çerçevesine göre ikinci seviye) analiz seviyesine geldiklerinde deneyimleri ile katının bileşenlerini (yüz, ayrıt gibi) ve bileşenlerin özelliklerini (paralellik, düzgünlük gibi) belirleyebilmektedirler (s.242). Fakat matematik öğretmen adaylarının yapı ya da cismin bileşenlerine ve bileşenlerinin özelliklerine dayalı olarak çeşitli hatalar yapmaları, analiz seviyesine özgü becerilerinin yeterince gelişmemiş olduğunu göstermektedir.

Yukarıdaki açıklamalardan matematik öğretmen adaylarının 3B'li geometrik düşünme seviyelerinin yeterli düzeyde olmadığı sonucuna varılabilir. Bu durum daha önce yapılan araştırmalarla çelişmektedir. 3B'li cisimlerle ilgili çeşitli görevler kullanılarak çeşitli örneklemlerle yapılan çalışmalar öğrenenlerin 3B'li geometrik düşünmenin tanıma ve analiz seviyesine hakim olduklarına işaret etmektedir (Gutierrez, Jaime, ve Fortuny, 1991; Halat ve Şahin, 2008; Patkin ve Sarfaty, 2012; Patkin ve Barkai, 2014). Hatta Patkin ve Barkai (2014) hizmet öncesi ve hizmet içi matematik öğretmen adayları için de durumun benzer olduğunu bulmuştur. Mevcut araştırmalar göz önünde bu çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar, matematik öğretmen adaylarının öğretim seansları öncesinde farklı bağlamlar içinde karşılaştıkları 3B'li geometrik düşünmelerini

gerektiren görevlerde mevcut şemalarına başvurmada sorunlar yaşadıkları tespit edilmiştir. Ancak öğretim seanslarından sonra bu durum aşılabilmiştir.

Algıların Etkisinde Kalma:

Yapı ya da cismi belleklerinde işlerken matematik öğretmen adaylarının algılarının fazlasıyla etkisinde kalmaları hataları beraberinde getirmiştir. Uzamsal nesneler gözlerin gördüğü şekilde algılanmaz. Algılamada, bazen orada bulunmayan şeyleri orada varmış gibi algılayabiliriz. Bazı zamanlar algısal yanılsamalar olabilir ve duyular yoluyla edinilen mutlaka algılanan şey değildir (Bergqvist, 2015, s.5). Algılar üç şeye dayalıdır: 'Duyumsal veriler (ne hissettiğimiz), bellekteki bilgi (ne bildiğimiz) ve üst düzey bilişsel süreçler (ne çıkarsadığımız)' (Sternberg ve Sternberg, 2012, s. 108). 'Algı retinaya yansıtılan şeyin görülmesinden ibaret değildir, daha karmaşık bir süreçtir. Beyin görsel uyaranları işleyerek, uyaranlara anlam verir ve onları yorumlar (Sternberg ve Sternberg, 2012, s.86-87)'. Retina aracılığı ile beyne gelen uyaranın işlenmesinde ve anlaşılmasında bellekte yer alan imajlar etkili bir rol oynar, çünkü uyaran bellekteki imajlarla eşleştirilir. Bellekte var olan imajlarla benzerlik ve farklılıkları karşılaştırılır, uyaranın gerçek görüntüsü ile ilgili çıkarımlarda bulunulur. Matematik öğretmen adayları sunulan uzamsal yapı ya da cisim görünüşlerini zihinlerinde yeniden oluştururken, belleklerinde depolanan duyumsal veriler ile ilgili ön bilgi ve deneyimlerin etkisinde kalmış, bu durum ise yeni karşılaştıkları bağlamlardaki görsel verileri belleklerinde işlerken yanlış çıkarımlarda bulunmalarına neden olmuştur. Uzamsal görevler boyunca katılımcı yanıtlarından algıların neden olduğu hatalardan bazıları: (1) Yapı (ya da cismin) yöneliminden dolayı eğik konumda bulunan dikdörtgen ya da kare şeklindeki bir yüzün paralelkenar ya da eşkenar dörtgen şeklinde olduğunu, (2) yapının eğik ya da eğrisel kısımlarının görünmeyeceğine ya da bir kısmının görüneceğini, (3) yapının girintili-çıkıntılı kısımlarının belirli bir yönden görünüşünün de girintili çıkıntılı olacağını, (4) bakış yönüne göre yapının önde olan kısımlarının görüneceğini, geride kalan kısımlarının ise görünmeyeceğini ve (5) yapının belirli bir yönden (üst/alt, ön/arka ve sağ/sol) görünüşü onun en-boy, en-yükseklik ya da boy-yükseklik boyutları hakkında bilgi vermesine rağmen, bakış yönünde üçüncü boyuttaki görsel bilgilere de ulaşabileceğine düşünme, şeklindedir.

2B'li Geometrik Düşünme Seviyelerinin Yeterince Gelişmemesi:

2B'li geometrik düşünme geometrik şekilleri tanıma, özelliklerini belirleyebilme, karşılaştırıp sınıflandırabilme, bilinen özelliklerinden yararlanarak onlarla ilgili formal

olmayan çıkarımlarda bulunabilme ile aksiyomatik sisteme dayalı formal çıkarımlarda bulunabilme şeklinde birtakım becerilerini içinde barındırmaktadır. Van Hiele 2B'li geometrik düşünme teorisine göre 2B'li geometrik düşünme görselleştirme, analiz, formal olmayan ve formal muhakeme şeklinde gelişimsel olarak ilerleyen aşamalı bir sırayı takip etmektedir (örneğin, Crowley, 1987).

Çalışma kapsamında her ne kadar öğretmen adaylarının 2B'li geometrik düşünme seviyeleri ölçülmese de onların uzamsal görevlere geometrik düşünmenin temel görselleştirme seviyesine (van Hiele teorik çerçevesine göre birinci seviye) ait yanıtlar verebildikleri belirlenmiştir. Başka bir ifadeyle matematik öğretmen adayları geometrik şekilleri bir bütün olarak görmekte, onların parça ve bileşenleri üzerine odaklanmamakta (örneğin, Crowley, 1987), şekillerin hiçbir geometrik özelliğinin yansıtılmadığı çizimler yapabilmektedirler. Uzamsal görevlere yaklaşımları 2B'li geometrik düşünmenin analiz seviyesinde olduğuna işaret eden öğretmen adayları şekillerin özelliklerini ayırt etmekte, fakat özellikler arasındaki ilişkileri belirleyememektedirler (örneğin, Crowley, 1987). Analiz becerileri tam olarak gelişmeyen katılımcılar şekillerin sahip olduğu geometrik özelliklerin bazılarını belirleyebilirken, diğerlerini belirleyememişlerdir. Bu duruma örnek olarak, 'Tuğçe'nin bir dikdörtgeni inşa etmek için karşılıklı kenarları birbirine eş ve paralel çizmenin yeterli olacağını düşünmesi, köşe açılarının dik olması gerektiği hakkında muhakemede bulunmaması, böylece dikdörtgen yerine paralelkenar çizmesi davranışı' verilebilir. Katılımcıların yüzlerin tüm geometrik özelliklerini göz önünde bulundurmaları (örneğin, paralelkenarın karşılıklı kenarları birbirine paralel ve karşılıklı açılar birbirine eştir) ve şekiller arasındaki ilişkileri (örneğin, kare aynı zamanda bir dikdörtgendir) belirleyebilmeleri için formal olmayan çıkarım düzeyine ulaşmış olmaları gerekmektedir (Crowley, 1987, s.3). Oysa uzamsal görevlere verdikleri yanıtlar, onların geometrik düşünmelerinin formal olmayan çıkarım düzeyinde olmadığına işaret etmektedir.

Formal çıkarım (van Hiele'e göre) seviyesine gelen bir öğrenen, tanımsız terimler, aksiyomlar, tanımlar, teoremler ve ispatın birbiri ile ilişkisi ve rolünü anlar (Crowley, 1987, s.3) ve geometrik problemleri çözmek için teorem ve bağıntılara başvurabilir. Uzamsal görevler bazen matematik öğretmen adaylarının geometrik bağıntı ve teoremlere başvurmalarını gerektirmiştir. Böyle durumlarda onların formal çıkarım seviyesine uygun beceriler sergileyememeleri belirli hata profillerinin sergilenmesine neden olmuştur. Örneğin, kare ya da dikdörtgen dik piramit açınımında taban etrafına ikizkenar

üçgenler inşa edilirken ‘ikizkenar üçgenin yükseklik bağıntısı’ ve ‘Pisagor teoremi’ kullanılabilir, fakat matematik öğretmen adaylarının uzamsal görevlerin gereklerini yerine getirirken, bu tür bağıntılara başvurmadıkları gözlenmiştir.

Matematik öğretmen adaylarının 2B’li geometri düşünme seviyeleri uzamsal görevleri doğru bir şekilde yapmada yetersiz kalmaktadır. Bu durum literatür tarafından desteklenmektedir. Öğretmen adayları ile yapılan araştırmalar onların 2B’li geometrik düşünmelerinin yeterli düzeyde olmadığına, başka bir ifadeyle 2B’li geometrik düşünemerinin yeterince gelişmediğine işaret etmektedir (Örneğin, Knight, 2006; Halat, 2008; Bal, 2011; Chin-Yen ve Tajudin, 2015; Armah, Cofie ve Okpoti, 2017). Öğretmen adaylarının 2B’li düşünme seviyelerine ait genel sonuçlar şu şekilde örneklendirilebilir: Armah, Cofie ve Okpoti (2017) araştırmalarında, öğretmen adaylarının büyük çoğunluğunun 2B’li geometrik düşünme seviyelerinin görselleştirme öncesi, görselleştirme ve analiz seviyesinde olduğunu bulmuşlardır. Bu Knight (2006) ve Halat’ın (2008) matematik öğretmen adayları ile yaptığı araştırma sonuçları ile benzerdir. Her iki çalışmada da matematik öğretmen adaylarının çoğunun geometrik düşünme seviyelerinin formal olmayan ve formal çıkarım seviyelerinin altında olduğunu bulunmuştur. Öğretmen adayları ile yapılan araştırma sonuçlarına katılmakla birlikte, çalışma kapsamında her ne kadar öğretmen adaylarının Van Hiele 2B’li geometrik düşünme seviyeleri ölçülmemiş de olsa bu araştırmanın sonucu matematik öğretmen adaylarının uzamsal görevlere yanıtlarının geometrik düşünmenin formal olmayan çıkarım seviyesinin altında (örneğin, ön-görselleştirme ya da görselleştirme seviyesi) olduğuna işaret etmektedir. Öğretmen adayları 2B’li geometri kavramları ile ilgili mevcut şemalarını farklı bağlamlar içinde kullanmalarını gerektiren uzamsal görevlerde, potansiyellerini yansıtamamaktadırlar.

Tam Anlaşılmayan Uzamsal Görevler:

Açınım, döndürme ve yönelim bölümleri uzamsal görevleri birer problem durumu olarak ele alınabilir. Öğretmen adaylarından verilen cismi alt tabanının bulunduğu düzleme açmaları istendiğinde, öğretim seanslarından önce onların cisimleri yan yüzlerden birine açma (açınım bölümü), döndürülmüş cismin hangi eksen yön ve açıda döndürüldüğünü belirlemeleri istendiğinde, onların cisimleri eksenlerden tutarak hareket ettirme (döndürme bölümü), yapının belirli bir yönden görünüşünü (ya da yapının belirli bir noktadan görünüşünü) temsil etmeleri istendiğinde onların kendi belirledikleri yönlere (ya da bakış noktalarına) göre yapıya yönelme (yönelim bölümü) gibi uzamsal görevlerde

verilen ve istenileni anlamadıklarını gösteren davranışlar sergiledikleri belirlenmiştir. Sunulan bir problemi çözmek için bir strateji geliştirmeden önce, verilen ve istenilenlerin anlaşılması gerekmektedir. Görevin anlaşılamaması, problemi çözmek için gerekli koşulların yerine getirilmemesi ile sonuçlanmaktadır. Örneğin, cismin yüzeyini taban düzlemine değil de yan yüzlerinden birine açmaya çalışan bir katılımcının görevde istenileni anlamadığı ya da cismi ezbere bir şekilde açmaya çalıştığı söylenebilir. Masa üstünde bulunan bir cismin alt tabanını sabit tutup, diğer yüzleri taban ile aynı düzleme gelecek şekilde açılırsa, cismin iç yüzeyi görünür hale gelmektedir. İlk etapta cismi iç yüzeyi görünecek şekilde açma ile dış yüzeyi görünecek şekilde açma arasında bir fark olmadığı düşünülebilir. Fakat Yue (2006), PSVT içinde bir cismin iç yüzey açınımına ait bir geometrik örüntünün, yukarıya doğru katlandığında elde edilecek cisim ile aşağıya doğru katlandığında elde edilecek cismin birbiri ile aynı olmayabileceğine dikkat çekmektedir (s.4). Birinci açınıma uygulanan katlama ile, iç yüzey kapalı cisim yüzeyinin iç kısmında kalırken, ikinci katlama ile iç yüzey kapalı cisim yüzeyinin dış kısmında kalmaktadır. Problemde verilenler doğrultusunda görevin gerekleri doğru bir şekilde yerine getirilirse iç yüzey açınımı verilen cisim doğru bir şekilde elde edilirken, görevde verilenler dikkate alınmadan gerçekleştirilen katlama işlemi ile farklı bir cismin elde edilebileceği görülmektedir. Uzamsal problemde verilen ve istenilenin anlaşılmaması çeşitli hata profillerinin sergilenmesine neden olabilmektedir. Açınım bölümü için verilen ve istenilenin anlaşılmamasına örnek olarak 'cismin yüzeyini tabanına değil de yan yüzlerinden birine açmaya çalışma, cismi iç yüzeyi görünecek şekilde değil de dış yüzeyi görünecek şekilde açmaya çalışma ve cismin bir kısmını iç yüzeyi, bir kısmını dış yüzeyi görünecek şekilde açma' davranışları verilebilir. Döndürme ve yönelim bölümü uzamsal görevlerinde verilen ve istenilenin anlaşılmamasının da benzer şekilde hata üreten davranışların sergilenmesine neden olmuştur. Problem-çözmeyi öğrenmenin en önemli yönlerinden biri öğrencilerin problemi kavrama ve çözme sürecinde bireysel olarak ne yaptıklarını anlamalarıdır, öğrenme, düşünme ve problem çözme stratejilerine sahip olan öğrenciler, bu bilgi birikimine sahip olmayanlara göre çeşitli durumlar içinde bunları kullanma ve çalıştırmada daha yetkindirler (Cai, 2003, akt., Aljabari ve Gheith, 2016, s.35).

Prototip Örneklere Dayalı Şemalar:

Matematik öğretmen adaylarının cisimlerin yüzey açınımlarını yapma deneyimlerinin küp, kare piramit gibi aşina oldukları cisimler, döndürme deneyimlerinin

2B'li dik-koordinat sisteminde yer alan geometrik şekiller ve yönelim deyimlerinin birim küplerden oluşan yapılar gibi prototip örneklerle sınırlı olduğu gözlenmiştir. Vinner ve Hershkowitz'e (1983) göre her kavramın prototipler olarak adlandırılan yaygın ve popüler örnekleri vardır (Akt., Patkin, 2015, s.142). Kavram şemaları bazı prototip örneklerle sınırlı olan öğrenenler kavramı sadece görsel yönlerine ya da bazı prototip özelliklerine odaklanarak kategorilendirebilirler (Vinner ve Hershkowitz, 1983, Akt., Patkin, 2015). Matematik öğretmen adaylarının ön-deneyimlerine dayalı prototip davranışına örnek olarak 'üçgen prizmanın yüzeyini üçgen şeklindeki tabanına açmaları istendiğinde, onların dikdörtgen şeklindeki yan yüzlerden birini taban kabul edip, üçgen ve dikdörtgen şeklindeki yüzleri onun etrafına açma yoluna başvurmaları' verilebilir. Bu durumun, ders kitaplarında ve/veya sınıflarda genellikle yan üçgen prizmanın açınımına yer verilmesi ile bağlantılı olduğu düşünülmektedir. Prototipler gerekli tanımlayıcı özelliklerin hepsini değil sadece bir kısmını içerebilirler, üstelik tanımlayıcı olmayan bir veya daha fazla özelliği de içerebilirler (Attorps, 2006, s.38). Cismi taban düzlemine açmakla, yan yüzlerden birine açma davranışı benzer açınım geometrik örüntüsü üretse de bu tür bir cevap öğretmen adaylarının açınım şemalarının gelişmemiş olduğuna işaret etmektedir. Açınım şemaları aşina cisimlerin yüzey açınımları ile sınırlı olan öğretmen adaylarının, aşina olmadıkları cisimlerle ya da kombine cisimlerle karşılaştıklarında, uzamsal yetenekleri de yeterli düzeyde değilse, onların yüzeyini açmak için bir strateji geliştiremedikleri ya da hatalı bir strateji geliştirdikleri gözlenmiştir. Matematik öğretmen adayları örneğin, kombine edilen cisimlerin yüzey açınımlarını zihinlerinde ayrı ayrı gerçekleştirdikten sonra, onları ortak bir kenarla birleştirerek kombine cismin yüzey açınımını elde edebilmişlerdir. Prototip teorisine göre, prototip tanımlayıcı olmayan nitelikleri içerdiğinde ya da tanımlayıcı olan tüm nitelikleri içermediğinde, öğrenciler hatalı kavramlar oluştururlar (Klausmeier, 1992, s. 269). Öğretim seanslarından önce matematik öğretmen adaylarının uzamsal görevlerle ilgili kavram şemalarının az sayıda ve gelişmemiş olduğu gözlenmiştir. Örneğin, son görüşmelerde, öğretmen adaylarından biri seanslardan önce cisimlerin sadece bir yüzey açınımının olduğunu düşündüğünü fakat öğretim seanslarında bir cismin yüzeyini açmanın farklı yollarını gördüğünü ve öğrendiğini belirtmiştir. Bu durum Mariotti'nin (1989) on-on iki yaş aralığındaki çocuklarla yaptığı çalışmasındakine benzerdir. Mariotti, öğrencilerin fiziksel modeli açarak küpün T şeklindeki prototip açınımını sürekli bulduklarına, küpe

ait farklı açınımlar elde etseler bile onların doğru olup olmadığına emin olmadıkları için onun küpe ait olası tek açınım olduğunu düşündüklerine dikkat çekmektedir.

Hareket Olarak Dönme:

Dönme hareketi bir dönüşümdür. Araştırmalar öğretmen adaylarının 2B'de yer alan dönüşümleri (öteleme, simetri ve dönme) bir hareket olarak algıladıklarına ve onlarla ilgili geometrik anlayışlarının istenen düzeyde olmadığına işaret etmektedir (Desmond, 1997; Jung, 2002; Harper, 2003; Portnoy, Grundmeier ve Graham, 2006; Yanık, 2006, 2011; Thaqi, Gimenez ve Rosich, 2011). Bu çalışma kapsamında elde edilen bulgular, bu araştırma sonuçlarını destekler niteliktedir.

Ön-görüşmede yer alan görevler 3B'li cisimlerin 3B'li dik koordinat sistemindeki eksenler etrafındaki dönme hareketleri ile ilgilidir ve matematik öğretmen adaylarının cisme uygulanan dönmeyi 3B'dan 3B'a olan bir dönüşüm olarak ele almaları beklenirken, onların dönmeyi 'kaldırma, ittirme ve yatırma' şeklindeki hareketlerle ilişkilendirdikleri gözlenmiştir. Örneğin, katılımcılar bir cisim ve onun y ekseni etrafında saat yönünde 90 derece döndürülmüş görüntüsü sunulduğunda, cismin ittirilerek arka yüzü üzerine yatırıldığını ya da cisim ve onun x ekseni etrafında saat yönü tersinde 90 derece döndürülmüş görüntüsü sunulduğunda, cismin kaldırıldığını söyleyebilmektedirler. Öğrenenlerin dönüşümleri tanımlamada ve yürütmede zorluk yaşamaları, fiziksel hareketlerle (yürüme ve hareket etme) ilgili günlük deneyimlerinin güçlü bir şekilde etkisinde kalmaları ile bağlantılıdır (Edwards ve Zazkis, 1993; Yanık, 2006), örneğin, 'öteleme dönüşümünü, bir şeyi alıp düzlem üzerindeki başka bir yere koymak (Portnoy, Grundmeier ve Graham, 2006, s.201)' şeklinde ele alınabilmektedir. Benzer şekilde Edwards ve Zazkis (1993), bir kişinin dönme ile ilgili günlük deneyiminin neredeyse her zaman nesnenin içindeki ya da onun bir ucundaki bir merkez noktası etrafında dönmesini içerdiğini belirterek, bu duruma örnek olarak tekerleklerin merkezleri etrafında dönmesini ve saat kollarının bir ucunda dönmesini vermişlerdir (s. 142). Açınım bölümü uzamsal görevleri için de benzer şeyler söylenebilir, çünkü onlar da dönme dönüşümünü içermektedir. Cismin yüzeyini açmak için geliştirilen bir stratejiyi doğru bir şekilde uygulama, cisim yüzeyi üzerinde bulunan yüzleri belirli açı ölçülerinde döndürerek taban düzlemine açmayı içerir. Cismin yüzeyini açma, 3B'dan 2B'a bir dönüşümdür. Bu dönüşümde, yüzlerin geometrik özellikleri korunmaktadır. Örneğin, tabana komşu ve dik konumda bulunan bir yüzü taban düzlemine açmak için, bu yüzün taban ile ortak kat çizgisi etrafında taban ve diğer yüzlerle üst üste gelmeyecek şekilde 90 derece

döndürülmesi gerekmektedir. Fakat matematik öğretmen adaylarının, 'yüzleri belirli köşe noktalarından çekerek ya da asılarak yer düzlemine yatırmaya çalışma (bir yüzü asılma ya da çekiştirme, onun geometrik özelliklerinde bozulmaya neden olmaktadır) ya da yüzleri taban düzlemine tam olarak yatırmadan eğik konumda bırakma', davranışları uzamsal hatalara neden olmuştur. Bu tür açınım hataları da matematik öğretmen adaylarının dönüşümü hareket olarak görmeleri ile bağlantılıdır.

Kavram Bilgisi Eksiklikleri:

Matematik öğretmen adaylarının uzamsal görevlerle ilgili geometri ve analitik geometri kavram bilgilerinde eksiklikler olduğu belirlenmiştir. Çeşitli çalışmalar öğretmen adaylarının veya matematik öğretmenlerinin konu içerik bilgilerinin yetersizliğine ve/veya kavramsal derinlikten yoksunluğuna dikkat çekmektedir (Örneğin, Ball ve Wilson, 1990; Bryan, 1999; Cantürk-Günhan, 2014; Aslan-Tutak ve Lot-Adams, 2015). Matematik öğretmen adaylarının dönme dönüşümü ile ilgili ön-bilgi ve deneyimleri düzlemsel şekilleri 2B'li dik koordinat sistemi üzerinde döndürmeyi içermektedir. Öğretmen adaylarının 3B'li dik-koordinat sisteminde cisimleri döndürme görevlerini doğru bir şekilde yapabilmeleri için gerekli 'dönme ekseni, yönü ve açısı' kavram şemaları yetersiz ya da eksiktir. Öğretmen adaylarının ayrıca şekilleri 2B'da döndürmeyle (dönme merkezi, yönü ve açısı) ilgili kavram şemaları ile 3B arasında bağlantı kuramadıkları belirlenmiştir. Öğretmen adaylarının 2B'da döndürme ile ilgili ön-bilgilerinin, 3B'da çalışmalarını gerektiren döndürme görevlerini anlamalarını engellediği gözlenmiştir. Öğrencilerden, yeni problemler ya da analoji yapmak için kavramlara başvurmaları istendiğinde, alışılmamış ve kabul edilemez yanıtlar vermeleri (Campbell ve Campbell, 2008, s.8), ön-bilginin potansiyel negatif etkisi ile bağlantılıdır. Çünkü 2B'da döndürme ile ilgili görevler yerine getirilirken yatay (x) ve düşey (y) olmak üzere iki eksene, dönme merkezi olarak ifade edilen 2B'li dik-koordinat sisteminde yer alan bir referans noktasına ve saat kollarının hareketi ile belirlenen bir dönme yönüne başvurulmaktadır. Oysa 3B'da çalışabilmek için hem koordinatları ifade etmede hem de verilen bir cismi döndürmede başvurulabilecek üç eksen (x, y ya da z) ve eksenlere göre perspektif alarak belirlenebilecek üç dönme yönü ile ilgili kavram bilgisine gereksinim vardır. Yani katılımcıların 3B'li koordinat sistemi ile çalışmalarını gerektiren 3B'daki dönme dönüşüm görevlerini yapmak için gerekli ön-bilgi ve deneyime sahip olmadıkları söylenebilir.

Matematik öğretmen adaylarının 3B'li dik-koordinat sistemi, dönme ekseni, dönme yönü ve dönme açısı ile ilgili kavram şemalarının uzamsal görevleri doğru bir şekilde yapmada yetersiz olduğu gözlenmiştir. Bu durumlar aşağıda sırayla örneklendirilerek açıklanmıştır.

Öğretmen adayları dönme görevlerinde, verilen cismi koordinat sistemindeki eksenlerden tutarak hareket ettirebilmektedirler. Yani 3B'li dik koordinat sistemi onlar için statik bir yapıya sahip değildir, dinamik bir yapıya sahiptir. Öğretmen adayları cismi belirli bir eksen etrafında dönme hareketini düşünmek yerine, belirli bir eksen aracılığı ile cismi tutup onu ileri, geri, yukarı, aşağı, sağa ve sola şeklinde hareket ettirdiklerini düşünmektedirler.

Öğretmen adaylarının görevlerde sunulan eksen adları ile bu eksenlerde yer alan oklar arasında bağlantı kurarak, cismi yukarıya doğru kaldırmayı z ekseninde, cismi önden arkaya ya da arkadan öne doğru çevirmeyi x ekseninde ve cismi sağdan sola ya da soldan sağa doğru çevirmeyi y ekseninde dönme olarak ifade edebildikleri belirlenmiştir. Öğretmen adaylarına göre eksenin doğrultusu ve eksenlerde yer alan oklar cismin döndürülerek ötelenme doğrultu ve yönünü göstermektedir. Bu durum öğretmen adaylarının dönme ekseni kavram şemasına sahip olmadıklarına ve görevlerde yer alan etiketler, eksen doğrultuları ve yönlerini bilimsel, analitik ve geometrik bir anlayış içinde ele almadıklarına işaret etmektedir. Bir cisim ve onun dönme hareketi uygulanmış görüntüsü verildiğinde, bireyler zihinlerinde cisim ve görüntüsü arasındaki ilişki kurarak, zihinlerinde cismin görüntüsünü üreten dönme hareketini canlandırabilirler. Bu dönme hareketi 360 dereceye tamamlanırsa, cisim ve oluşan görüntülerin içinde kalan eksen, cismin dönme ekseni olur. Başka bir deyişle, cisim üzerindeki herhangi bir noktanın dönme hareketi ile ürettiği yay, çembere tamamlanırsa, cismin dönme ekseni bu çemberin merkezinden geçecektir. Çünkü dönme hareketinde, cisim üzerindeki herhangi bir noktanın dönme eksenine olan uzaklığı hep sabit kalır. 3B'li dik koordinat sisteminde çalışılıyorsa, orijin ve bu çemberin merkezinden geçen doğru, cismin dönme ekseni olur. Fakat katılımcılar, bu ilişkiyi ve buna bağlı olarak dönme eksenini de belirleyememişlerdir. Halbuki, öğretim programında katılımcıların, 3B'li dönüşümler hakkında muhakeme yapmalarını gerektiren başlıca görevler arasında: (1) düzgün prizma ve piramitlerin (kare prizma, düzgün altıgen dik piramit) dönme simetri eksenleri ve dönme açılarını belirleme ve (2) 2B'li geometrik bir şeklin, onunla aynı düzlemde bulunan bir doğru etrafında döndürülmesi ile elde edilen geometrik cisim (bir dik

üçgenin, dik kenarlarından birinden geçen bir doğru etrafında 360 derece döndürülmesi ile bir dik koni elde edilebilir) ya da cisim parçaları yer almaktadır. İlk görevlerde, düzgün prizmaların dönme simetrileri, genellikle üst ve alt tabanın ağırlık merkezlerinden geçen ya da cismin tepe noktası ile tabanın ağırlık merkezinden geçen doğrudur ve bu doğru cismin içinden geçmektedir, ikinci görev türünde benzer şekilde geometrik şekil verilen eksen etrafında 360 derece döndürüldüğünde bir cisim oluşmakta ve dönme ekseni cismin içinde kalmaktadır. Bu ilişki dönme eksenini bulmayı gerektiren görevlerdeki ile benzerdir.

Döndürülen cismin yönü sağ el kuralına başvurularak (Yue, 2004, s.2) ya da cismin döndürüldüğü eksene göre perspektif alınarak belirlenebilir. Sağ el kuralı ortaokul fen bilgisi dersi belirli fizik bağlamları içinde sunulmaktadır. Sağ el kuralına manyetik alanın yönünü belirlemek için başvurulmaktadır. İçinden elektrik akımı geçen bir teli sağ elimizle, baş parmağımız akım yönünü gösterecek şekilde tutarsak, diğer parmaklar manyetik akım yönünü gösterir. Başparmağımıza göre diğer parmakların kıvrımı her zaman saat yönünün tersine işaret eder. Bu durum ile 3B'li dik koordinat sisteminde döndürülen cismin yönü arasında analojik ilişki kurulabilir. Baş parmak pozitif yönü işaret edecek şekilde dönme eksenini tutarsak, diğer kıvrılan parmaklar saat yönünün tersini işaret edecektir. 3B'li dik koordinat sistemindeki belirli bir eksen etrafında döndürülmüş cismin hangi yönde döndürüldüğü, anlayabilmenin diğer yolu ise eksenlere göre perspektif almaktır. Bunun için bir birey cismin döndürüldüğü eksenin pozitif tarafından cismin dönme hareketini izlediğini hayal edebilir. Dönme hareketinin yönü ile saat ibrelerinin dönme yönünün aynı olup olmadığını karşılaştırarak, cismin saat yönünde ya da saatin tersin yönde döndürüldüğünü ifade edebilir. Ön-görüşmelerde katılımcıların kendilerine sunulan görevleri yerine getirmeye çalışırken, dönme yönü ile ilgili ön bilgi ya da deneyime sahip olmadıkları belirlenmiştir. Öğretim programlarında 'dönme yönüne' bir kazanım olarak yer verilmese de ondan belirli okul geometri ve fen konuları içinde bahsedilmektedir. Katılımcılar soruda verilen eksenleri dönme yönü olarak ele alıp, cismin x yönünde ya da z yönünde döndürüldüğünü söyleyebilmekte, cismin dönme yönünü standart bir şekilde ele almayıp, cismin dönme yönünü içerisinde yer aldığı bağlam içinde değerlendirerek, yukarıdan aşağıya ya da içten dışa doğru hareket ettiğini ifade edebilmekte, üç boyutlu koordinat sistemindeki eksenlerin bazılarına göre dönme yönünü doğru bir şekilde söylerken, diğerlerine göre dönme yönünü doğru bir şekilde belirtememekte (örneğin, katılımcılar saatin kollarının dönme hareketi ile z ekseni

etrafında saat yönünde dönme hareketi arasında analojik ilişki kurarak dönme yönünü doğru bir şekilde ifade edebilseler de, diğer dönme eksenlerinde dönme yönünü doğru bir şekilde ifade edememektedirler) ve cismin hangi eksen etrafında döndürüldüğünü ifade etmeksizin dönme yönünü belirtebilmedirler. Bu davranışlar dönme yönü hata profilinin sergilenmesine neden olmaktadır.

Açı 'geometrik bir şekil, ölçüm ve dinamik bir hareket' şeklinde, üç farklı perspektiften tanımlanabilir (Henderson ve Taimina, 2005; Fyhn, 2007, s.2). Geometrik bir şekil olarak anlamı, 'ortak başlangıç noktasına sahip iki ışının birleşimi (Hacısalihoğlu vd., 2000, s.4)', ölçüm olarak anlamı, 'iletki ile ölçülebilen bir büyüklük' ve dinamik bir hareket olarak anlamı, 'anahtar deliği içindeki anahtar, musluk, saatin kolları, kapının kolu, vidalı kapak gibi tüm durumlardaki yön değiştirme süreci (Freudenthal, 1983, s. 327)' şeklinde ele alınmaktadır. Çalışmanın bulguları matematik öğretmen adaylarının açı ile ilgili kavram bilgilerinin yetersiz oluşunun dönme ile ilgili görevleri yerine getirirken zorlanmalarına neden olduğunu göstermiştir. Nitekim, dönme bölümündeki görevleri yaparken açıyı, başlangıçtaki cisim, dönme ekseni ve döndürülmüş cismin oluşturduğu şekil, cismin dönme hareketi ile oluşan yönlü yay ve cismin kaç derece döndürüldüğünü belirten bir ölçüm olarak ifade edememişlerdir. Öğretmen adayları, dönme açısını döndürülen cismin başlangıç konumu, döndürüldükten sonraki görüntüsü ve eksenden bağımsız olarak ele almakta, dönme eksenlerinden bağımsız olarak dönme açısını ifade etmekte, dönme yönünü hatalı bir şekilde ifade ederek dönme açı ölçüsünü belirtmekte ve cismin yüz konumlarının değişiminden dönme açı ölçüsünü ezbere bir şekilde ifade edebilmektedirler (örneğin, cismi tepe taklak getirmeyi 180 derece ile özdeşleştirme). Katılımcıların dönme açısını, yönlü bir açı olarak ele almamaları da hatalara neden olabilmektedir.

Öğretmen adaylarının açınım ve yönelim bölümü uzamsal görevleri ile ilgili kavramsal bilgilerinde de hatalar ve eksikler göze çarpmaktadır. Örneğin, 'açınım süreci ya da cismin yüz tanımı' ile ilgili yanlış kavramsallaştırmalar kombine cisimlerin yüzlerinin açınıma bölünerek yansıtılmasını beraberinde getirmiştir.

Perspektif-Alma Sorunu:

Görsel perspektif alma, nesnelerin başka birine göre nerede bulunduğunu veya o kişinin belirli bir nesneyi görüp görmeyeceğini belirlemede kullanılır (Michelon ve Zacks, 2006, s. 327). Açınım, döndürme ve yönelim bölümü uzamsal görevleri perspektif-alma becerilerini içinde barındırmaktadır. Buna örnek olarak, cismin tabanını

referans alıp yan yüzleri ona göre sağa, sola, arkaya ve öne açma (açınım bölümü), eksenlere göre perspektif alıp dönme yönünü belirleme (dönme bölümü) ve yapıya (ya da cisme) görevde istenildiği gibi kendini yönlendirme (yönelim bölümü) verilebilir. Matematik öğretmen adaylarının uzamsal görevler boyunca perspektif-almada sorunlar yaşayarak, çeşitli hatalar yapabildikleri gözlenmiştir. Piaget ve Inhelder'e (1956) göre çocukların perspektif-alma becerileri birbirini takip eden birkaç adımda ilerler. Çocukların başlangıçtaki davranışları ben-merkezcidir ve bir görüntünün başkasının bakış açısı ile nasıl göründüğünü tahmin etmeleri istendiğinde, yanlışlıkla kendi bakış açılarını ifade ederler. Geçiş aşamasında, görselin bazı baskın görüntü karakteristiklerine odaklanarak alternatif perspektifi tahmin etmeye gayret gösterseler de ben-merkezci bir cevaba geri dönerler. İlerleyen aşamada, farklı gözlemcilerin farklı perspektiflere sahip olmaları gerektiğini gösteren yanıtlar vermeye başlarlar. Görüntünün alternatif konumlardan nasıl göründüğünü tam olarak tahmin etmek için görselin içindeki uzamsal ilişkileri koordine etmeye çalışırlar. Görselin karmaşıklığı yüzünden hatalar yapsalar da bu aşamada farklı gözlemcilerin farklı perspektiflere sahip olduğunu anlarlar (Jacobsen ve Waters, 1985, s.72-73). Çalışma kapsamında elde edilen bulgular öğretmen adaylarının yapının farklı yönlerden görünüşlerini çizerken ben-merkezci davranarak 'yapının etiketlerle vurgulanan ön görünüşünü çizmeleri istendiğinde, kendilerine göre yapının ön tarafının görünüşünü fakat etiketlerle sunulan sağ görünüşünü çizebildiklerini' göstermektedir. Ayrıca öğretmen adaylarının 'yapıya (ya da cisme) görevde istenildiği gibi yönelememeleri, yapıya (ya da cisme) etiketlerle belirtilen bakış yönünden (ya da noktasından) değil de kendi bakış açılarına göre yönelmeleri, bakış yönünden (ya da noktasından) yapının (ya da cismin) hangi kısımlarını göreceğini belirleyememeleri' davranışlarını sergilemeleri, ben-merkezcilikten uzaklaşsalar da, perspektif almada hala sorunlar yaşadıklarına işaret etmektedir.

Uzunluk ya da Açı Ölçülerini Belirlememe:

Yapı ya da cismin uzunluk ve açı ölçüleri hakkında karar vermede 'ölçme işlemi' etkili bir rol oynar. Gravemeijer ve diğerleri (2007) ölçmenin, bazı karakteristiklerine göre nesneleri ya da durumları karşılaştırma ihtiyacından türediğini (s.11) belirterek, onu şu şekilde açıklamaktadır: 'Ölçme işlemi, bir birim seçip, bu birimle gerçekliği nicel olarak ifade etmeyi içerir (s. 20), ölçme sonucu elde edilen sayı, bu ölçü biriminin kaç kez katlandığını belirtir ve sayılar arasındaki ilişki aynı zamanda cisimler arasındaki ilişkiye de işaret etmektedir (s.11-12)'. Ölçme için birim belirleme orantısal muhakeme

ile yakından ilgilidir. Matematik öğretmen adaylarının yapı ya da cismin uzunluk ve açı ölçüleri ile ilgili doğru karar verebilmesi için, onun en, boy ve yüksekliğini aynı birim cinsinden ifade edebilmesi ve açı ölçüleri hakkında doğru çıkarımlarda bulunabilmesi gerekmektedir. Fakat ön-görüşmelerde matematik öğretmen adaylarının yapı ya da cisimdeki orantısal ilişkileri belirlemedikleri, yapı ya da cismin en, boy ve yüksekliğini aynı birim cinsinden ifade etmedikleri, onların yüz kenarları arasındaki açı ölçüleri hakkında muhakemede bulunmadıkları gözlenmiştir. Yapının (ya da cismin) en, boy ve yükseklik boyutlarını aynı birim cinsinden ifade etmeme ve onun ayrıt ya da kenarların oluşturduğu açı ölçülerini belirlememe bilhassa açınım ve yönelim bölümü çizim görevlerinde çeşitli hata profillerinin sergilenmesine neden olmuştur. Bu durum öğretmen adaylarının uzamsal görevler ile orantısal muhakeme ve ölçme arasında bağlantı kurmadıklarına işaret etmektedir. Lobato ve diğerleri (2011) ve Llinares ve Krainer (2006) çalışmaları bu durumu desteklemektedir. Öğretmen adaylarının orantısal muhakemeleri hakkında çok az bilgi sahibi olunduğunu belirten Lobato ve diğerleri (2011), ilkokul ve ortaokul öğretmenlerinin orantısal muhakeme konusunda derin bir anlayışa sahip olmadıklarını gözlemlemiştir. Llinares ve Krainer (2006) ise öğretmen adaylarının ölçme dahil çeşitli konu alanlarındaki yetersizliklerine işaret etmektedir. Bu sonuçlar çalışmada yer alan öğretmen adaylarının yaşadıkları zorluklarla örtüşmektedir.

Geometrik Çizim Tekniklerine Başvurmama:

3B'li cisimlerin yüzey açınımını yapmayı içeren geometrik çizimler ve 3B'li yapıların belirli yönlerden görünüşlerini içeren ortografik çizimler, 3B'li nesnelerin 2B'li temsilleri ile ilişkiliyken, cam bir küpün ortasında yer alan 3B'li bir cisme, küpün köşe noktalarından bakıldığında elde edilecek 3B'li görüntüyü izometrik noktalı kâğıda inşa etme, 3B'li nesnelerin 3B'li temsilleri ile ilişkilidir. Yapı, cisim ya da onların parçalarına ait çizimlerin gerçekliği yansıtacak ve tutarlı bir şekilde gerçekleştirebilmesi için kullanılması gereken geometrik araç gereçler ile takip edilmesi gereken kurallar vardır. Fakat ön-görüşmelerde öğretmen adaylarının 2B'li çizimler yapmak için iletki, gönye gibi araç gereçlere başvurmadıkları, geometrik çizim prosedür ve tekniklerini takip etmedikleri ve 3B'li çizimler yapmada izometrik kağıdın özelliklerini doğru bir şekilde kullanmadıkları belirlenmiştir. Geometrik araç- gereçlere başvurmama ya da nasıl başvuracağını bilmeme ile geometrik çizim teknik, kural ve prosedürlerden haberdar olmama ya da onları takip etmeme belirli hata profillerinin sergilenmesi ile sonuçlanmıştır. Hatalara neden olan bu iki duruma neden olan davranış örnekleri şu

şekilde örneklendirilebilir: (1) Öğretmen adaylarının çizim yaparken cetveli doğru bir şekilde kullanabilmeleri fakat eğik bir kenar üzerine dik bir doğru parçası ya da belirli açı ölçülerine sahip geometrik bir şekli inşa ederken gönye ve iletkiyi doğru bir şekilde kullanamamaları. (2) Bir doğru parçasının orta dikmesini çizmek için gerekli prosedür bilgisine sahip olmama. Bu sonuçlar Gür ve Kobak- Demir'in (2017) araştırma sonuçları tarafından desteklenmektedir. Gür ve Kobak-Demir çalışmalarında, öğretmen adaylarının geometrik inşa etkinliklerinde araç- gereç kullanımında zorlandıklarına ve çizime nasıl başlayacaklarına ve neyi, nasıl çizeceklerine karar veremediklerine dikkat çekmektedir. Öğretmen adaylarının öğrenim hayatları boyunca, geometrik araç gereçleri kullanarak geometrik çizimler yaptıkları bilindiğine göre karşılaşılan bu sorunlar nasıl açıklanabilir? Araç-gereçleri kullanma sıkıntısı, öğretmen adaylarının aradan geçen süreyle onları kullanmayı unutmuş olmaları ya da yeni bağlam içine (açınım görevi gibi) önceki deneyimlerini transfer edememeleri ile bağlantılıyken, çizim teknik ve kurallarına başvurma sınıtısının hem alan bilgisindeki eksiklerle (Erduran ve Yeşildere, 2010) hem de geometrik muhakeme beceri yetersizlikleri (Karakuş, 2014) ile bağlantılı olduğu düşünülmektedir.

Küp ortasında bulunan 3B'li cisme küpün köşe noktalarından bakıldığında elde edilecek görüntüyü izometrik noktalı kâğıda inşa etme, cisme görevlerde istenilen şekilde yöneldiğini hayal etme gibi uzamsal becerilerin yanı sıra elde edilecek görüntüleri sayfa düzlemine izometrik olarak yansıtmak için gerekli çizim becerilerine sahip olmayı da gerektirmektedir. Ön görüşmelerde öğretmen adaylarından ikinci yönelim bölümü görevlerinin gereklerini getirebilmeleri için 3B'li çizimler yapmaları istendiğinde, onlar bunu yapamayacaklarını belirtmişlerdir. Bu Duatepe-Paksu'nun (2013) araştırma sonuçları ile benzerlik taşımaktadır. Duatepe-Paksu (2013), 140 sınıf öğretmen adayından 5 eş birim küpten ve 6 eş birim küpten oluşan birer yapı çizmelerini istemiştir. Araştırmada katılımcıların üçte birinin hiç bir çizim yapmadığı belirlenmiştir. Duatepe-Paksu, öğretmen adaylarının hiç bir çizim yapmamalarını konu hakkında bilgi sahibi olmamalarıyla ya da çalışmayı önemsememeleri ile ilişkilendirmiş ve her iki sebebin de olumlu karşılanamayacağına dikkat çekmiştir (s.837). Öğretmen adaylarının çizim yapmamalarının sadece Duatepe-Paksu'nin dikkat çektiği iki neden ile açıklanamayacağı düşünülmektedir. Çünkü izometrik kağıda 3B'li çizim yapma, bir takım uzamsal becerilere sahip olmayı ve bir takım teknik kural ve prosedürleri takip etmeyi beraberinde getirmektedir. Öğretmen adaylarının gelişmemiş uzamsal becerileri ya da yetersiz teknik

çizim bilgilerinin de çizim yapmaktan kaçma davranışının sergilenmesinde etkili olduğu düşünülmektedir. Bu çalışma kapsamında yapılan görüşmelerden, öğretmen adaylarının 3B'li çizim yapmayı zor bir görev olarak gördükleri ve nitelendirdikleri anlaşılmaktadır. Bunların dışında 3B'li çizim yapmanın resim yapma gibi bir yetenek olarak görülmesi de çizim yapmaktan kaçmaya neden olmuş olabilir.

Görevi Tamamladıktan Sonra Çözümü Gözden Geçirmeme:

Uzamsal görev tamamladıktan sonra elde edilen ürün ya da sonucun kontrol edilmesi gerekmektedir. Sonucu ya da argümanı kontrol etme, farklı şekillerde aynı sonucu bulma, başka problemlerde sonucu ya da metodu kullanma (Polya, 1973, xvii) şeklinde olabilir. Fakat, matematik öğretmen adaylarının sunulan uzamsal görevleri tamamladıktan sonra üzerinde düşünmedikleri başka bir deyişle geriye doğru bakmadıkları gözlenmiştir. Bu sonuç In'am'ın (2012, 2014) çalışmalarındaki sonuçlarla büyük orandan benzerlik taşımaktadır. In'am (2012) çalışmasında katılımcıların çoğunun çözümlerini gözden geçirmediklerine vurgulamıştır. Benzer şekilde In'am (2014), öğretmen adaylarının yaptıklarının doğru olduğuna emin olduklarını ve bazılarının ise zaman kalmadığını düşünerek çözümlerinin doğruluğunu kontrol etmediğini gözlemlemiştir. Cai ve Brook (2006), genellikle öğrencilerin bir problemi çözdüklerine inandıktan sonra görevlerin gereklerini yerine getirdiklerini düşündüklerine ve daha fazla araştırma yapmadıklarına (s.42) dikkat çekmektedir.

Geriye bakma açınım, döndürme ve yönelim bölümü görevlerinin her biri için farklı şekillerde gerçekleştirilebilir: (1) Bir cismin yüzey açınımını çizme probleminde, problemi çözmek için geliştirilen stratejiyi uyguladıktan sonra, hata yapıp yapmadığını kontrol etme, cismin farklı bir açınımını yapma, açınımdaki yüzlerin konumlarında değişiklik yaparak farklı bir açınım elde etme ya da açınımı kapatmak için birleşmesi gereken kenar çiftleri ve köşeler hakkında muhakemede bulunma, (2) verilen bir cismi belirtilen bir eksen, yön ve açıda döndürme görevi için ise geriye bakma dönme ile cismin yüz konumlarında meydana gelen değişimi kontrol etme, cismi belirtilen eksende fakat belirtilen yönün tersinde belirtilen açı ölçüsünü 360 dereceye tamamlayacak şekilde döndürme ve (3) belirtilen yönden (ya da noktadan) yapıya (ya da cisme) bakma görevinde ise görünüş çizimindeki her bir parçanın yapıdaki konumlarını belirleme, ürettiği görünüş çizimlerinden yapıyı elde edip edemeyeceğini düşünme ya da ön/arka, sağ/sol ve üst/alt görünüş çizimlerinin simetrisini kontrol etme' şeklinde olabilir. Ön-görüşmelerde örneğin, matematik öğretmen adaylarının 'açınımlarının kapanması için

birleşmesi gereken kenar çiftlerini belirlemedikleri ve açınımını kapatırken açınımındaki hangi kenar ve köşelerin, cismin hangi kenar ve köşelerini oluşturacağını dikkate almadıkları' gözlenmiştir. Bu durum öğretmen adaylarının açınımlarını tamamladıktan sonra geriye bakmadıkları anlamına gelmektedir. Döndürme ve yönelim bölümü için de durum benzerdir.

Öğretmen adaylarının uzamsal zorluklarının geometrik düşünme seviyeleri dahil çeşitli nedenlerle bağlantılı olduğu bulunmuştur. Uzamsal zorlukların göstergesi olan hatalar bazı uzamsal görevlerde daha sık tekrarlanabilmektedir. Hataların daha sık ya da seyrek yapılmasında etkili olan faktörler bir sonraki başlıkta ele alınmıştır.

4.2.2. Öğretim seansları öncesi öğretmen adaylarının hata oranları ve bunların olası sebepleri

Ön-yazılı değerlendirmeler, öğretmen adaylarının açınım bölümü görevlerinde A1, A2, A3 ve A4 hatalarını, döndürme bölümü görevlerinde D1 ve D2 hatalarını, birinci yönelim bölümü görevlerinde Y1, Y2 ve Y3 hatalarını ve ikinci yönelim bölümü görevlerinde Y5, Y6 ve Y7 hatalarını sistematik olarak tekrarladıklarını göstermiştir. Ön-yazılı değerlendirme uzamsal görevleri boyunca sistematik olarak tekrarlanan hatalar, matematik öğretmen adaylarının uzamsal görevlerde ne derece zorlandıkları hakkında bilgi vermektedir. Çalışmada sistematik hatalardan yola çıkılarak hesaplanan katılımcı hata oranlarındaki artış ve azalışın öğretmen adaylarının uzamsal becerilerinden ziyade onların ön-bilgi ve deneyimleri ve görevlerin bir takım özellikleri ile bağlantılı olduğu bulunmuştur. Hata oranlarının artış ve azalışında etkili olan faktörler aşağıda yer alan alt başlıklar boyunca tartışılmıştır.

Görevlerin Bilişsel Talepleri:

Öğrencilerin görevi başarmak için kullanmaları gereken bilişsel süreçler görevin bilişsel talepleri olarak nitelendirilmektedir (Doyle, 1988, s. 170). Görevler bilişsel talepleri yüksek ve düşük olanlar şeklinde iki kategoride ele alınabilirler. Yüksek bilişsel talepli (ya da zorlayıcı) görevler, öğrencilerin açıklama, değerlendirme ve genelleme gibi süreçlere başvurmalarını ve matematiksel fikirlerle arasında bağlantı kurmalarını gerektirir (Stein, Grover, ve Henningsen, 1996). Oysa düşük bilişsel talepli görevler matematiksel fikirlerle bağlantı kurmayı gerektirmeksizin ezber ve yeniden türetme gibi rutin işlemler yoluyla gerçekleştirilebilirler (Stein, Grover, ve Henningsen, 1996). Öğretmen adaylarının ön-bilgi ve deneyime sahip oldukları, bilişsel talepleri yüksek

(karmaşıklık düzeyi fazla) uzamsal görevlerin çoğunda, bilişsel talepleri düşük (karmaşıklık düzeyi düşük) olanlarla karşılaştırıldığında oldukça yüksek oranda hata yaptıkları belirlenmiştir. Örneğin, açınım bölümü ikinci kategorisinde, birinci kategori ile karşılaştırıldığında oldukça yüksek oranlarda hata yapılmıştır. Benzer şekilde birinci yönelim bölümü, eğik yüzlere sahip karmaşık yapının farklı yönlerden görünüşünü çizme görevinde genel olarak, birim küplerden oluşan bütünleşik yapının farklı yönlerden görünüşünü çizmeye göre oldukça yüksek oranda hata yapılmıştır. Bu Henningsen ve Stein (1997) ve Adler ve Benbunan-Fich (2014) çalışmaları içerisinde vurguladıkları durumlarla benzerdir. Henningsen ve Stein (1997), rutin aktivitelerden ziyade yüksek düzey muhakeme içeren aktivite ve problem çözme ile uğraşmanın öğrenciler için daha fazla kişisel risk ve daha fazla belirsizlik içerdiğini belirtmiştir (s.526). Karmaşık görevlerin yüksek zihinsel iş yükü ürettiğine ve daha kolay uyarılmaya neden olduğuna dikkat çeken Adler ve Benbunan-Fich (2014) ise, düşük iş yükünde performansın, dikkatsizlik ve uyarı eksikliğinden dolayı düştüğünü, yüksek iş yükünde performansın aşırı yük ile baş etmenin bilişsel yetersizliğinden düştüğünü vurgulamıştır (s.3).

Ön-Bilgi ve Deneyimler:

Öğretmen adaylarının ön-bilgi ve deneyime sahip olmadıkları uzamsal görevlerde yüksek oranda, ön-bilgi ve deneyime sahip oldukları uzamsal görevlerde ise nispeten daha düşük oranlarda hatalar yaptıkları tespit edilmiştir. Bu durum Matsuda ve diğerlerinin çalışması ile benzerlik taşımaktadır. Matsuda ve diğerleri (2009), güçlü alan bilgisi ile karşılaştırıldığında, zayıf alan bilgisinin büyük olasılıkla hatalı sonuçlara neden olacağını belirtmişlerdir (s.1). Örneğin, öğretmen adayları aşina cisimlerin yüzey açınımları ile öğrenim hayatları boyunca karşılaştıklarından, onların yüzey açınımlarında eksik yüz çizme ya da yüzleri yanlış konumlandırma hatasını yapmadıkları ya da çok düşük oranda hata yaptıkları belirlenmiştir. Çünkü öğretmen adayları bu tür cisimlerin yüzeyini ezbere bir şekilde de olsa açabilmişlerdir. Oysa döndürme bölümü birinci ve ikinci kategori görevlerde öğretmen adaylarının hata oranlarının oldukça yüksek olduğu belirlenmiştir. Örneğin, döndürme bölümünde yer alan birinci kategori görevlerde %70.8 oranında D1 ve %79.2 oranında D2, ikinci kategori görevlerde ise %75 oranında D1 ve %89.1 oranında D2 hatası yapmışlardır. Öğretmen adayları 3B'li dik-koordinat sisteminde belirli bir konumda yer alan cismi, onun eksenleri etrafında belirli bir yön ve açıda döndürmeleri gereken görevlerle ilk kez karşılaşmışlardır, görevler onlar için yenidir ve bu tür görevleri doğru bir şekilde yerine getirmek için gerekli ön-bilgi ve

deneyime sahip değillerdir. Bu nedenle görevlerin karmaşıklık düzeyi düşük olsa bile döndürme görevleri hata oranları oldukça yüksek oranda seyretmiştir. Birinci yönelim bölümü uzamsal görevleri için durum açınım bölümüne benzerdir. Birinci yönelim bölümünde, birim küplü bütünleşik yapıların farklı yönlerden (ön/arka, sağ/sol ve üst/alt) görünüş çizimlerini yapma görevi öğretmen adaylarının ön bilgi ve deneyime sahip olduğu görev türleridir. Birim küplü bir yapının çoklu görünüşleri (ön/arka, sağ/sol ve üst/alt) ortaokul öğretim programı içerisinde yer almaktadır. Bu nedenle bu sorunun katılımcılar üzerinde yarattığı bilişsel yük diğer sorulardan daha düşük olmuş ve bu görevde birinci yönelim bölümünde yer alan diğer görevlere göre daha düşük oranda hata yapılmıştır. İkinci yönelim bölümü uzamsal görevleri için ise durum döndürme bölümündekine benzerdir. Yani görevin karmaşıklık derecesi ne olursa olsun, öğretmen adayları ikinci yönelim bölümündeki tüm görevlerde önceden ifade edilen hata profillerini sergilemişlerdir. Öğretmen adaylarının görevleri yapmak için yanlış stratejiler geliştirip uygulamaları sergilenen hata profillerinin nedenleri arasındadır. Örneğin, açınım ikinci kategori ön değerlendirme görevlerinde öğretmen adayları kombine cisimleri açarken, kombine edilen cisimleri ayrı ayrı açıp, kombine edilen açınımlara ait açınım örüntülerini ortak birer kenarla birleştirmişlerdir (açınım bölümü). Döndürme birinci kategori ön değerlendirme görevlerinde cismi belirli bir eksen etrafında döndürmek yerine, cismi eksenlerden tuttarak hareket ettirdiklerini hayal etmişlerdir. Bu durum Booth ve Koedinger'in (2008) araştırma sonuçları ile benzerlik taşımaktadır. Booth ve Koedinger, kavramsal bilgileri eksik ve hatalı olan öğrencilerin soruları çözmek için yanlış stratejilere başvurduklarını ve onları çözmede güçlük çektiklerini bulmuşlardır (s.575).

Görevlerin Bilişsel Yük Alanları:

Karmaşıklık derecesi yüksek olan uzamsal görevlerde yüksek oranda serilenen hata profilleri, karmaşıklık derecesi düşük olan görevlerde yüksek oranda sergilenen hata profillerinden farklı olabilmektedir. Örneğin, açınım bölümü birinci kategori görevlerde A2 ve A4 hatası, A1 ve A3'e göre daha yüksek oranda yapılırken, ikinci kategori görevlerde A3 ve A4 hatası, A1 ve A2'e göre daha yüksek oranda yapılmıştır. Benzer şekilde, birinci yönelim bölümünde, bütünleşik olmayan yapıya (2. Soru) farklı yönlerden bakma görevinde Y1 ve Y3 hatasının, eğrisel yüzlere sahip karmaşık yapıya sahip karmaşık yapıya farklı yönlerden bakma görevinde ise Y2 ve Y4 hatasının daha yüksek oranda sergilendiği bulunmuştur. Bu durum karmaşıklık düzeyi nispeten düşük ve yüksek

olan uzamsal görevlerin yoğun bilişsel yük yaratan alanlarının birbirinden farklı olması ile açıklanabilir. Örneğin, aşina cisimlerin yüzey açınımlarını çizme görevlerinde, açınıma yüzlerin geometrik özelliklerini yansıtma, konumlandırma ile karşılaştırıldığında çok daha fazla bilişsel yük yaratabilmektedir. Oysa, kombine cisimlerde, açınıma yüzleri doğru bir şekilde konumlandırma, onların geometrik özelliklerini yansıtmaktan çok daha fazla bilişsel yük yaratmıştır.

Bazı uzamsal görevlerin belirli çözüm adımlarında öğretmen adaylarının tamamının ya da çoğunluğunun benzer hataları yapabildikleri gözlenmiştir. Bu durum aynı görev içerisinde bilişsel yükün daha yoğun olduğu alanlar bulunduğuna işaret etmektedir. Örneğin, açınım görevleri boyunca eğik bir kenar üzerine belirli bir yüzü inşa etme öğretmen adaylarının bilişsel yükünü yatay ya da dikey bir kenar üzerine belirli bir yüzü inşa etmeye göre daha fazla arttırmıştır (açınım bölümü). İki eksende döndürülmüş bir cisme göre başka bir cismi döndürme görevlerinde, ilk ve ikinci cisme uygulanan ilk dönme hareketi sonrası oluşan ara görüntüyü hafızada tutma uzamsal görev boyunca öğretmen adaylarının bilişsel yükünün daha yüksek olduğu alanlar olmuştur (döndürme bölümü). Verilen yapıya farklı yönlerden bakma boyunca, yapıya ön-üst ve ön-alt taraflarından yönelme, sağ/sol ve ön/arka taraflarından yönelmeye göre öğretmen adaylarının bilişsel yükünde daha fazla artış yaratmıştır (yönelim bölümü). Bu durum Ayres'in (2001) çalışmasındaki ile benzerdir. Ayres'e göre bilişsel yük, oldukça basit görevler boyunca bile değişebilmektedir (s.246). Birinci yönelim bölümünden bir örnekle bu durum detaylandırılabilir. Öğretmen adaylarının, birinci yönelim bölümü ön-yazılı değerlendirme görevlerinde, yapının sağ ve ön taraftan görünüşlerini çizmede, sol, arka, üst ve alt görünüşlerini çizmeye göre daha az oranda hata yaptıkları belirlenmiştir. Çünkü sayfa düzlemi üzerinde yer alan yapının sağ, ön ve üst tarafları görünürdür, öğretmen adayları yapıya bu yönlerden baktıklarını düşündüklerinde onun hangi kısımlarının görüneceği hakkında fazla muhakemede bulunmak zorunda kalmamışlardır. Oysa yapının sol, arka ve alt tarafları görünür değildir ve yapıya bu taraflardan bakıldığında onun hangi kısımlarının görüneceğini belirlemek görevlerin bilişsel yükünü artırmıştır. Ayrıca, ön-yazılı değerlendirmede öğretmen adaylarının yapıya ön-üst ve ön-alt taraflarından yönelemeyerek genellikle Y4 hatası yaptıkları tespit edilmiştir. Yapıya sağ, sol, ön ve arka taraflarından yönelmek için görevde sunulan bir yön etiketinin dikkate alınması yeterliyken, üst ve alt taraflarından yapıya yönebilmek için iki yön etiketinin

aynı zamanda göz önünde bulundurulmasını gerektirmektedir. İki yön etiketini dikkate alma görevlerin bilişsel yükünü arttırarak hatalara neden olmuştur.

Karmaşıklık derecesi düşük olan bir görev boyunca bilişsel yükün kümelendiği yerleşim alanı daha az ve benzer bölgelerde, karmaşıklık derecesi fazla olan görevlerde bilişsel yükün kümelendiği alanlar daha fazla ve farklı bölgelerde olabilmektedir. Bu durum genel olarak öğretmen adaylarının uzamsal görevler boyunca sistematik olarak tekrarladıkları hataların artmasına neden olmuştur. Örneğin, eğik kenarlar üzerine inşa edilmesi gereken yüz sayısının fazla olduğu açınım görevlerinde bilişsel yükün yerleşim alanı daha fazladır. İki eksende döndürülmüş bir cisme göre başka bir cismi döndürme görevi iki ara görüntü içerirken, tek eksende döndürülmüş bir cisme göre başka bir cismi döndürme görevi ara görüntü içermemektedir. Bu ise bahsedilen ilk dönme görevinde bilişsel yükün kümelendiği alanın daha fazla olması anlamına gelmektedir. Bu görevlerden farklı olarak, eğik yüzlere sahip karmaşık bir yapı hem bakış yönünden nasıl görüneceği hem de bakış yönünden nerede görüneceği hakkında düşünülmesi gereken daha fazla yapı parçası içerir. Böylesi bir durumda sadece yapının eğik kısımları değil, girintili çıkıntılı kısımları da bilişsel yükün olası yerleşim alanlarıdır. Bilişsel yükün yerleşim alanlarında, öğretmen adaylarının hata yapma olasılığının arttığı belirlenmiştir. Ayres (2001) çalışmasında, hata kümelerinin, yüksek bilişsel yükün olası yerleşim alanları olarak kullanılabileceğini vurgulamıştır (s.216).

Hata Oranları ve Uzamsal Becerilerin Göstergesi Olarak PSVT Puanları:

Öğretmen adaylarının PSVT puanları ile yazılı değerlendirme hata oranları arasında anlamlı bir ilişkinin olmadığı belirlenmiştir. Çünkü öğretmen adaylarının PSVT puanları göz önünde bulundurulduğunda, uzamsal becerileri en gelişmiş olan katılımcının Melis, en zayıf olanların ise Tuğçe ve Pınar olduğu söylenebilir. Fakat yazılı değerlendirme görevlerinde, Tuğçe ve Melis'in diğer iki katılımcı ile karşılaştırıldığında daha düşük oranda hata yaptıkları belirlenmiştir. Yani Tuğçe PSVT'de düşük performans sergilemesine rağmen, yazılı değerlendirmede Özge ve Pınar'dan biraz daha iyi bir performans sergilemiştir.

Öğretmen adaylarının açınım, döndürme ve yönelim bölümü PSVT puanları ile açınım, döndürme ve yönelim bölümü yazılı değerlendirme görevleri hata oranları arasında anlamlı bir ilişki bulunamamıştır. Melis, PSVT'nin açınım ve döndürme bölümlerinin her ikisinde de iyi bir performans sergilerken, Pınar sadece döndürme, Özge ise sadece açınım bölümünde iyi bir performans sergilemiştir. Tuğçe'nin ise PSVT hiç

bir bölümünde iyi bir performans sergilemediği belirlenmiştir. Ayrıca dört öğretmen adayı da PSVT yönelim bölümünde düşük performas göstermişlerdir. Öğretmen adaylarının yazılı değerlendirme görevlerindeki hata oranları ise şu şekildedir: Açınım ve döndürme bölümü birinci kategori yazılı değerlendirme görevlerinde Tuğçe ve Melis, Pınar ve Özge ile karşılaştırıldığında daha düşük oranda hata yapmıştır. Birinci yönelim bölümü yazılı değerlendirme görevlerinde de en düşük oranda hata yapan katılımcı Tuğçe olmuştur. Öğretmen adaylarının ikinci yönelim bölümü hata oranlarının ise oldukça yüksek oranda seyrettiği belirlenmiştir.

Öğretmen adayları PSVT'nin belirli bölümlerinde iyi bir performans sergilemiş olsalar bile, PSVT ile benzer soruları içeren yazılı değerlendirme görevlerinden aynı performansı yakalayamamışlardır.

Hata oranlarındaki artış öğretmen adaylarının sunulan bir görevi zor buldukları anlamına gelmeyebilir. O zaman, öğretmen adaylarının sunulan bir görevi zor ya da basit olarak nitelendirmesinde etkili olan faktörler nelerdir?

4.2.3. Öğretim seansları öncesi görevlerin algılanan zorluğunda etkili olan faktörler

Görevi hazırlayan kişiler öğrenenlerin ön bilgileri, deneyimleri, muhakeme becerileri, yetenekleri gibi birçok değişkeni göz önünde bulundurarak, sunulacak görevin nesnel karmaşıklığı üzerine müdahale edebilirler. Böylece nesnel olarak karmaşıklık derecesi yüksek ve düşük görevler hazırlanabilir. Fakat bir görev, nesnel karmaşıklığı düşük de olsa bir öğrenci tarafından zor olarak algılanabilmektedir. Bu görevin öznel karmaşıklığı ile ilgilidir. Nesnel karmaşıklığı aşamalı olarak arttırılmış uzamsal görevlerin matematik öğretmen adayları tarafından nispeten zor ya da kolay bulunmasında çeşitli faktörlerin etkili olduğu belirlenmiştir. Bilişsel yükün anahtar bir belirleyicisi görevin zorluk derecesidir ve görevin zorluğu görevin karmaşıklığının nesnel bir ölçümü ya da karmaşıklığın öznel bir algısı yoluyla değerlendirilebilir (Maynard ve Hakel, 1997, Adler ve Benbunan-Fich, 2014, s.2). Uzamsal görevlerin algılanan zorluğunda etkili olan faktörler aşağıda yer alt başlıklar boyunca tartışılmıştır:

Görevlerin Nesnel Karmaşıklığı:

Çalışmada, öğretmen adaylarının genel olarak nesnel karmaşıklığı nispeten daha yüksek olan görevleri, nesnel karmaşıklığı nispeten daha düşük olanlardan daha zor buldukları sonucuna varılmıştır. Bu sonuç, Liu ve Li'nin (2012) düşünceleri tarafından desteklenmektedir. Liu ve Li (2012), zor bir görevin karmaşık olması gerekmediğini,

fakat karmaşık bir görevin büyük olasılıkla zor olacağını belirtmiştir (s.558). Açınım, döndürme ve yönelim bölümü katılımcı derecelendirme puanları ile bu durum örneklendirilebilir. Açınım bölümü ön-görüşme ikinci kategori görevlerin algılanan zorluğu (ortalama yaklaşık 8.2 puan) birinci kategori görevlerden (ortalama yaklaşık 2.9 puan) fazla olmuştur. Bu durumun döndürme bölümü birinci (ortalama yaklaşık 3.62 puan) ve ikinci kategori (ortalama yaklaşık 8.31 puan) görevleri için de benzer olduğu belirlenmiştir. Birinci yönelim bölümü görevleri birinci ve ikinci kategori olarak ayrıştırılmasa da, birim küplü bütünleşik yapıların algılanan zorluğunun (ortalama yaklaşık 4.88 puan) diğerlerinden daha az, eğik ya da eğrisel karmaşık yapıların algılanan zorluğunun (sırayla ortalama 8.08 ve 8.04 puan) ise diğerlerinden daha fazla olduğu belirlenmiştir. Bu bulgu Schmeck ve diğerlerinin ki ile benzerdir. Schmeck ve diğerleri (2015), öge etkileşimini artırırak bilişsel yüklerini artırdıkları altı problemi lisans öğrencilerinden cevaplamalarını istemişlerdir. Performans verileri problemler daha karmaşık hale geldikçe, lisans öğrencileri tarafından gerçekten daha ve daha zor olarak algılandıkları belirlenmiştir. Ayrıca onların problemleri yanıtlamak için daha ve daha fazla çaba sarf ettikleri bulunmuştur (s. 98-99).

Aşina Olunmayan Görevler:

Öğretmen adaylarının aşina olunmayan görevlerle karşılaştıklarında, görevin nesnel karmaşıklık düzeyi ne olursa olsun, onu çok zor bulabildikleri belirlenmiştir. Örneğin, ikinci yönelim bölümünde, küp içerisinde yer alan iç bükey prizmaya bakma görevleri de, kombine cisimlere bakma görevleri de öğretmen adayları tarafından çok zor bulunmuştur. Bu durum Gill ve Murphy'nin (2011) çalışması ile benzerdir. Gill ve Murphy göre, görevin aşina olmaması, göreve özel bilginin eksikliğini temsil etmektedir. Bu tür durumlarda, öğrenciler genel bilgi ve analoji gibi güvenilir olmayan tekniklere başvurmaktadırlar. Çünkü aşina olunmayan işlemler çalışan belleğe ağır yük bindirme eğilimindedir (Willingham, 2009), bu ise görevi yapan kişinin onu zor olarak algılamasına neden olmaktadır. Gill ve Murphy, aşina olunmama ve zorluk arasındaki ilişkinin kusurlu olduğunu vurgulamaktadırlar (s.1). Oysa aşina olunan görevler için durum tam tersidir. Örneğin, açınım bölümü birinci kategoride yer alan cisimlerin çoğu katılımcıların aşina olduğu türdendir. İlkokul matematik derslerinde küp ve dikdörtgenler prizması gibi basit cisimlerin yüzey açınımları el işi kağıtlarından ya da fon kartonlarından öğrencilere kestirilmekte, ortaokul ve lise yıllarında öğrencilerin katı cisimlerin yüzey alanlarını hesaplamada ya da onların alan formüllerini elde etmede

çeşitli prizma ve piramitlerin yüzey açınımları kullanılmaktadır. Benzer şekilde öğretmen adaylarının çoğu birim küplü bütünleşik yapıların farklı yönlerden görünüş çizimlerini yapma görevleri ile ilgili deneyimlere sahiptirler çünkü bir yapının çoklu görünüşleri orta okul öğretim programı içerisinde yer almaktadır. Yani açınım ve yönelim bölümünde yer alan görevlerin öğretmen adaylarına aşina gelmesi, bu görevlerin algılanan ortalama zorluğunu düşürmüştür.

Uzamsal görevlerde bilgi sahibi olmayan öğretmen adaylarının görevlerin zorluğu ile ilgili gerçekçi olmayan değerlendirmelerde bulunabildikleri belirlenmiştir. Örneğin, Özge, ortaokul ve lise yıllarında resim derslerinde perspektif konusunu gördüğünü, fakat matematik ve geometri derslerinde bir yapının farklı yönlerden görünüşünü hiç çizmediğini belirtmiştir. Ön-yazılı değerlendirme birinci yönelim bölümünde yer alan görevlerin karmaşıklık derecesi fazla da olsa, az da olsa, bu konu ile ilgili ön bilgi ve deneyime sahip olmadığı için görevleri çok bulduğunu gösteren derecelendirmeler yapmıştır. Özge'nin birinci yönelim bölümü soruların algılanan zorluğu ile ilgili derecelendirme puanları ortalama yaklaşık 7.67 ile 9 puan aralığında değişmektedir. Bu sonuç Ayres'in (2006b) araştırması içinde belirttiği durumla benzerdir. Ayres (2006b) çalışmasında, daha az bilgi sahibi grubun görevlerle ilgili daha gerçekçi olmayan değerlendirmeler yapabildiklerine dikkat çekmiştir.

Aşina olunmayan görevlerin zor olarak algılanabileceği düşüncesine katılmakla birlikte, çalışma kapsamında bu durumun her zaman doğru olmadığı gözlenmiştir. Öğretmen adayları uzamsal görevleri doğru bir şekilde yapmasalar bile, görevleri anladıklarını, onları yapmak için doğru bir strateji geliştirdikleri ve/veya geliştirdikleri stratejilere doğru bir şekilde uyguladıklarını düşündüklerinde, onların algılanan zorluğu ile ilgili derecelendirme puanlarını düşük tutabildikleri belirlenmiştir. Örneğin, açınım bölümü birinci kategori görevlerde, cisimlerin yüzeyini açmak için bir strateji geliştirmenin doğru açınımı üreteceğini düşünmüşler ve zihinlerinde bir açma stratejisi geliştirdikleri görevleri diğerlerinden daha basit bulduklarını gösteren puanlamalar yapmışlardır. Bu durum döndürme bölümü birinci kategori görevleri için de benzerdir. Öğretmen adaylarının döndürme bölümü birinci kategori görevlerini doğru bir şekilde yapmak için gerekli kavram şemalarına sahip olmadıkları gözlenmiştir. Öğretmen adayları, cisimlerin hangi eksen, yön ve açıda döndürüldüğünü belirleyemeseler de onlara uygulanan dönme hareketlerini çoğunlukla sezmiş ve bu nedenle onları basit bulduklarını gösteren puanlamalar yapmışlardır.

Öğretmen adayları ezbere bir şekilde yapabildikleri uzamsal görevleri, yüksek matematiksel düşünme gerektiren problemlerden daha kolay bulmuşlardır. Öğrencilerin matematik hakkındaki inançları yeni matematiksel deneyimlere yaklaşımlarını etkilemektedir (Spangler, 1992, s.19). Öğretmen adayları uzamsal görevlerin sadece bir çözüm yolu olduğunu düşünebilmekte ve görevleri ne zaman gördüklerini ve onunla baş etmek için nasıl bir strateji uyguladıklarını hatırlamaya çalışabilmektedirler. Bu duruma örnek olarak, son görüşmeler sırasında öğretmen adaylarından bir tanesinin cisimlerin önceden sadece bir yüzey açınımı olduğuna inandığı ile ilgili açıklamaları verilebilir. Öğretmen adaylarının inançları, görevlere yaklaşımlarını etkilemektedir. Spanger'in (1992) çalışması bunu desteklemektedir. Spanger'e göre çoğu öğrenci bir problemi çözmek için onun birden fazla çözümü olduğunu hatırlamak zorunda değildir, bu nedenle onu çözmek için bir metot bulmayı tercih ettiklerini belitmektedirler. Öğrenciler tarafından verilen bu tür bir yanıtı Spanger, 'öğrencilerin ezberlemeyi matematik öğrenmede önemli bir bileşen olarak algıladıkları (s.20)' şeklinde yorumlamıştır.

Görsel İpuçları:

Ön-yazılı değerlendirme uzamsal görevlerinde gömülü olan görsel ipuçlarının kolay ulaşılabilir olması, öğretmen adayları tarafından algılanan zorluğu azaltmada etkili olmuştur. Örneğin, verilen bir yapının sağ görünüşünü çizme görevi öğretmen adayları tarafından diğer bakış yönlerine göre daha kolay bulunmuştur. Çünkü kâğıt üzerinde yer alan yapının sağ tarafı görünürdür ve yapının sağ görünüşünü çizmek için bir katılımcının yapıya kendini yönlendirmesi gerekmemektedir.

Görevlerin Bilişsel Yük Alanları:

Uzamsal görevlerin bilişsel yük yaratan alanlarında azalma görevlerin öğretmen adayları tarafından algılanan zorluğunun azalmasını sağladığı, bilişsel yük yaratan alanlarının artmasının ise görevlerin algılanan zorlunun artması yönünde etkili olduğu belirlenmiştir. Örneğin, birinci yönelim bölümü ön-yazılı değerlendirmede sunulan yapıların alt taraflarının genellikle düzlemsel olması, verilen yapıların alt görünüşünü çizme görevlerinin çoğunun öğretmen adayları tarafından diğer bakış yönlerine göre daha kolay bulunmasına neden olmuştur. Oysa öğretim seanslarında öğretmen adaylarının genel olarak yapıya ön-üst ya da ön-alt tarafından bakma görevlerini diğer bakış yönlerinden daha zor bulduğu gözlenmiştir. Bakış yönünden yapının girintili-çıkıntılı bir yapıya sahip olması ve yapıya belirli yönlerden bakıldığında 3B'li bir görünüş elde edileceğini düşünme görevlerin algılanan zorluğunda artış meydana getirirken, bakılan

yönden yapının görünen kısmının düzlemsel bir şekle sahip olması ise bilişsel yükü, dolayısı ile görevlerin algılanan zorluğunu azaltmıştır.

Beceri Eksikleri ve Yetersizlikler:

Öğretmen adayları uzamsal bir görevi anlamadıkları, onu yapmak için bir strateji geliştiremedikleri ve onu yapmak için gerekli becerilere sahip olmadıkları zaman onu zor olarak nitelendirebildikleri gözlenmiştir. Bu durum Tambychik ve Meerah'ın (2010) çalışması ile benzerlik taşımaktadır. Tambychik ve Meerah çalışmalarında, öğrencilerin matematik problemlerini çözme zorluklarının matematik becerilerindeki eksiklik ve bilişsel yetersizlikleri ile ilişkili olduğunu bulmuştur. Görsel uzamsal beceri eksiliği (Garderen, 2006; Tambychik ve Meerah, 2010), problem ve matematik kavramları arasında bağlantı kuramama, bilgiyi matematiksel bilgiye dönüştürememe (Garnett, 1998; Nathan vd., 2002) ile hatırlama, hafızaya geri çağırma ve algılamadaki (Tambychik ve Meerah, 2010) sorunlar, görevlerin algılanan zorluğunda etkilidir. Örneğin, cisimlerin yüzeyini nasıl açacacağı ile ilgili bir strateji geliştirememe (genellikle kombine cisimlerde), yapı ya da cismin görsel olarak karmaşık gelmesi (eğik ya da eğrisel yüzlere sahip olma, girintili çıkıntılı olma gibi), yapıya görevde belirtilen şekilde yönelememe, cisme zihninde belirli bir dönme hareketi uyguladıktan sonra elde edilen görüntüyü ona ikinci dönme hareketini uygulayacak kadar hafızasında tutumama uzamsal görevlerin öğretmen adayları tarafından zor olarak nitelendirilmesine neden olmuştur.Bu durum Maynard ve Hakel'in (1997) çalışması ile benzerdir. Maynard ve Hakel (1997) çalışmalarında, görevlerin yüksek karmaşıklığı ve öğrenenlerin düşük bilişsel yeteneklerinin, görevlerin karmaşık olarak algılanmasına neden olduğunu belirtmişlerdir. Görevlerin karmaşık olarak algılanması öğrencilerin görev performansını düşürmektedir, yani görev son derece karmaşıksa ya da karmaşıklık-basitlik algısına bakılmaksızın görevi yerine getiren kişi çok düşük bilişsel yeteneğe sahipse, performans düşük olacaktır (Maynard ve Hakel, 1997, s.324). Görevlerin nesnel ve öznel karmaşıklığının birbirinden farklı iki kavram olduğunu ve ikisinin de performans üzerinde etkili olduğunu belirten Maynard ve Hakel (1997), karmaşıklığın sadece görevin nesnel karmaşıklığı ile belirlenemeyeceğine, bireyin bilişsel yetenekleri ve görevi yaparken ki motivasyonun da göz önünde bulundurulması gerektiğine dikkat çekmiştir (s.324).

Hata Oranları ve Algılanan Zorluk Arasındaki İlişki:

Çalışmada, görevlerin nesnel karmaşıklık düzeyi ile öğretmen adaylarının ortalama hata oranları ve görevlerin algılanan zorluğu ile ilgili ortalama derecelendirme

puanlarının genel olarak bağlantılı olduğu belirlenmiştir. Örneğin, öğretmen adaylarının açınım bölümü birinci kategori görevlerdeki ortalama hata oranları (A1: %6.3, A2: %33, A3: %9.6 ve %47.1), ikinci kategori görevlerdeki hata oranlarından (A1: %44.1, A2: %50.65, A3: %71.55 ve %93.05) daha düşük olmuştur. Benzer şekilde açınım bölümü birinci kategori görevlerinin öğretmen adayları tarafından algılanan ortalama zorluğu (ortalama yaklaşık 2.9 puan), ikinci kategori görevlerden (ortalama yaklaşık 8.2 puan) daha düşük olmuştur. Döndürme bölümü ile birinci ve ikinci yönelim bölümü uzamsal görevleri için de benzer örnekler verilebilir.

Öğretmen adaylarının performansları ile görevlerin zorluğu ile ilgili derecelendirme puanları arasında anlamlı bir ilişkinin olmadığı belirlenmiştir. Örneğin, Tuğçe ve Melis açınım bölümü birinci ve ikinci kategori görevlerinde en az hata oranlarına sahip olan iki katılımcıdır. Fakat açınım bölümü birinci kategori görevleri ile ilgili derecelendirme puanları en yüksek olan iki katılımcı Tuğçe ve Pınar, ikinci kategori görevleri ile ilgili derelendirme puanları en yüksek olan iki katılımcı ise Pınar ve Özge olmuştur. Döndürme ve yönelim bölümü görevleri için de genel olarak benzer şeyler söylenebilir.

Yukarıda yer alan başlıklar boyunca öğretmen adaylarının uzamsal zorluk nedenleri, hata oranlarındaki artış ve azalışta etkili olan faktörler ve görevlerin algılanan zorluğunda etkili olan faktörler belirlenmiş ve ortaya çıkarılmıştır. Öğretmen adaylarının uzamsal zorluk, hata oranları ve görevleri ne derece zor bulduklarını göz önünde bulunduran bir öğretimin etkileri aşağıda yer alan iki alt başlık boyunca tartışılmıştır.

4.2.4. Katılımcı bilişsel yüklerinin göz önünde bulundurulduğu öğrenme ortamının uzamsal becerilerin gelişimi üzerine etkisi

Uzamsal görevlerin matematik öğretmen adayları üzerinde yarattığı bilişsel yük miktarları göz önünde bulundurularak gerçekleştirilen öğretimin, onların uzamsal becerilerini geliştirmede etkili olduğu belirlenmiştir. Bilişsel yük teorisi baz alınarak yapılan çalışmalar öğrenenlerin materyalden kaynaklanan konu dışı yüklerini azaltarak (çözülmüş örneklerden yararlanma, yazı ve şekilleri ekran üzerinden yaymak yerine bütünleştirme gibi) (örneğin, Atkinson vd., 2000; Jang, Schunn ve Nokes, 2011), asıl bilişsel yüklerini yöneterek (ön bilgilere odaklanma, parça-bütün ilişkisini göz önünde bulundurma, basitleştirme, basitten karmaşığa doğru ilerleme gibi) (Van Merrienboer, Kester ve Paas, 2006; Wetzels, Kester ve Van Merrienboer, 2011) ya da etkili yüklerini

teşvik ederek (zihinde canlandırma, bireysel açıklamalar gibi) (Cooper vd., 2001; Ginns, Chandler ve Sweller, 2003; Lin vd., 2016) gerçekleştirilen öğretimin onların çalışan bellek kapasitelerini verimli bir şekilde kullanmalarını sağlayarak öğrenme süreçlerini olumlu yönde etkilediğini göstermektedir. Matematik öğretmen adaylarının uzamsal becerilerinin gelişmesinde etkili olan faktörler aşağıda yer alan alt başlıklar boyunca tartışılmıştır.

Basitten Karmaşığa Yaklaşımının Etkisi:

Öğrenme görevlerinin basitten karmaşığa doğru ardışık olarak ilerleyen bir sıra halinde sunulması, karşılaşılan uzamsal görevlerde matematik öğretmen adaylarının özümseme ve düzenleme süreçlerini etkili bir şekilde kullanmalarına yardımcı olarak, onların mevcut şema gelişimlerini ve yeni şema edinimlerini desteklemiştir. Van Merrienboer, Kirschner ve Kester (2003), bir eğitim ya da kursa karmaşıklık düzeyi yüksek öğrenme görevleri ile başlamanın öğrenci öğrenme, performans ve motivasyonlarını olumsuz yönde etkilediğini belirterek, bu duruma öğrenci çalışmalarına nispeten basit öğrenme görevleri ile başlanılması ve daha karmaşık olan görevlere doğru ilerlenmesi şeklinde bir çözüm getirmektedir (s.6).

Basit bir uzamsal görevde bile nelerin verilip nelerin istendiğini anlamama, onu yapma için gerekli kavram bilgisine ya da gerekli becerilere sahip olmama ya da mevcut bilgi ve becerilerin yeni karşılaşılan durumlara transfer edilememesi hatalar ile sonuçlanmıştır. Basit uzamsal görevlerin, karmaşık olanlara göre daha az öge ve etkileşimli ögeye sahip olmaları, öğretmen adaylarının çalışan belleklerinin daha az bilişsel yüke maruz kalmasına neden olmuştur. Oysa öğrenmenin meydana gelmesi çalışan bellek yükünün optimum seviyeye getirilmesi ile mümkündür. Basit uzamsal görevlerde öğretmen adaylarının materyallerin geometrik ve analitik yönlerine odaklanmalarını sağlamak kavram oluşumlarını ve beceri gelişimlerini desteklemiş ve etkili yüklerinde artışa neden olmuştur. Yani öğretmen adaylarının etkili yükleri artırılarak, öğrenmenin gerçekleşmesi sağlanmıştır. Böylece matematik öğretmen adayları mevcut kavram bilgilerini ve becerilerini yeni durumlar içinde kullanabilmişler, uzamsal görevlerle ilgili yeni kavramlar edinmişler, ayrıca çizim ve uzamsal becerileri gelişmiştir. Başka bir deyişle, açınım, döndürme ve yönelim bölümü öğretim seanslarının her birine nispeten basit uzamsal görevlerle başlanılması, öğretmen adaylarının temeldeki eksiklerinin öğretimin başında tedavi edilmesine imkân sağlamıştır. Yetersiz ve parçalanmış ön-bilgi dikkate alınması gereken önemli bir konudur, çünkü öğretmenlerin

öğrencilerden bekledikleri bilgi ile onların gerçek bilgi tabanı arasındaki uyumsuzluk belki de çalışmanın başlangıcında öğrenme için bir engel oluşturur (Hailikari, Katajavuori ve Lindblom-Ylanne, 2008, s.1). Uzamsal görevlerle ilgili temeldeki eksikliklerin giderilmesi, nispeten daha karmaşık görevlerle karşılaşıldığında görevi anlamama ya da temel bilgi ve beceri eksikliklerine dayalı olarak yapılan hataların yapılmaması ya da çok daha düşük oranda yapılması ile sonuçlanmıştır.

Öğretim seansları boyunca matematik öğretmen adaylarına uzamsal görevler sunulup, onlar uzamsal görevleri tamamladıktan sonra Cabri3D'e ve yönlendirmelere başvurulması, onların hatalı düşünme yollarını kendi çabalarıyla bulmalarını sağlamıştır. Bu sayede öğretmen adayları yeni uzamsal bilgi ile ön bilgilerini ilişkilendirerek yeni bilgiler edinmişlerdir. Her bir bölümün ilk öğretim seansında, basit bir uzamsal görevden sonra karmaşıklık derecesi aşamalı olarak arttırılmış uzamsal görevler kullanılması, katılımcıların bir önceki öğrenmelerini özümsemelerini sağlamıştır. Ayrıca araştırmacı katılımcının uzamsal görevler boyunca bir önceki öğrenmelerini ne derece kullanabildiğini değerlendirebilmiştir. Her bir bölümde ilk öğretim seansından sonra katılımcı kazanımları dikkate alınarak, ikinci seansa geçilmesi, bunu üçüncü ve dördüncü seansın takip etmesi, öğretmen adaylarının hatalara neden olan belirli davranış kalıplarının sönmesini, karmaşıklık düzeyi fazla ve onların çok zor olarak nitelendirdikleri görevlerde bile nispeten daha düşük oranda hatalar yapılmasını sağlamıştır. Her bir bölümle ilgili aşamalı olarak ilerleyen seanslar öğrencilerin mevcut şemalarında değişiklikler yaparak yeni şemalar edinmelerine olanak tanımıştır. Bu çalışma kapsamında öğretmen adaylarının mevcut şemaları ile uzamsal görevlerin gereklerini karşılayabildikleri durumlarda yeni karşılaştıkları bilgiyi özümsemeleri, mevcut şemalarının yetersiz kaldığı durumlarda, yeni karşılaştıkları bilgileri düzenleyerek eski şemalarını yeni şemalar ile değiştirebilmeleri, Piaget'in (1970) 'Bilişsel Gelişim Teorisi' ile benzerlik taşır. Piaget'e göre bireyin zihni dengede kalma eğilimindedir, öğrenenlerin yeni bilgi ile karşılaşmaları bu dengenin bozulmasına neden olur. Öğrenenler ön bilgi ve deneyimleri ile yeni karşılaştıkları bilgi arasında bir denge kurmaya çalışırlar. Bu dengeye ise özümseme ya da düzenleme süreçleri sonunda ulaşılabilir. Özümseme evrimleşmiş ya da tamamlanmış yapılara (şemalara) dış ögelerin entegre edilmesiyken, düzenleme özümsenen ögeler tarafından özümseyici şema ya da yapıda meydana gelen herhangi bir modifikasyondur (Piaget, 1970, s. 706-708). Öğrenme, yeni bilginin mevcut şema ile bütünleştirilerek özümsenmesiyle ya da yeni

bilgiye göre mevcut şemada değişiklik yapılıp yeni şemanın oluşturulması (düzenleme) ile gerçekleşir. Özümseme ile yapıların sürekliliği ve yeni ögelerin yapılara entegrasyonu sağlanırken (Piaget, 1970, s. 707), düzenleme yeni karşılaşılan ögelerin bir işlevi olarak yapısal dönüşüme, yapısal değişime olanak tanıması bakımından gereklidir (Block, 1982, s.282). Öğrenme için dengeye gereksinim vardır, dengeye ise özümseme ya da düzenleme süreçlerinin etkileşimi ile ulaşılabilir.

Hedefte Serbestlik Etkisi (Goal- Free Effect):

Verilen bir cismin yüzey açınımını yapma, döndürülmüş bir cismin hangi eksen, yön ve açıda döndürüldüğünü belirleme ya da bir yapının (cismin) belirli bir yönden (bakış noktasından) görünüşünü oluşturma gibi öğrenen yaklaşımlarına özgürlük tanıyan görev türleri hedefte serbestlik etkisi yaratan görevler (Örneğin, Bkz., Sweller, Ayres ve Kalyuga, 2011; Maulidya, Hasanah ve Retnowati, 2017) olarak nitelendirilmektedir. Örneğin, verilen bir küpün yüzeyini açmak için, yan yüzlerini doğrudan taban etrafına açma stratejisi ya da küpün belirlenen üç yan yüzünü diğer yan yüze açtıktan sonra onları bu yan yüz aracılığı ile tabana açma stratejisi kullanılabilir. Cisim ve onun x-ekseninde saat yönünde 90 derece döndürülmesi sonucu oluşan görüntüsü verilip, ona uygulanan dönme hareketinin bulunması istendiğinde deneme-yanılma yöntemine ya da cismin yüzlerinin konumlarında meydana gelen değişime başvurulabilir. Birim küplü bir yapının sol görünüşünü çizme görevinde, yapının sağına geçtiğini hayal etme ya da sağ görünüş ve sol görünüş arasındaki simetri ilişkisinden yararlanma yaklaşımı tercih edilebilir. Benzer şekilde küp ortasındaki bir cisme küpün köşe noktalarından bakma görevinde küpü döndürdüğünü düşünerek ya da küpün köşe noktasında bulunduğunu hayal ederek cismin görünüşünü ifade etme yoluna başvurulabilir. Hedefte serbestlik etkisini sahip problemlerle çalışmak matematik öğretmen adaylarına kendi stratejilerini seçme, uzamsal görevleri farklı yollar ve bakış açıları ile ele alma imkânı sağlamıştır. Bu problem türleri ile matematik öğretmen adayları görevle ilgili ön bilgi, deneyim ve kavram şemalarına daha hızlı ve kapsamlı bir şekilde ulaşabilmişlerdir. Geleneksel bir problemi çözmek için daha fazla bilişsel kaynağa gereksinim duyulurken, hedefte serbestlik etkisine sahip bir problemi çözmek için nispeten daha az bilişsel kaynağa gereksinim duyulmaktadır, ayrıca geleneksel yaklaşımda öğrenen daha az bilişsel kaynağa erişebilirken, hedefte serbestlik yaklaşımında daha fazla kaynağa ulaşabilmektedir, bu özellik hedefte serbestlik yaklaşımını geleneksel yaklaşımdan üstün kılmaktadır (Sweller, Ayres ve Kalyuga, 2011, s.90). Hedefte serbestlik etkisine sahip problemlerin matematik öğretmen adaylarının

uzamsal görevlere yaklaşımlarını, uzamsal becerilerinin gelişimini ve uzamsal görevleri yaparken ki performanslarını olumlu yönde etkilediği belirlenmiştir. Hedefte serbestlik etkisine sahip problemlerin öğrenenlerin geometri performanslarını arttırdığı literatür tarafından desteklenmektedir (Örneğin, Ayres, 1998; Bobis, Sweller, ve Cooper, 1994).

Hedefte serbestlik etkisi, problemin çözümü için strateji geliştirme süreçlerinde ve geliştirilen strateji uygulama aşamasında matematik öğretmen adaylarına esneklik sağlamıştır. Bilişsel esneklik "kişinin bilgisini, birçok açıdan, köklü olarak değişen durumsal taleplere uyarlanabilir yanıt olarak kendiliğinden yeniden yapılandırması" (Spiro ve Jehng, 1990, s. 165) için kabiliyet olarak ifade edilebilir. Cabri3D öğretim seanslarında yer alan uzamsal görevlerde öğretmen adaylarının kendilerine nispeten daha kolay gelen stratejilere başvurmaları nispeten daha az oranda hata yapmalarına, daha zor gelen stratejilere başvurmaları ise nispeten daha fazla hata yapmalarına yol açmıştır. Matematik öğretmen adaylarının hata oranlarındaki azalma ile uzamsal görevlerde hedefte serbestlik etkisine sahip problemlerden yararlanma arasında bağlantı olduğu düşünülmektedir. Owen ve Sweller (1985) çalışmasında öğrenmede hedefte serbestlik etkisine sahip problemlerden yararlanmanın hata oranlarında önemli oranda azalma meydana getirdiğini gözlemlemiştir. Ayres ve Sweller (1990) ve Ayres (1993) çalışmalarında geleneksel problemlerle uğraşan öğrenciler ile karşılaştırıldığında hedefte serbestlik etkisine sahip problemlerle uğraşan öğrenci grubunun daha az hata yaptıkları sonucuna ulaşmışlardır. Stratejiyi uygularken takip edilen adımlarda değişiklik yapma yeni stratejilerin geliştirilmesinde etkili olmuş ve yeni öğrenmeler meydana gelmiştir. Örneğin, matematik öğretmen adayları verilen cismin açınımını yapmadan önce, zihinlerinde canlandırdıkları açınım stratejisini tarif etmişlerdir. Açınım çizimlerini yaparken, bazı yüzleri tarif ettikleri şekilde konumlandırmak zor gelmiştir. Böyle bir durumda, o yüzleri nasıl daha kolay konumlandırabileceklerini düşünmüşlerse, o şekilde konumlandırmışlardır. Öğretmen adayları açınım çizimlerini yaptıktan sonra, cismin yüzeyini nasıl açtıkları sorulduğunda, açınım çizimlerini doğrulayacak başka bir stratejiden bahsettikleri gözlenmiştir. Bu durum onların eski stratejileri üzerinde birtakım düzenlemeler yaparak yeni bir strateji geliştirdikleri anlamına gelmektedir. Genel olarak ifade etmek gerekirse, hedefte serbestlik etkisine sahip problemlerde belirlenen stratejinin uygulanması aşamasında, önceden takip edileceği ifade edilen adımlarda değişiklik yapma, farklı stratejilerin geliştirilmesine yol açmıştır. Araştırmamız Maulidya, Hasanah ve Retnowati'nin (2017) çalışmasını doğrulamaktadır. Maulidya ve diğerlerine göre

hedefte serbestlik etkisine sahip problemler, öğrencilerin problemleri esnek bir şekilde çözmelerine yardımcı olmakta ve böylece onların problem çözme becerilerini geliştirmektedir (s.1). Hedefte serbestlik etkisine sahip problemler matematik öğretmen adaylarının eski şemaları üzerine yenilerini inşa etmelerini olanaklı kılmıştır. Sweller (1988), problem çözme ve şema edinimi için gerekli bilişsel mekanizmaların önemli ölçüde farklı olduğuna dikkat çekerek, geleneksel problemleri çözme için gerekli bilişsel çabanın şema edinimine yardımcı olmadığını belirtmektedir (s.234). Sweller, hedefte serbestlik etkisine sahip problemlerin şema edinimini kolaylaştırdığına dikkat çekerek (s.263), şema ediniminin problem çözmede uzmanlığın en önemli bileşeni olduğuna vurgu yapmıştır (s.284).

Çözülmüş Örneklerin Etkisi:

Çözülmüş örnekler, öğrencilerin bir problemin çözümünün bütün adımlarını, sıralı bir şekilde incelemelerine imkân tanır (Reisslein vd., 2006, s. 92). Bu tanımdan, sunulan cismin açınımını Cabri3D'de elde etme süreci ve sunulan cismi verilen bir eksen, yön ve açıda Cabri3D'de döndürme süreci, Cabri3D ara yüzünde yapının (ya da cismin) belirli bir yönden (belirli bir noktadan) görünüşünü yansıtma ve benzeri durumlar, çözülmüş örnekler olarak ele alınabilir.

Çözülmüş örneklerden öğrenme, öğrencilerin problem çözmeye geçmeden önce birtakım örnekleri incelemesi (Örneğin, Renkl ve Atkinson, 2003) ya da öğrenciler problemi çözme girişiminde bulunduktan sonra çözülmüş örneklerden adımlarının doğruluğunu kontrol etmesi (Örneğin, Reisslein vd., 2006) şeklinde gerçekleştirilebilmektedir. Öğretim seansları boyunca matematik öğretmen adayları kendilerine sunulan uzamsal bir görevi tamamladıktan sonra Cabri3D'de aynı uzamsal görevle ilgili çözülmüş örneği incelemişler ve kendi yaptıkları ile karşılaştırmışlardır. Problem-çözülmüş örnek sırasını takip eden öğretim dizisi boyunca öğretmen adaylarının hem hatalarını kendi çabalarının bir sonucu olarak bulabildikleri hem de bazı uzamsal görevlerde (açınım bölümü) aynı problemi çözmede kullanılabilecek farklı stratejilerin farkına vardıkları gözlenmiştir. Matematik öğretmen adaylarının ön-bilgi ve deneyimleri göz önüne alındığında nispeten yüksek bilgi sahibi oldukları söylenebilir. Reisslein ve diğerleri (2006) çözülmüş örneklere benzer problemlerin çözümü için (yakın transfer problemleri), örnek-problem sırasının daha düşük bilgi sahibi öğrenenler için, problem-örnek sırasının ise yüksek bilgi sahibi öğrenciler için daha avantajlı olduğunu

bulmuşlardır. Oysa her iki yaklaşımın da çözülmüş örneklerden farklı problemlere (uzak transfer problemleri) etkisi gözlemlenememiştir (s.101-102).

Çözülmüş örneklerle çalışma matematik öğretmen adaylarının temel bilgi ve becerileri edinmelerini sağlamıştır. Temel bilgi ve beceriler matematik öğretmen adaylarının uzamsal görevleri anlamlandırmalarını sağlar. Örneğin, cismi iç yüzeyi görünecek şekilde taban düzlemine açma (açınım bölümü), dönme ekseni, yönü ve açısının anlamını kavrama (döndürme bölümü) ve yapıya (ya da bir cisme) belirli yönden (ya da köşe noktasından) yönelebilme gibi. Çözülmüş örnekleri inceleme matematik öğretmen adaylarının muhakeme becerilerinin gelişmesini sağlamış ve onlar sayesinde hatalara neden olan davranışlarını belirleyebilmişlerdir. Cabri3D'deki cismin yüzeyini açarken yüzlere uygulanan eylemlerle onların konumlarında meydana gelen değişim (açınım), Cabri3D'deki cismi belirli bir eksen, yön ve açıda döndürme ile cismin duruşunda nasıl bir değişiklik oluştuğu (döndürme) ve yapının (ya da cismin) belirli bir yönden (ya da belirli bir bakış noktasından) görünüşü ile ilgili Cabri3D ara-yüzünü açtığında yeni yönelimine göre sağında, solunda, üstünde ve altında yapının hangi kısımlarını nerede göreceği (yönelim) gibi durumları açıklama ve onlar hakkında muhakemede bulunma uzamsal görevleri yapma için gerekli belirli şemaların edinilmesinde etkili olmuştur. Matematik öğretmen adayları çözülmüş örneklerle ayrıca açınım, döndürme ve yönelim bölümünde sistematik olarak tekrarladıkları hataların farkına varmışlar ve onları kendi çabalarının bir ürünü olarak düzeltebilmişlerdir. Çözülmüş örnekleri inceleme ve onlar hakkında muhakemede bulunma matematik öğretmen adaylarının uzamsal görevleri yapmak için çeşitli stratejiler geliştirebilmelerini ve bu stratejileri doğru bir şekilde yerine getirebilmelerini sağlamıştır. Bu durum VanLehn (1996) çalışması ile benzerlik taşımaktadır. VanLehn (1996) öğrencilerin çözülmüş örneklere dayalı beceri edinimlerini başlangıç, ara ve son aşama şeklinde birbirinden ayrıştırmıştır. Öğrenenlerin başlangıç aşaması boyunca alanın temel bir anlayışını kazandıklarına işaret etmektedir. Ara aşama boyunca dikkatlerini problemleri nasıl çözeceklerine ve somut problemleri çözmek için soyut ilkelere nasıl başvurulduğuna verdiklerini belirterek, bu süreçte çözümlerle ilgili akla uygun muhakemelerde bulunduklarını ve bilgi tabanlarındaki bazı kusur ve eksiklikleri gidermeye çalıştıklarını vurgulamaktadır. Son aşamada ise problem çözümünü anlamanın aksine problemleri doğru ve hızlı bir şekilde çözmenin söz konusu olduğunu belirtmektedir. (Akt., Renkl ve Atkinson, 2003, s.16). Van Lehn'in çalışmasında öğrenciler sadece son aşamada

problemleri çözmekte, başlangıç ve ara aşamada ise sadece çözülmüş örneklerin belirli bir kümesini incelemektedirler. Oysa bu çalışmada problem-çözülmüş örnek yaklaşımı takip edilmiştir.

Matematik öğretmen adaylarının öğretim seansları boyunca açınım, döndürme ve yönelim bölümünün her biri için karmaşıklık derecesi aşamalı olarak arttırılmış çözülmüş örneklerle çalışmaları, nispeten daha az karmaşık olanlardan nispeten çok karmaşık olanlara kadar çeşitli uzamsal görev türlerine yanıt verebilmelerini sağlayacak şemalar edinmelerini desteklemiştir. Ayrıca ilk görüşmelerle karşılaştırıldığında ikinci görüşmelerde matematik öğretmen adaylarının uzmanlık derecelerine göre uzamsal görev türlerinin bazılarında nispeten daha düşük oranlarda hata yapmaları ya da hiç hata yapmamalarında, öğretim seansları boyunca çeşitli türlerde çözülmüş uzamsal örnek türleri ile çalışmalarının etkili olduğu düşünülmektedir. Bu durum Paas ve van Merrienboer'in çalışması ile benzerdir. Paas ve van Merrienboer (1994), örneklerde problem durumlarını çeşitlendirmeyi kullanma transfer görevleri üzerinde öğrenen performansını arttırabildiğine dikkat çekmiştir. Paas ve van Merrienboer'in çalışması, çözülmüş örneklerin çeşitliliğinin muhtemelen belirli durumların daha geniş bir aralığına uygulanabilen daha esnek şemalarla sonuçlandığını göstermişlerdir.

Zihinde Canlandırmanın ve Bireysel Açıklamaların Etkisi:

Karmaşıklık düzeyi aşamalı olarak artan uzamsal görevlerin her birinde matematik öğretmen adaylarının uzamsal görevi yapmaya başlamadan önce onu zihinlerinde canlandırmaları, sonra zihinlerinde oluşan görüntüyü tarif etmeleri başlangıç şemalarını resmetmeye ve bu şemalarda meydana gelen değişimi gözlemlemeye imkân tanımıştır. Bir başlangıç görevi için zihinde canlandırma etkinliği, uzamsal görev ile uzun süreli bellekte depolanan ön-bilgi ve deneyimler arasında bağlantı kurmayı sağlamıştır. Başlangıç görevi tamamlandıktan sonra onunla ilgili çözülmüş örneğin incelenmesi ve onunla ilgili muhakemede bulunulması çalışan bellekte eski bilgi ve deneyimler ile yenilerinin eş zamanlı olarak işlenerek, yeni öğrenmelerin meydana gelmesinde etkili olmuştur. Çalışan bellekte işlenen ögelerin uzun süreli belleğe transfer edilmesi ile eski şemalar düzenlenmiş ve yeni şemalar olarak depolanmışlardır. İkinci görevle ilgili zihinde canlandırma etkinliğine geçildiğinde, başlangıç görevi sonrası değişen ve yenilenen şemalardaki bilgi ögeleri çalışan belleğe çağrılmıştır. Böylece ikinci görev ve başlangıç görevi sonrasındaki öğrenmeler arasında bağlantı kurulabilmiştir. İkinci görev tamamlandıktan sonra, ona ait çözülmüş örneğin incelenmesi ve ilgili muhakeme süreci

birinci görev sonrasındaki şemaların gelişmesini ve/veya yenilenmesini sağlamıştır. Ardışık görevlerin her biri için benzer açıklamalarda bulunulabilir. Uzamsal görevlerin karmaşıklık derecesinin arttırılması, matematik öğretmen adaylarının uzmanlık dereceleri ile bağlantılı, uzamsal görevlerin taleplerine karşılık vermeyi sağlayacak daha gelişmiş şemaların oluşması anlamına gelmektedir. Bu durum Leahy ve Sweller'ın çalışmalarında şu şekilde açıklanmaktadır (2008): Bilişsel yük teorisine göre, zihinde canlandırma etkisi, bilgiyi zihninde canlandıran öğrenenin çalışan bellek içine ilgili şemaları işlemek için harekete geçirmesi ile meydana gelir. Rastgele prosedür üretilip, test edilmesinden ziyade ödünç alma yoluyla bilgi artışı söz konusudur. Öğretim materyalini işlemeksizin işlem ve kavramları hayal etme, daha fazla tekrarla bilginin ilgili yönlerine odaklanmaktan ziyade daha az tekrarla bunun başarılmasını sağlar. Yani öğrenme materyali işlenmeye başlandığı zaman zihinde canlandırılan işlem ya da kavram ile ilgili geri-dönütlere daha az tekrarla ulaşılabilir. Böylece bilgiyi işlemek için daha fazla çalışan bellek kaynağı kalır ve uzun-süreli bellekte daha üstün şemalar oluşur (s.275-276).

Öğretim seansları boyunca matematik öğretmen adayları uzamsal görevlerle ilgili zihinsel modelleri ile Cabri3D'deki çözülmüş örnekler içine gömülü geometrik modelleri karşılaştırarak kendi modellerinde değişiklikler ve düzenlemeler yapmışlardır. Muhakemeye dayalı bireysel açıklamalar, matematik öğretmen adaylarının uzamsal görevlerle ilgili daha gelişmiş zihinsel modeller oluşturmalarında önemli bir rol oynamıştır. Bireysel açıklamalar öğrencileri öğrenme materyallerini kullanarak çıkarımlar yapmaya, önceki tutulan yanlış anlamaları tanımlamaya ve zihinsel modelleri onarmaya teşvik ederek, derin ve sağlam öğrenmeyi kolaylaştıran yapıcı ve üretken bir öğrenme aktivitesidir (Wylie ve Chi, 2014, s. 413). Doğru zihinsel modellerle uyuşmayan Cabri3D çözülmüş örneklerini inceleyerek onlar hakkında muhakemeye dayalı bireysel açıklamalar yapma yeni zihinsel modellerin oluşmasını sağlamıştır.

Matematik öğretmen adaylarının çözülmüş örneklerle ilgili olarak yaptıkları bireysel açıklamalar uzamsal görevler ve çözümlerini anlamalarında ve içselleştirmelerinde etkili olmuştur. Clark, Nguye, ve Sweller (2006) bireysel bir açıklamayı "öğrenciler, çözülmüş bir örneğe çalışırken, onu anlamalarına ve ondan bir şema inşa etmelerine yardımcı olan zihinsel bir diyalog (s.226)" olarak ifade etmektedir. Bireysel açıklamalar matematik öğretmen adaylarının uzamsal görevleri daha analitik ve kapsamlı olarak ele almalarını sağlamış ve uzamsal görev performanslarının gelişmesine yardımcı olmuştur. Öğrencileri öğrenme materyali hakkında derin düşünmeye ve bilişsel

olarak onunla ilgilenmelerini sağlamak için onunla ilgili bireysel açıklamalar yapmaya teşvik etmek gerekir (Wylie ve Chi, 2014, s. 413). Literatürde bireysel açıklamalar yapmanın öğrenen performanslarını geliştirdiğine yönelik birçok çalışma yer almaktadır (Örneğin, Chi vd., 1989; Ionas, Cernusca, ve Collier, 2012; Wylie ve Chi, 2014).

Uzamsal bir görevi yapmaya başlamadan önceki zihinde canlandırma etkinlikleri tahmin-tabanlı, çözülmüş örneği inceleme ve onu tamamlanan uzamsal görevle karşılaştırmayı içeren etkinlikler ise muhakeme-tabanlı olarak ele alınabilir. Öğretim seanslarında gösterdikleri performanslara göre acemi olarak nitelendirilen öğretmen adaylarının, karmaşıklık düzeyi yüksek belirli (açınım ve yönelim bölümü) uzamsal görevlerle ilgili doğru tahminlerde bulunabildikleri, fakat onların uzamsal görevleri yapma girişimlerinin hantal ve hatalara açık olduğu belirlenmiştir. Uzamsal görevlerde uzmanlaşmış olanların ise hem karmaşıklık düzeyi yüksek tüm uzamsal görevlerle ilgili doğru tahminlerde bulunabildikleri, hem de onları hiç hatasız ya da çok düşük oranda hatalarla akıcı bir şekilde tamamlayabildikleri gözlenmiştir. Örneğin hem acemi hem de uzman öğretmen adaylarının verilen kombine bir cismin yüzeyini açmak için zihinlerinde benzer stratejiler geliştirebilmelerine rağmen, sadece uzmanlaşmış olanların görevleri otomatik bir şekilde yerine getirebilmeleri. Buradan belirli uzamsal görevlerde doğru tahminlerde bulunmanın öğrenen seviyelerini ele almada yetersiz kaldığı söylenebilir. Bu durum Yeh, Chen ve Hwang'ın (2010) çalışması ile tam olarak uyuşmamaktadır. Yeh ve diğerleri tahmin-tabanlı ve muhakeme-tabanlı bireysel açıklamaların etkisini karşılaştırmıştır. Onlar açıklama biçimi ile ön bilgi arasında bir etkileşim olduğu hipotezinde bulunmuş, düşük ön-bilgiye sahip olanların muhakeme tabanlı bireysel açıklamalardan daha fazla, yüksek ön-bilgiye sahip olanların tahmine dayalı bireysel açıklamalardan daha fazla yararlandıklarını gözlemlemişlerdir. Yani, sonuçlar hipotezlerini desteklemiş, öğrencilerin bireysel farklılıkları dikkate alınarak tahmin-tabanlı ya da muhakeme-tabanlı açıklamalarda bulunulması önerilmiştir (s.1098-1099). Bu çalışmanın bulgularına dayalı olarak tahmin-tabanlı etkinliklerin acemi ve uzman olarak nitelendirilen öğretmen adaylarının hayal güçlerini desteklediği, muhakeme-tabanlı etkinliklerin ise görevleri daha detaylı olarak ele almalarında etkili olduğu söylenebilir. Detaylandırma ve bireysel açıklamalar, öğrenenlerin hem yeni bilgiyi önceki bilgilerle ilişkilendirmelerini hem de öğrenenlerin kendi kavrayış süreçlerini gözlemleyerek, kavrayış hatalarını düzeltmelerini sağlar (Nathan, Mertz ve Ryan, 1994, s.1). Her ne kadar tahmin ve muhakeme tabanlı etkinliklerin öğrenme üzerine olumlu

katkı yaptığı düşünülse de gelişmiş uzamsal beceriler ile görevleri ayrıntılı olarak ele alma arasında bağlantı olduğu gözlenmiştir. Gelişmiş uzamsal becerilere sahip matematik öğretmen adaylarının uzamsal problemi anlama, strateji geliştirme, uygulama, kontrol etme ve Cabri3D'deki çözülmüş örneği inceleme, onu kendi uyguladığı çözümle karşılaştırma süreçleri boyunca ürettikleri bireysel açıklamaların, uzamsal becerileri nispeten daha az gelişmiş olanlara göre daha detaylı bilgiler içerdiği belirlenmiştir. Farklı alanlardaki çalışmalar iyi problem çözücülerin, çözülmüş örnekler ya da tanımlayıcı metinler üzerinde çalışırken kötü problem çözücülere göre öz-yönlendirmeli olarak daha fazla detaya yer verdiklerini göstermektedir (Örneğin, Chi vd., 1989; Bielaczyc ve Pirolli, 1989). Buradan karmaşıklık derecesi farklı uzamsal görevler, bireysel açıklamaların niteliği ve öğretmen adaylarının uzmanlıkları arasında bağlantı olduğu çıkarımı yapılabilir.

Karmaşıklık derecesi farklı uzamsal görevler boyunca yapılan bireysel açıklamaların matematik öğretmen adaylarının performanslarını artırmada etkili olduğu gözlenmiştir. Uzamsal görevlerin karmaşıklık derecesi arttıkça uzmanlık derecesi daha hızlı gelişen matematik öğretmen adaylarının bireysel açıklamalarının da daha nitelikli hale geldiği belirlenmiştir. Oysa, uzamsal görevlerin karmaşıklık derecesini arttırmak, uzmanlık derecesi daha yavaş gelişen öğretmen adaylarının bilişsel yüklerinde artış meydana getirerek niteliği nispeten düşük bireysel açıklamalarla sonuçlanmıştır. Bu Nathan, Mertz ve Ryan'ın (1994) çalışması ile uyumludur. Nathan ve diğerleri, kavramsal muhakeme gerektiren ve düşük yük yaratan problem türlerinde bireysel açıklamaların öğrenci performanslarını artırıcı bir rol oynadığını, yüksek bilişsel yük yaratan problem türlerindeki performans gelişimleri üzerinde fazla etkili olmadığını bulmuştur (s.4).

Uzmanlaşmanın Etkisi:

Öğretim seanslarında matematik öğretmen adaylarının uzamsal görevlerle ilgili belirli şemaları edindikleri gözlenmiştir. Matematik öğretmen adayları edindikleri şema tür ve sayılarına, ve onlara başvurabilme durumlarını göre uzmanlaşanlar ya da acemi kalanlar olarak nitelendirilebilirler. Açınım, döndürme ve yönelim bölümü uzamsal görevlerinde uzmanlaşmış olarak nitelendirilen matematik öğretmen adaylarının aşağıda maddelenen özelliklere sahip oldukları gözlenmiştir: (1) (Acemilerle karşılaştırıldığında) Aynı miktarda ya da nispeten daha çok sayıda şemaya sahip olma (örneğin, yönelim bölümü son görüşmelerinde sunulan tüm şemalara hem uzmanlar hem de acemiler sahiptirler, fakat acemiler döndürme bölümü son görüşmelerinde maddelenen şemaların

bazılarına sahip değildirler), (2) nispeten daha gelişmiş şemalara sahip olma (örneğin, iki eksende döndürülmüş bir cisme uygulanan dönme hareketlerini yüzlerin konumlarında meydana gelen değişim ile ilgili olarak ulaştıkları genellemelerden belirleyebilme) ve (3) sahip oldukları şemaları karmaşıklık derecesi nispeten daha yüksek olan görevlere uygulayabilme (örneğin, iki eksende döndürülmüş bir cismin dönme hareketlerini, başka bir cisme uygulamada zorlanmama gibi). Acemi olarak nitelendirilen matematik öğretmen adayları için ise durum bunun neredeyse tersidir. Acemi olarak nitelendirilen öğretmen adayları, (1) aynı miktarda ya da nispeten daha az şemaya sahiptirler (örneğin, döndürme bölümü son görüşmelerinde maddelenen şemaların bazılarına sahip olmama), (2) sahip oldukları şemalar daha temel düzeydedir (örneğin, dönme ekseni, yön ve açısının ne olduğu gibi), ve (3) sahip oldukları şemaları karmaşıklık derecesi yüksek olan görevlere uygulamada sorunlar yaşamaktadırlar (örneğin, iki dönme hareketi uygulaması gereken bir döndürme görevinde, cisme ilk dönme hareketini uyguladıktan sonra, ikinci dönme hareketi uygulayacağı görüntüyü hafızasında tutamama). Ayrıca acemi öğretmen adaylarının karmaşıklık derecesi fazla uzamsal görevleri yapma girişimleri belirli sayıda neticesiz teşebbüsten sonra doğru yanıtı bulma ya da nispeten önemli oranlarda hatalar şeklindeyken, uzmanlık kazanan öğretmen adaylarının bahsedilen görevlerde genellikle ilk teşebbüste doğru yanıtı buldukları ve onlarda neredeyse hiç hata yapmadıkları ya da çok düşük oranda hatalar yapabildikleri belirlenmiştir. Bu durum, acemi olanların ya gelişmiş şemalara sahip olamamaları ve mevcut şemalarının görevlerin gereklerini karşılamada yetersiz kalması ile ya da edindikleri şemalarda otomatikleşmemeleri ile bağlantılı olduğu düşünülmektedir. Örneğin, döndürülmüş bir cisim sunulduğunda dönme eksen, yön ve açısıyla ilgili temel şemalara sahip bir öğrenen (acemi), verilen cismi zihninde belirli bir sırayla x, y ve z eksenleri etrafında, saat yönü ya da tersi yönde 90 ya da 180 derece döndürdükten sonra cismin dönme eksenini belirleyebilmektedir. Oysa gelişmiş şemalara sahip bir öğrenen (uzman), dönme eksen, yön ve açısını cismin yüzlerinin konumlarında meydana gelen değişimden belirleyebilmektedir. Acemi olan doğru yanıtı genellikle bir kaç neticesiz teşebbüsten sonra bulabilirken, uzman olan genellikle ilk girişiminde doğru yanıtı bulmaktadır. Elde edilen bu sonuçlar Chinnappan ve English (1995) ve Chinnappan (1998) çalışmalarındaki ile benzerlik taşımaktadır. Chinnappan ve English (1995), çalışmalarında yüksek ve düşük başarı düzeyine sahip bir grup öğrencinin bir geometri problemi ile çalıştıklarında aktive ettiği geometrik şemaları analiz etmeye çalışmış ve yüksek başarı düzeyine sahip öğrencilerin kullandıkları

problem çözme yaklaşımlarının, düşük başarı düzeyine sahip öğrencilerin ürettikleri şemalara kıyasla daha çeşitli ve karmaşık şemaların etkinleştirilmesini içerdiğini ortaya koymuşlardır. Chinnappan ve English, yüksek başarı sağlayan öğrencilerin problemin yapısal özelliklerine katılarak, anlamlı ve entegre zihinsel temsiller oluşturabildiklerini, düşük başarıya sahip olanların ise yüzeysel yönlere odaklanma eğiliminde olduklarını ve problemin önemli özellikleri arasındaki bağlantıları görmedikleri sonucuna varmışlardır (s. 160). Chinnappan (1998) çalışmasında yüksek ve düşük başarıya sahip öğrenci gruplarının problem çözme performanslarını ve şema aktivasyonlarını karşılaştırmıştır. Çalışmada, yüksek başarıya sahip olanların, düşük başarıya sahip olanlardan daha doğru yanıtlar ürettiklerini belirlenmiştir. Grupların sahip oldukları şemalar karşılaştırıldığında, yüksek başarıya sahip olanların diğerlerine göre problemle daha ilgili şemalara ulaştıkları gözlenmiştir. Belirli bir problemle ilgili görevde her iki grupta neredeyse aynı sayıda geometri şemasına erişse de, sonuçlar, yüksek başarıya sahip olanların, düşük başarıya sahip olanlardan niteliksel olarak daha gelişmiş şemalar oluşturduklarını göstermektedir (s.27).

4.2.5. Cabri3D materyallerinin kullanıldığı öğrenme ortamının katılımcıların uzamsal becerileri üzerine etkisi

Bu çalışmada Cabri3D öğrenme ortamınında planlı ve sistematik olarak yürütülen öğretme-öğrenme aktivitelerinin, matematik öğretmen adaylarının uzamsal becerilerini geliştirdiği belirlenmiştir. Literatürde yer alan çeşitli araştırmalar uzamsal becerilerin geliştirilmesinde dinamik geometri öğrenme ortamlarının etkililiğine (örneğin, Kurtuluş, 2011; Cohen ve Hegarty, 2014; Parmak, 2016), öğretim tasarımı ve/veya planlı olarak yürütülen etkinliklerin önemine (örneğin, Alias, Black ve Gray, 2002; Kwon, 2003; Lajoie, 2003; Potter ve Merwe, 2001; Woolf vd., 2003; Katsioloudis ve Jovanovic, 2014; Parmak, 2016) ve kullanılan yönlendirme ve yönergelerin yararlarına (örneğin, Kwon, 2003; Woolf vd., 2003; Katsioloudis ve Jovanovic, 2014) deliller sunmaktadır. Yapılan araştırmaların, çalışma sonucumuzu desteklediği söylenebilir. Bu çalışma kapsamında matematik öğretmen adaylarının uzamsal becerilerini geliştirmede Cabri3D öğrenme ortamının ne tür etkileri olduğu aşağıda yer alan alt başlıklarda tartışılmıştır.

Uzamsal Görevleri Bilinçli Olarak Yerine Getirmeye Etkisi:

Uzamsal görevler birer problem durumu olarak ele alınırsa, öğretim seansları ile verilen ve istenilenin anlaşılmamasından kaynaklanan hataların matematik öğretmen

adayları tarafından yapılmamaya başlandığı gözlenmiştir. Öğretim seansları ile öğretmen adaylarının, verilen cisimleri taban düzlemine iç yüzeyi görünecek şekilde açtıkları, cisimleri belirli bir eksen, yön ve açıda döndürdükleri ve yapılara (ya da cisme) görevlerde istenilen yön ya da yönlerde (ya da bakış noktası) yönelebildikleri belirlenmiştir. Bu durum, sanal manipülatiflerle çalışma öğrencilerin fiziksel deneyimlerini genişletmelerine ve gelişmiş fikirlerin başlangıç anlayışını şekillendirmelerine izin vermektedir (NCTM, 2000, s.26-27), düşüncesini desteklemektedir. Cabri3D öğretim seanslarında cisim yüzeylerinin açınımlarını elde etmek için yüzleri, üzerlerinde bulunan butonlardan çekerek açıp-kapama eylemleri (açınım bölümü etkinlikleri), cisimleri butonları kullanarak ya da belirli komutları kullanarak belirli bir eksen, yön ve açıda döndürme hareketleri (döndürme bölümü etkinlikleri) ve yapı ya da cisimlerin belirli bir yönden ya da bakış noktasından elde edilecek görüntüsünü belirleyebilmek için yapı ya da cismi ekranda sürükleme (yönelim bölümü etkinlikleri) gibi somutlaşmış deneyimler, matematik öğretmen adaylarının uzamsal görevleri anlamalarında ve onların gereklerini bilinçli olarak yerine getirmelerinde etkili olmuştur. Moyer, Bolyard ve Spikell (2001) sanal manipülatiflerin öğretme-öğrenme açısından güçlü olmalarını, manipüle edilebilme yeteneklerine bağlamaktadır. Moyer ve diğerlerine göre sanal manipülatifler, bilgisayar ekranında nesnelerin görüntülenmesini sağlamanın yanısıra, öğrenenlerin dinamik nesnelerle etkileşime girmelerine imkân sunarak, kendi eylemlerinin bir sonucu olarak anlam yaratmalarına ve ilişkileri görmelerine fırsatlar tanımaktadır (s. 184). Matematik öğretmen adayları sanal nesneler üzerine mouse yardımı ile eylemler uygulayıp, onlarda ya da onların görüntülerinde uyguladıkları eylemlerin ne gibi değişiklikler yarattığını gözlemlerken, bu eylemleri aynı zamanda içselleştirmişlerdir. Sarama ve Clements (2009), sanal manipülatiflerin nesneler üzerine uygulanan zihinsel eylemleri desteklediğini belirtmektedir (s.147).

Cabri3D materyallerine başvurmayı içeren yönlendirmeler, matematik öğretmen adaylarının uzamsal görevlerin gereklerini yerine getirirken, uzamsal görevlerle ilgili ön-bilgi, deneyim ve kavram şemalarına başvurmalarında etkili olmuştur. Uzamsal görevler ikizkenar üçgen, diklik, kenar ortay gibi geometriye, dik-koordinat sistemi, dönme yönü gibi analitik geometriye ve çoklu görünüş, izometrik görünüş gibi projektif geometriye ait kavramları içinde barındırmaktadır. Cabri3D materyalleri ve öğrenme ortamında yapılan yönlendirmeler matematik öğretmen adaylarının uzamsal görevler ile belirtilen

kavramlar arasında bağlantı kurmalarını sağlamıştır. Matematik öğretmen adayları belirli uzamsal görevlerin gereklerini yerine getirmek için ön-bilgi, deneyim ve kavram şemalarının yeterli olmadığı durumlarda, yeni bilgiler edinmişler ve yeni kavram şemaları oluşturmuşlardır. Örneğin, dönme ekseni ne olduğunu kavrama, eksenlere göre perspektif alarak her bir eksene göre dönme yönünü belirleme gibi. Ayrıca Cabri3D öğrenme ortamı onların uzamsal görevlerle ilgili deneyimlerini artırmıştır. Örneğin, yapılara yönelirken kafası, kolları ve ayaklarının duruşunu göz önünde bulundurma gibi. Bu çalışma ile benzer şekilde Gomes ve Vergnaud (2004) araştırmalarında dinamik geometri yazılımlarını kullanmanın öğrencilerin kavramsallaştırma süreçlerini olumlu yönde etkilediğini bulmuşlardır. Gomes ve Vergnaud'un bulgusuna katılmakla birlikte, yönlendirmeler olmaksızın sadece Cabri3D materyallerine başvurmakla bunun başarılamayacağı düşünülmektedir.

Görselleştirmeye Etkisi:

Cabri3D'nin matematik öğretmen adaylarının görselleştirme becerilerini geliştirdiği gözlenmiştir. Çeşitli çalışmalar dinamik geometri öğrenme ortamlarının görselleştirmeyi kolaylaştırdığına dikkat çekmektedir (Örneğin, Jones, 2002; Kösa ve Karakuş, 2010; Stols, 2012). Cabri3D öğrenme ortamı cisim ya da yapıların görünüşleri ile ilgili çeşitli miktarda ve çok sayıda uzamsal deneyim sağlayarak, matematik öğretmen adaylarının eğik bir yüzün gerçekte hangi geometrik şekil olduğu, eğik ya da eğrisel yüzün belirli bir yönden bakıldığında nasıl görüneceği gibi uzamsal görselleştirme sorunlarıyla baş etmelerinde etkili bir rol oynamıştır. Bu durum Kösa ve Karakuş'un çalışması ile benzerdir. Kösa ve Karakuş (2010), öğrencilerin zihinlerinde uzamsal figürleri görselleştirmede zorlandıklarını, fakat dinamik geometri yazılımlarının dinamik doğasının öğrencilerin geometrik kavramları öğrenmelerini ve geometrik ilişkileri kolayca görselleştirmelerini ve keşfetmelerini sağladığını belirtmişlerdir (s.1388). Dinamik geometri ortamları 'doğru araştırma ve görselleştirmeyi olanaklı kılmaktadır (Fahlberg-Stojanovska ve Stojanovski, 2009, s.76)'. Bu çalışmada uzamsal görevlerin gereklerini yerine getirirken (örneğin, açınım) cisim ya da yapının yöneliminden dolayı algılarının (örneğin, kare eşkenar dörtgen olarak görme) etkisinde kalan katılımcıların, Cabri3D'de mouse ile cismin yöneliminde değişiklik yaparak (ekranda yer alan cismi çevirme gibi), onu farklı yönlerden farklı bakış açıları ile görüntüleme fırsatı yakaladıkları belirlenmiştir. Bilgisayarlar geometrik durumları görselleştirmek için değerli birer araçtır ve çeşitli yazılım paketleri konfigürasyonları çeşitli açılardan görme

imkanı sağlar (Osta, 1998, s.110). Cisim ya da yapının algılanan geometrik özellikleri ve ilişkileri ile gerçek geometrik özellikleri ve ilişkileri birbirinden farklı olabilmektedir. Örneğin, eğik konumda bulunan dikdörtgen şeklindeki bir yüz gerçek şeklinden ya da girintili çıkıntılı bir yapının parçalarının birbiri ile olan konumsal ilişkileri gerçekteki konumsal ilişkilerinden daha farklı olması. Cabri3D'e bağlı uzamsal deneyimlerin bu tür hatalı düşünme yolları ile baş etmede etkili bir rol oynadığı belirlenmiştir. Cabri3D'de yer alan sanal manipülatifleri mouse ile çevirerek incelemek, matematik öğretmen adaylarının algılarının doğruluğunu sorgulamalarını ve düşüncelerini test etmelerini sağlamıştır. Bu durum Healy ve Hoyles'in (2001), dinamik geometri yazılımları geometrik nesneler ve ilişkiler ile ilgili deneyimler sağlamakta, böylece öğrenciler deneyimlerine dayalı test edilebilir varsayımlarda bulunabilmektedirler, görüşünü destelemektedir (s.235). Matematik öğretmen adaylarının uzamsal görevleri başlangıçta görsel yönlerine odaklanarak yanıtladıkları, fakat öğretim seanslarıyla onları analitik bir yaklaşımla ele aldıkları belirlenmiştir.

Uzamsal Görevleri Analitik Bir Bakış Açısı ile Ele Almaya Etkisi:

Matematik öğretmen adayları Cabri3D öğrenme ortamında sunulan sanal manipülatifleri mause ile hareket ettirerek, inceledikleri cisim ya da yapıyı oluşturan parçaların geometrik özellikleri (örneğin, açılarının 90 derece olması) ve parçaların birbiri ile olan uzamsal ilişkileri (örneğin, aynı hizada olma gibi) hakkında daha tutarlı tahminlerde bulunmuşlardır. Böylece onlar algıladıkları yüz görüntüsü ile cismin gerçekteki yüz görüntüsünün ve algıladıkları yapı hizaları ile gerçekteki hizaların aynı olmayabileceğini keşfetmişlerdir. Katılımcılar çeşitli Cabri3D materyalleri ile deneyimleri arttıkça yeni karşılaştıkları cisimler ya da yapıları ekran üzerinde hareket ettirmeksizin onun yüzeyi üzerinde hangi geometrik şekiller bulunduğunu ya da onu oluşturan parçaların uzamsal ilişkilerini belirleyebilmişlerdir. Bu durum Gutirerrez'in 3B'li geometrik düşünme evreleri ile benzerdir. Gutierrez (1992)'e göre öğrencilerin 3B'li geometrik düşünmeleri (van Hiele) başlangıçta, 3B'li figürlerin ya da onun belirli ögelerinin (yüz, ayrıt ve köşe) bütüncül bir algısına dayalıdır (tanıma ya da görselleştirme seviyesi), fakat geometrik düşünmeleri ilerledikçe 3B'li figürleri gözlemleyerek, karşılaştırarak ve analiz ederek onun ya da ögelerinin açı ölçüsü, ayrıt uzunlukları, parallellikleri gibi özelliklerini göz önünde bulundurmaktadırlar (analiz ya da analitik seviye) (s.36). Cabri3D'e dayalı öğretim etkinlikleri ile matematik öğretmen adaylarının cisim ya da yapıların geometrik özelliklerini göz önünde bulundurarak uzamsal görevleri

yaptıkları belirlenmiştir. Bu sonuç Stols'un (2012) matematik öğretmen adayları ile yaptığı çalışmanın sonuçlarını desteklemektedir. Stols (2012), teknoloji ile zenginleştirilmiş bir ortamda matematik öğretmen adaylarının van Hiele düzeyleri açısından bilişsel gelişimlerini incelemiştir. Çalışmada, dinamik geometri yazılımının öğrencilerin geometrik görselleştirme, analiz ve formal olmayan çıkarımlarını arttırdığı, fakat kendi muhakemelerini formal olmayan şekilde değerlendirme ve muhakemelerinin formal yönlerini anlama için yetenelerini geliştirmede etkili olmadığı gözlenmiştir (s.1233). Stols'tan farklı olarak uzamsal görevlere uygun olarak yapılan yönlendirmeler ve uygun olarak tasarlanmış Cabri3D manipülatifleri ile öğrenenlerin hem formal olmayan çıkarımlarda bulunabildiği hem de kendi muhakemelerini formal olmayan bir şekilde değerlendirebildikleri gözlenmiştir. Bu durum daha sonraki alt başlıklardan biri içinde tartışılmıştır.

Bu çalışma kapsamında kullanılan kombine cisimler ve yapılar aşina cisimlerin ve/veya modifiye cisimlerin farklı yollar içinde kombine edilmesi ile oluşturulmuştur. Sanal manipülatifleri Cabri3D'de çevirerek inceleme kombine etme işleminin nasıl uygulandığı ve birleşim sonucu oluşan cisim ve yüzlerinin özellikleri hakkında bilgi verir. Şekillerin daha büyük şekilleri oluşturmak için nasıl biraraya geldiğini ve daha büyük şekillerin daha küçük şekillerden nasıl oluşturulabileceğini keşfetme (van de Walle, 2003, s. 353), 2B'li şekilleri birleştirme ve ayrıştırma süreçlerini anlamlandırmayı gerektirir. Kombine cisimlerin ve yapıların özelliklerinin anlaşılabilmesi için de benzer durum geçerlidir. Verilen bir yapıyı ya da kombine cismi oluşturan cisimler ve onların nasıl birleştirildiğini anlama ayrıştırma süreci ile ilgiliyken, cisimleri farklı yollar içinde kombine ederek yeni cisimler ve yapılar elde etme birleştirme süreci ile ilgilidir. Van Hiele geometrik anlayış düzeylerine göre, iki boyutlu şekilleri birleştirme ve parçalama ile ilgili deneyimler, öğrenenlerin şekillerin özellikleri hakkında daha güçlü bir anlayış geliştirmelerine fırsatlar sağlar (Polly, Hill ve Vuljanic, 2015, s.1077). Geometrik bilgisayarlı manipülatifler zihinde birleştirme ve ayrıştırma süreçlerini teşvik ettiği (Sarama, Clements ve Vukelic, 1996; Clements ve Sarama, 2007, 2009) için, kombine cisimler, onların yüz şekilleri, yapılar ve onları oluşturan parçaların özelliklerinin anlaşılmasında etkili bir rol oynamıştır. Örneğin, katılımcıların kombine cisimlerin yüzlerini Cabri3D'de incelemeleri, birleşik ve eksiltilmiş yüzleri gözlemleme ve keşfetme imkânı sağlamıştır. Katılımcılar kombine cismin hem kombine edilen cisimlere

ait bazı yüzleri hem de kombine etme sonucu oluşan yeni yüz şekillerini (birleşik ve eksiltilmiş yüzler) içereceğini görmüşlerdir.

Ölçüleri ve Orantısal İlişkileri Belirlemeye Etkisi:

Cisim ya da yapı ayrıt uzunlukları ve açı ölçüleri ile ilgili tahminlerini, ayrıt uzunlukları arasındaki orantısal ilişkiler hakkındaki düşüncelerini, cisim ya da yapının en, boy ve yükseklik boyutlarının aynı birim cinsinden değeri ile ilgili geometrik muhakemelerinin doğruluğunu test etmek için, matematik öğretmen adayları Cabri3D'e başvurmuşlardır. Açınım bölümü ilk iki öğretim seansında katılımcı davranışları, Cabri3D'de sunulan cisimlerin ayrıt uzunlukları ve açılarının hepsini ya da bazılarını ölme şeklinde olduğu belirlenmiştir. Yönelim bölümünde birim küplerden oluşmayan yapılardan bazıları için de benzer durum geçerlidir. Fakat matematik öğretmen adaylarının ilerleyen öğretim seanslarında, yeni karşılaştıkları cisim ve yapıların bile ayrıt uzunluklarını ölçmeksizin onların uzunluklarını yaklaşık olarak ve açı ölçülerini doğru olarak tahmin edebildikleri, ayrıt uzunlukları ve boyutların orantısal ilişkileri hakkında tutarlı çıkarımlarda bulunabildikleri gözlenmiştir. Bu tür durumlarda katılımcılar sezgisel olarak belirledikleri kenar uzunlukları ve açı ölçüleri ile ilgili düşüncelerini sadece test etmek için Cabri3D'nin ölçme aracını kullanmışlardır. Katılımcıların ölçme yöntemleri Olivero ve Robutti'nin (2007) çalışmasında tanımladığı ölçme yöntemlerinin bazıları ile benzerlik taşımaktadır. Olivero ve Robutti (2007), öğrenenler tarafından gerçekleştirilen ölçmenin farklı yöntemlerini sınıflandırmıştır. Bunlar, amaçsız, güdümlü, algısal, doğrulama amaçlı ve ispat ile ilgili olmak üzere beşe ayrılmaktadır. Birincide konfigürasyonun bazı ögeleri üzerine ölçümler gerçekleştirilerek, durum rastgele keşfedilir, ikincide konfigürasyonun belirli bir figürünü elde etmek için belirli durumlar ard ardına incelenir, üçüncüde bir figürün özellikleri ve ilişkileri ile ilgili sezgiler kontrol edilir, dördüncüde formüle edilen bir varsayımın doğruluğunu kabul ya da ret etmek amaçlanır ve beşincide oluşturulan bir kanıtın anlaşılması ve daha iyi açıklanması için ölçümler yapılır (s.141). Buradan katılımcıların başlangıçtaki öğretim seanslarında amaçsız ve güdümlü, ilerleyen seanslarda ise algılarını kontrol etmek amacıyla ölçümler yaptıkları söylenebilir. Olivero'nun tarif ettiği dördüncü ve beşinci ölçme yöntemlerine bu çalışma kapsamında karşılaşılmamıştır.

Döndürmeyi Hareket Olarak Değil Dönüşüm Olarak Anlamlandırmaya Etkisi:

Cabri3D öğrenme ortamı matematik öğretmen adaylarının açınım ve döndürme bölümü görevlerini yapmada başvurdukları dönme dönüşümü kavram anlayışlarını

geliştirmede etkili olmuştur. Araştırmalar dinamik geometri öğrenme ortamlarının çeşitli düzeylerde katılımcıların (matematik öğretmen adayları, orta okul öğrencileri gibi) dönüşüm geometrisi (öteleme, simetri ve döndürme) anlayışlarını geliştirmede etkili olduğunu göstermektedir (örneğin, Flanagan, 2001; Jung, 2002; Harper, 2003; Hollebrands, 2003; Güven, 2012; Yanık, 2009, 2013). Matematik öğretmen adayları cisim yüzlerini asılma ya da çekmenin yüzlerin geometrik özelliklerinde bozulma yarattığını, fakat Cabri3D açınım materyallerinde yer alan cisim yüzlerini kat çizgileri etrafında hareket ettirmenin yüzlerin geometrik özelliklerinde bozulmaya neden olmadığını, onların geometrik özelliklerinin korunduğunu fark etmişlerdir. Açınım sürecinde yüzleri kat çizgileri etrafında belirli açı ölçülerinde döndürme analitik bir yolla gerçekleştirilen ve yüzlerin geometrik özelliklerini koruyan bir dönüşümdür. Cabri3D sanal manipülatifleri öğretmen adaylarının yüzey açınım sürecini yüzlerin kat çizgileri etrafında döndürülme hareketlerini içeren bir dönüşüm süreci olarak anlamlandırmalarında etkili olmuştur. Bundan farklı olarak, döndürme bölümü etkinliklerinde matematik öğretmen adaylarının Cabri3D'de yer alan cisimleri 3B'li dik koordinat sistemindeki eksenler etrafında belirli bir yön ve açı ölçüsünde döndürme imkânı bulmaları, döndürmenin ittirme, kaldırma ya da yatırma şeklinde bir hareket olarak değil de 3B'dan 3B'a gerçekleştirilen çeşitli değişkenlere sahip bir dönüşüm olduğunu fark etmelerini sağlamıştır. Cabri3D'e başvurma öğretmen adaylarının cisimlerin döndürülme hareketinde 'dönme ekseni, yönü ve açı ölçüsü' değişkenlerine odaklanmalarında ve dönme hareketini bu değişkenleri kullanarak analitik olarak ifade etmelerinde etkili olmuştur. Hatta dönme bölümünün ilerleyen seanslarında katılımcılardan biri, bir cisme uygulanan dönme hareket ya da hareketlerinden sonra oluşacak görüntünün 3B'li dik koordinat sistemindeki konumunu detaylı olarak tarif etmeye başladığı gözlenmiştir. Bu durum dönme hareketinden dönme dönüşümüne doğru bilişsel gelişim sürecine işaret etmektedir. Bu sonuçlar dönme dönüşümü ile ilgili öğrenci anlayışlarını dinamik geometri ortamında incelemeyi ya da geliştirmeyi amaçlayan çeşitli araştırmaları desteklemektedir. Bu araştırma sonuçlarında dinamik geometri ortamlarının dönüşüm geometrisi öğrenmeye olan katkıları şu şekildedir: (1) somut ve teorik yaklaşım arasındaki sürekli etkileşim kurmalarını sağlar (Flagan, 2001), (2) görsel, sözel ve sembolik temsili kullanarak dönüşümü daha açık ve net olarak tarif etmelerinde etkilidir (Jung, 2002), (3) çeşitli çözüm yolları ile ilgili varsayımlarda bulunma, onları test etme ve doğruluğunu gözden geçirme süreçlerinde önemli bir rol oynar (Harper, 2003), (4)

dönüşümü bir hareket olarak değil de daha matematiksel ve analitik bir anlayışla ele alabilmelerini sağlar (Yanık, 2009) ve (5) geometrik dönüşümün özelliklerini keşfedebilmelerinde, onunla ilgili varsayımlarda bulunabilmelerinde, çeşitli stratejiler geliştirebilmelerinde ve yeni anlayışlar oluşturabilmişlerine teşvik eder (Yanık, 2013). Bu çalışma kapsamında elde edilen bulgular bu araştırma bulguları ile benzerlik taşısa da, dinamik geometri öğrenme ortamlarının öğrenenlerin dönüşüm geometrisi anlayışları üzerine etkisini inceleyen bu araştırmalar 2B'da düşünmeyi, bu çalışma kapsamında yer alan uzamsal görevler ise 3B'da düşünmeyi gerektirmektedir.

Dil Kullanımına Etkisi

Cabri3D öğretim seanslarından önce matematik öğretmen adaylarının uzamsal görevleri nasıl yaptıklarını anlatırken ağırlıklı olarak günlük konuşma diline başvurdukları, fakat söylemleri içinde matematik diline ait terimlerin de bulunduğu belirlenmiştir. Her ne kadar seanslardan önce öğretmen adayları tarafından matematiksel terimler kullanılsa da bu terimlerin uzamsal görevlerin gerekleri ile uyuşmadığı, öğretim seansları ile öğretmen adaylarının matematik diline uzamsal görevlerin gereklerine göre daha fazla başvurmaya başladıkları fakat günlük konuşma dilini de kullanmaya devam ettikleri belirlenmiştir. Ayrıca öğretim seansları içindeki söylemlerinde 'renk, buton etiketleri gibi' Cabri3D materyallerine özgü kelimelere başvurdukları, uzamsal görevleri nasıl yapacaklarını ve yaptıklarını anlatırken Cabri3D'nin dinamik doğasını taklit ettikleri anlaşılmıştır. Öğretim seanslarından sonra matematik öğretmen adaylarının uzamsal görevlerle ilgili açıklamalarının matematik dili ağırlıklı olduğu, günlük konuşma dilinden daha az yararlandıkları tespit edilmiştir. Matematik öğretmen adaylarının söylemlerinin Jones'in (2001) çalışmasındaki gelişimsel sırayı takip ettiği söylenebilir. Jones (2001), dinamik geometri öğrenme ortamlarında öğrenci konuşmalarının niteliksel gelişimini üç grupta ele almaktadır: (1) Başlangıçta: Matematiksel muhakemeden ziyade algılarına dayalı söylemlere yer verme ve matematik dilini yetersiz kullanma, (2) Geçişte: Açıklamalarında daha kesin matematiksel ifadeler kullanma, fakat söylemlerinde dinamik geometri ortamının doğasından etkilendiği belirgin olma, (3) Öğretimden sonra: Açıklamaların tamamen matematiksel bağlamlarla ilgili hale gelmesi (s.56). Bu çalışmada elde edilen bulgular Jones'in düşüncelerini desteklese de, ondan farklı olarak matematik öğretmen adaylarının öğretimden sonra bile teknolojinin sağladığı dinamik doğayı taklit ettiklerini gösterecek açıklamalarda bulunduklarını iddia ediyoruz. Bu

çalışma kapsamında öğretim seanslarından sonra yapılan görüşmelerle ilgili veriler bu iddiamıza deliller sunmaktadır.

Keşif Süreçlerine ve Eylemleri Üzerinde Düşünmelerine Etkisi:

Öğrencilerin bilgiyi kendilerinin keşfetmelerini sağlayan yönlendirmeler, onların matematik ve geometri öğrenme süreçlerini olumlu yönde etkilemektedir (Örneğin, Achera, Belecina ve Garvida, 2015; Alex ve Olubusuyi, 2013). Günümüzde çeşitli araştırma sonuçları, bilgisayar destekli ortamlarda yapılan yönlendirmelerin öğrencilerin matematiksel ya da geometrik bilgiyi kendi çabalarıyla keşfetmelerinin öğrenme sürecini desteklediğini göstermektedir (Örneğin, Dijanic, 2008; Tran vd., 2014). Bu çalışma kapsamında araştırmacı tarafından matematik öğretmen adaylarının bilgiyi keşfetmeleri ve yapılandırmalarına yönelik yapılan yönlendirmelerin onların uzamsal becerilerinin gelişimini desteklediği, geometrik düşünmelerini geliştirdiği ve uzamsal görevleri analitik olarak ele almalarını sağladığı gözlenmiştir. Ayrıca öğretim seansları boyunca yönlendirmeler onların, Cabri3D öğrenme materyallerinin ve bir öğretmen olarak araştırmacının rehberliğinde uzamsal görevlerin geometrik yönlerini keşfetmelerini sağlamıştır. Dinamik geometri yazılımlarının kullanımında öğretmen tarafından yapılan yönlendirmeler çok önemlidir (Nagy-Kondor, 2010, s.208).

Ön-görüşmelerde matematik öğretmen adaylarının uzamsal görevleri tamamladıktan sonra onlar üzerinde düşünmedikleri gözlenmiştir. Bu durum matematik öğretmen adaylarının uzamsal görevleri doğru bir şekilde yapmak için gerekli 'problem çözme' şemalarına sahip olmadıklarına işaret etmektedir. Öğretim seanslarında ardışık ve örüntü oluşturan sorularla yapılan yönlendirmeler, matematik öğretmenlerinin zihinlerinde 'problem çözme' şemalarının oluşmasını sağlamıştır. Açınım bölümü görevleri kapsamında bu sorular örneğin, cismin yüzleri hangi geometrik şekillerden oluşuyor? (anlama), cismin yüzeyini nasıl açacağını zihninde canlandırdıktan sonra anlatabilir misin? (strateji geliştirme), açınım çizimini nasıl yaptın tarif eder misin? (stratejiyi uygulama) ve açınımını nasıl kapatacaksın anlatır mısın? (açınımını kontrol etme) şeklindedir. Polya'nın (1973) problem çözme adımları ile büyük orandan benzerlik taşıyan yönlendirme soruları sayesinde, matematik öğretmen adayları zihinlerinde uzamsal görevlerle başa çıkmalarını sağlayacak 'problem çözme' şemaları oluşturabilmişlerdir.

Yönlendirmeler boyunca katılımcılara etkili sorular sormak, onların analitik ve geometrik bir bakış açısı ile uzamsal görevleri daha fazla irdelemelerine, onları doğru bir

şekilde yapmak için daha fazla muhakemede bulunmalarına neden olmuştur. Etkili sorular sormanın öğrenme sürecini kolaylaştırdığı ve desteklediği literatürde vurgulanmaktadır (Örneğin, Jones, C. A., 2005; Reys vd., 2009). Etkili sorulara örnek olarak, verilen bir cisim ve görüntüsüne uygun dönme hareketine ait analitik ifadenin katılımcı tarafından ifade edilmesinin ardından, araştırmacının onun kendi yaptıkları hakkında düşünmelerini sağlamak için 'ifaden doğru mu, değişiklik yapmak istediğin bir şey var mı söyler misin? Cabri3D'de cismi söylediğin şekilde döndürür müsün? Zihninde doğru mu döndürmüşsün ne düşünüyorsun? gibi' yönlendirmelerde bulunması verilebilir.

Öğretmen rolünü alan araştırmacının, yönlendirmelerle katılımcıların kendi yaptıkları üzerine düşünmelerini sağlaması, onların hatalarının farkına varmalarını, doğru çözüm adımlarını belirlemelerini ve görevle ilgili farklı çözüm stratejileri geliştirebilmelerini sağlamıştır. Öğrencilerin görevleri tamamlamaları önemli değildir, onlar kendi aktiviteleri hakkında ciddi bir şekilde düşünmeye teşvik edilmelidirler (Wheatly, 1992, s.535). Katılımcılar verilen bir uzamsal görevi tamamladıktan sonra, araştırmacı tarafından sorulan etkili sorular sayesinde, onlar görevi yaparken ki eylemleri hakkında düşünebilmiş ve yaptıklarını değerlendirip analiz edebilmişlerdir. Katılımcılar geçmiş eylemleri hakkında derinlemesine düşünerek, uzamsal görevler ile zihinlerindeki kavram şemaları arasında bağlantılar oluşturabilmişlerdir. Ayrıca uzamsal görevleri geometri, analitik geometri ve ölçme gibi konu alanları ile ilişkilendirebilmişlerdir. Etkili sorular öğrenenin matematiği anlamlandırmasını, bir şeyin matematiksel doğruluğuna karar vermesini, matematiksel muhakeme yapabilmesini, varsayımda bulunmasını, keşfetmesini, problem çözmesini, kendi fikirleri ve uygulamaları ile matematiği ilişkilendirmesini sağlar (NCTM, 1991, Akt., Reys vd., 2009, 40-41).

Eylem Zincirinin İçselleştirilmesine Etkisi:

Öğretim seanslarındaki uzamsal görevler boyunca Cabri3D'de yer alan cisimlerin yüzlerini farklı düzlemlerde bulunan birden fazla yüzü aynı anda hareket etmeyecek şekilde açma (açınım bölümü) ve verilen bir cismi belirli bir eksen, yön ve açıda döndürdükten sonra elde edilen görüntüyü yine belirli bir eksen, yön ve açıda döndürme (döndürme bölümü) gibi davranışlar geometrik nesnelerin belirli bir öncelik ve sonrasına göre hareket ettirilmesini gerektirir. Fiziksel nesneler ve hareketlerin taklitleri olan Cabri3D simülasyonlarını mouse aracılığı ile belirli butonlardan çekerek ya da belirli komutlar aracılığı ile hareket ettirebilme, matematik öğretmen adaylarının hareketlerle geometrik nesnelerin özellikleri ve konumlarında nasıl bir değişiklik meydana geldiğini

gözlemlemelerine imkân sunmuştur. Matematik öğretmen adayları Cabri3D materyallerine uyguladıkları hareketlerin geometrik nesnelerde ne tür bir değişiklik yaptığını gözlemleyerek, uzamsal durumlar içindeki eylem örüntülerini belirleyebilmiş ve tarif edebilmişlerdir. Matematik öğretmen adayları gerçek yaşamlarında karşılaştıkları hareketler ile Cabri3D'de simule edilen hareketler arasında bağlantı kurarak, açma-kapama ve döndürme sürecini kendi uyguladıkları eylemlerin bir sonucu olarak özümseyebilmişlerdir. Böylece örüntü oluşturan geometrik nesne hareketlerini belirli bir öncelik ve sonralık sırasına sahip eylem zincirleri olarak içselleştirebilmişlerdir. Geometrik kurallar uygulanarak inşa edilen hareketli nesneler, hem taklit edilen fiziksel hareketin özelliklerinin ifade edilmesine izin verir hem de nesne ve hareketin sürekli sorgulanması onların içindeki Öklid geometrisinin ortaya çıkarılmasını sağlar (Gonzalez-Lopez, 2001, s.140). Açınım ve döndürme sürecinde geometrik nesnelere uygulanan dönme hareketleri ile onların kenar uzunluklarında ve açı ölçülerinde bir değişiklik meydana gelmediğini, nesne üzerinde birbirine paralel olan doğru parçalarının hareket sonrasında da birbirine paralel kaldığını belirleme bu duruma örnek olarak verilebilir.

Matematik öğretmen adaylarının simule edilen açma-kapama ve döndürme süreçlerini içselleştirmeleri, karşılaştıkları benzer uzamsal görevlerle baş etmelerinde etkili bir rol oynamıştır. Kendilerine sunulan bir cismin yüzeyini nasıl açacaklarını ya da belirli bir cismi nasıl döndüreceklerini zihinlerinde canlandırdıktan sonra anlatmaları istendiğinde, onların Cabri3D'de temsil edilen fiziksel hareketleri taklit ederek uzamsal görevlere çözümler ürettikleri belirlenmiştir. Matematik öğretmen adaylarının karşılaştıkları uzamsal problemleri çözmek için geliştirdikleri ve uyguladıkları stratejiler, Cabri3D materyalleri ile etkileşimleri sonucunda türemiştir. Başka bir deyişle onların geliştirdikleri ve uyguladıkları stratejilerin, Cabri3D materyallerinin içinde barındırdığı muhakeme zincirlerini yansıttığı gözlenmiştir. Buradan Cabri3D materyallerinin, matematik öğretmen adaylarının nesne hareketleri ile ilgili düşüncelerinin yeniden şekillenmesinde etkili olduğu söylenebilir. Goldenberg-Cuoco (1998), dinamik yazılımlarla ilgili öğrenci deneyimlerinin öğretim programlarının tasarımlarını da etkilediğini ifade ederek, muhakemelerin dinamik geometri araçlarına mı yerleştirildiğini yoksa öğrenci varsayımlarının kümesinin bir parçası mı olduğunu ayrıştırmanın önemine dikkat çekmektedir (s.354).

Konum İlişkilerinin Belirlenmesi ve Yansıtılmasına Etkisi:

Cabri3D öğretim seansları matematik öğretmen adaylarına cisimler (ve yapılar) ve onları oluşturan parçaların konumları (örneğin, önde ya da arkada olma) ile ilgili deneyimler sağlamıştır. Olkun, Sinoplu ve Deryakulu'nun (2005) çalışması bu durumu desteklemektedir. Olkun ve diğerleri (2005), şekil ve konum bilgisinin, geometrik problemlerdeki geometrik şekillerin ve yapıların anlaşılması için önemli olduğuna dikkat çekmekte, öğrencilerin geometrik şekilleri araştırmak için şekillerin her birinin konumu ve oluşumuyla ilgili deneyimlere sahip olmaları gerektiğini ve bunun uygun dinamik geometri ortamları ile olası olduğunu vurgulamaktadırlar (s.11).

Döndürülerek hareket ettirilen yüzleri açınımı yapılan cismin taban düzleminde nerelere konumlandıracağını belirleme (açınım bölümü), döndürülen cismin parçalarının ekranda yer alan 3B'li dik-koordinat sistemine göre yerlerini belirleme ve ifade etme (döndürme bölümü), çoklu görünüş görevlerinde verilen bir yöne göre perspektif aldıktan sonra sağında, solunda, üstünde ve altında yapının hangi kısımlarının nerede görüneceğini belirleme ve yeni vücut koordinat sistemine göre elde edilecek 2B'li görüntüyü yansıtma ile verilen bir cismin belirtilen bir bakış noktasına göre en, boy ve yüksekliğinin konumlarını belirleme, ifade etme ve elde edilecek 3B'li görünüşü yansıtma (yönelim bölümü) gibi aktiviteler matematik öğretmen adaylarının cisim ya da yapı parçalarının uzamsal konumları hakkında iki ve üç boyutlu düşünmelerini sağlamıştır. Böylece öğretmen adayları sunulan cisim ya da yapının parçalarının konumlarını, bu parçaların birbiri olan uzamsal ilişkilerini koruyacak şekilde ayrıştırmalarını ve onları zihninlerinde örgütlemelerini, cismi döndürdükten ya da yapıya ya da cisme göre perspektif aldıktan sonra cisim ya da yapı parçalarının konumlarını, bu parçaların birbiri olan uzamsal ilişkilerini koruyacak şekilde yeniden düzenlemelerini sağlayan beceriler geliştirmişlerdir.

Muhakeme Zincirleri Geliştirmeleri ve Genelleme Süreçleri Üzerine Etkisi:

Cabri3D'e dayalı öğretim seansları matematik öğretmen adaylarının muhakeme becerilerini geliştirerek, onların çeşitli genellemelere ulaşmalarını sağlamıştır. Çeşitli çalışmalar dinamik geometri öğrenme ortamlarının öğrencilerin genelleme süreçlerini olumlu yönde etkilediğine işaret etmektedir (Örneğin, Leung, Chan ve Lopez-Real, 2006; Fahlgren, ve Brunström, 2014). Fakat bu çalışmalarda öğrencilerden bilgisayar ortamında oluşumlar meydana getirmeleri beklenmekte ve meydana getirdikleri figürlerin niteliklerine göre onların muhakeme süreçleri hakkında karar verilmektedir. Öğrenciler

meydana getirdikleri figürleri sürükleyerek düşüncelerinin doğruluğunu test edebilmektedir. Ekran üzerine figür oluşturma ve düşüncelerinin doğruluğunu sürükleyerek test etmeyi içeren etkinliklerle genellemelere varmayı içeren yaklaşımlardan farklı olarak, bu çalışmada sistematik olarak planlanmış etkinlikler, bu etkinliklerle uyumlu olarak tasarlanmış Cabri3D materyalleri ve uygun yönlendirmeler kullanılarak uzamsal görevlerle ilgili birtakım genellemelere ulaşılabileceği gözlemlenmiştir.

Cabri3D öğretim seansları ile matematik öğretmen adayları uzamsal yetenek, kapasite ve şema edinimlerine ve uzamsal görevlerin niteliklerine bağlı olarak nispeten daha basit ya da daha gelişmiş genellemelere ulaşmışlardır. Bu çalışma kapsamında, matematik öğretmen adaylarının ulaştığı genellemeler gelişimsel olarak iki grupta ele alınabilir: Uzamsal görevlerin gereklerini yerine getirmek için edinilen temel genellemeler ve temel genellemelerin üzerine inşa edilmiş daha gelişmiş genellemeler. Temel genellemelere, uzamsal nesneler ve onlara uygulanan eylemler ile bu nesnelerin geometrik ve analitik yönleri arasında ilişkileri içeren, muhakeme zinciri ile ulaşılmaktadır. Örneğin, bir cismi verilen bir eksen, yön ve açı ölçüsünde döndürme ile cismin yüz konumlarında meydana gelecek değişim ile ilgili genellemeler (bir cismi x-ekseni etrafında saat yönünde 90 derece döndürme ile, cismin üst tarafı sağa, sağ tarafı tabana, tabanı sola ve sol tarafı üst tabana gelir, ön yüzü yine önde, arka yüzü yine arkada durur). Gelişmiş genellemelere, temel genelleme süreçleri arasındaki ilişkilere çalışarak ve bu süreçleri genişleterek ulaşılabilmektedir. Gelişmiş genellemeler, temel genellemeler ile ilgili muhakeme zincirlerinden geriye doğru çalışmayı, temel genellemeleri referans alıp yeni muhakeme zincirleri oluşturmayı ya da temel genellemelere ulaşırken takip edilenden daha uzun ve karmaşık muhakeme zincirlerini takip etmeyi gerektirmektedir. Döndürme bölümü ile ilgili temel genelleme süreçleri arasındaki ilişkilerden türeyen gelişmiş bir genelleme şu şekilde örneklenebilir: Cisim ve onun belirli bir eksen, yön ve açıda döndürülmüş görüntüsü verildiğinde, cismin yüzlerinin konumlarında meydana gelen değişimden onun hangi eksen, yön ve açıda döndürüldüğünü ifade edebilme. Cabri3D öğretim seansları ile tüm matematik öğretmen adaylarının birinci grup genellemelere ulaştığı belirlenmiştir. İkinci grup genellemelerin hepsine ise uzamsal becerileri daha gelişmiş ve uzamsal görevlerde uzmanlaşmış olanların edinebildiği belirlenmiştir. Uzamsal becerileri nispeten daha az gelişmiş

olanların ise ikinci grup genellemelerin bazılarını edinebildiği, diğerlerini edinemedikleri gözlemlenmiştir.

Çizim Becerilerini Geliştirmelerine Etkisi:

Açınım öğretim seansları boyunca inşa edilen açınım geometrik örüntülerini ve birinci yönelim öğretim seansları boyunca inşa edilen görünüşleri Cabri3D'deki açınım ve görünüşlerle karşılaştırmayı ve birtakım yönlendirmeleri içeren etkinlikler öğretmen adaylarının hem çizim hem de uzamsal becerilerinin gelişmesinde etkili olmuştur. Bu sonuç Kurtuluş'un (2011) çalışması ile benzerlik taşımaktadır. Kurtuluş, bilgisayar destekli çizimlerin öğrencilerin uzamsal yönelim ve perspektif çizim başarılını artırmada geleneksel yöntemlerden daha etkili olduğunu bulmuştur. Çalışma, Kurtuluş'tan farklı olarak bilgisayar destekli çizim aktivitelerinin öğrencilerin çizim becerilerini tek başına geliştirmede etkili olmayacağını, öğretim süresince yapılan yönlendirmelerin de bu becerilerin gelişmesinde etkili olduğunu göstermiştir. Yönlendirmelerin önemi öğretim seanslarından örnekler verilerek açıklanabilir. Örneğin, öğretim seanslarında yapılan yönlendirmelerle öğretmen adayları gönye ve iletki gibi araç-gereçleri geometrik şekilleri inşa etmede nasıl kullanacaklarını öğrenmişlerdir. Geometrik bir şekli inşa etmede iletkiyi kullanma için yapılan yönlendirme şu şekilde örneklendirilebilir: Çizdiğin doğru parçasının sağ uç noktası ile iletkinin ortasındaki küçük yuvarlağı ve iletkinin içte kalan düz çizgisi ile doğru parçasını çakıştır, sonra hangi ölçüde açı çizeceksen onu iletkinin yarım daire şeklindeki kısmından seçip, bu açı için kâğıdın üzerine bir nokta bırak ve ardından bu nokta ile doğru parçasının sağ uç noktasını birleştir. İlerleyen öğretim seansları ile öğretmen adaylarının araç-gereçleri yönlendirmeye gereksinim duymaksızın kullanabildikleri belirlenmiştir. Ayrıca öğretmen adaylarının, son görüşmelerde gerek açınım gerekse birinci yönelim bölümü görevlerini yerine getirirken bu araçları amacına uygun bir şekilde kullandıkları gözlenmiştir.

Öğretim seanslarında katılımcılar doğru geometrik çizimler yapmaları için belirli prosedürleri takip etmelerinin zorunlu olduğu düşüncesine yönlendirilmişlerdir. Bu sayede öğretmen adayları geometrik şekilleri inşa etmek için gerekli prosedür ve kuralları takip etmişlerdir. Örneğin, öğretmen adaylarının, kare ya da dikdörtgen piramidin yan yüzlerini açınım çizimine inşa ederken, ikizkenar üçgenin tabanı olarak aldıkları kenarın üzerine, önce kenarın ortasından belirli bir uzunluğa sahip orta dikme çıktıkları, sonra ikizkenar üçgenin yan kenar uzunluklarını inşa ettikleri gözlenmiştir.

Araç-gereç kullanımı ve belirli prosedürleri içeren geometrik çizim etkinlikleri öğretmen adaylarının geometrik muhakeme becerilerinin gelişmesini sağlamıştır. Örneğin, öğretmen adayları bir kenar üzerinde inşa edilen orta dikmenin tepe noktasını kenarın uç noktaları ile birleştirince elde edilecek şeklin bir ikizkenar üçgen olacağı çıkarımında bulunabilmişlerdir. Bu sonuç Gür ve Kobak-Demir'in (2017) araştırmasında elde ettiği sonuçlarla benzerlik taşımaktadır. Gür ve Kobak-Demir (2017) öğretmen adayıyla gerçekleştirdikleri çalışmada, pergel-cetvel kullanılarak gerçekleştirilen temel geometrik çizim uygulamalarının onların geometrik düşünme düzeylerinde artış ve matematiğe yönelik tutumlarında gelişim sağladığını belirlemişlerdir (s.88).

Cabri3D'e dayalı öğretim yönergeleri öğretmen adaylarının kendi yaptıkları hakkında düşünmelerini sağlayarak, izometrik çizim ve dolayısı ile uzamsal becerilerinin gelişmesi üzerinde etkili olmuştur. Bu durum Erduran ve Yeşildere'nin (2010) çalışması ile benzerlik taşımaktadır. Erduran ve Yeşildere (2010), öğretmen yönergeleri ile ilerleyen ve öğrenenlerin ne yaptıklarını sorgulamadıkları geometrik yapı inşalarının geometrik düşünmeyi desteklemediğini vurgulamaktadır. Erduran ve Yeşildere'ye göre, geometrik çizim araçları kullanılarak gerçekleştirilen öğretimde öğretmen tarafından yönergelerin arka arkaya sunulması öğrencilerin geometrik yapıları inşa etmesini sağlasa bile, onların inşa edilen yapıların özellikleri hakkında muhakemede bulunarak kavramsal öğrenmenin gerçekleşmesine engel olmaktadır. Bunun için geometrik inşalarda esas amaç öğrenenlerin geometrideki temel ilişkileri fark etmelerini sağlamak olmalıdır (s.343). İkinci yönelim bölümü öğretim seanslarından etkinliklerle bu durum örneklendirilebilir. Öğretmen adaylarının küp ortasında yer alan bir cismin, küpün köşe noktalarından birinden bakıldığında oluşacak görüntüsünü çizebilmeleri için izometrik yansıtma tekniklerine doğru bir şekilde başvurmaları gerekmektedir. İzometrik yansıtmada çizgiler (doğru parçaları) arasındaki ilişkiler şöyledir (Reddy, 2008, s.9.3): (1) Nesne üzerinde birbirine paralel olan çizgiler izometrik yansıtma sonucunda da birbirine paraleldir, (2) Nesne üzerindeki dikey çizgiler, izometrik yansıtma sonucunda da dikey olarak görünür, ve (3) Nesnedeki yatay çizgiler, izometrik yansıtmada yatay ile 30 derece açı yapacak şekilde çizilir. İkinci yönelim bölümü öğretim etkinliklerinde, öğretmen adaylarının 3B'li çizimlerde izometrik yansıtma çizgileri arasındaki ilişkileri yansıtamadıkları belirlenmiştir (örneğin, nesne üzerinde birbirine paralel çizgileri, izometrik kâğıtta birbirine paralel yansıtmama gibi). Bu nedenle öğretim seansları boyunca öğretmen adaylarından kendi çizimleri ile Cabri3D'deki görüntüleri

karşılaştırmaları, nerelerde ve niçin hatalar yaptıklarını bulmaları, hatalı çizimlerini nasıl düzeltebileceklerini belirlemeleri ve bu düzeltmenin nedenini açıklamaları için yönlendirmelerde bulunulmuştur. Görevlerde uzmanlaşan öğretmen adayları yönlendirmeler kesildiğinde bile küpün ortasında yer alan cismin karmaşıklığından ve cisme küpün hangi köşe noktasından bakıldığından etkilenmeksizin bakış noktasından elde edilecek görünüşünü izometrik kağıda doğru bir şekilde yansıtabilmişlerdir. Benzer şekilde görevlerde uzmanlık kazanmayan (acemi) öğretmen adayları da yönlendirmeler kesildiğinde bile, küp ortasında yer alan nispeten basit cisimlerin izometrik görünüşlerini çizebilmişlerdir. Oysa acemi öğretmen adayları, nispeten karmaşık cisimlere küpün üst köşe noktalarından birinden bakıldığında elde edilecek görüntüsünü ancak yönlendirmeler aracılığı çizebilmiş, karmaşık cisimlere küpün alt köşe noktalarından birinden bakıldan elde edilecek görüntüsünü ise yapılan yönlendirmelere rağmen çizemeyeceklerini belirtmişlerdir.

4.2.6. Öğretim seanslarının matematik öğretmen adaylarının hata oranlarına etkisi

Öğretim seansları boyunca öğretmen adaylarının sunulan bir görevi hatasız bir şekilde yapıncaya kadar aynı görev üzerinde çalışmaları, onların kendi hatalarının farkına varmalarını, onları düzeltmelerini ve hata yaratan çeşitli davranış kalıplarını tekrarlamamalarını sağlamıştır. Öğretim seanslarında, karmaşıklık derecesi aşamalı olarak artan görevler boyunca hataların giderilmeye çalışılması, öğretmen adaylarının başa çıkamayacakları kadar çok bilişsel yüke maruz kalmalarının önüne geçmiştir. Yani öğretim seansları boyunca öğrenenlerin bilişsel yükleri dikkate alınarak uzamsal görevlere yer verildiği için, onların çalışan belleklerinde görevlerden caymalarına neden olacak derecede bilişsel yük artışı meydana gelmemiştir. Bu çalışma kapsamında yürütülen etkinlikler ile hataların metodolojik olarak düzeltilmeleri gerektiğine dikkat çeken Legutko'nun (2008) çalışmasında vurguladığı etkinkinlikler benzerlik taşımaktadır. Legutko (2008) çalışmasında, hataları azaltmak için 'öğrencilerin kendi hatalarının farkında olmalarını sağlama, onların kendi hatalarını keşfedebilecekleri durumlar yaratma, bunun için 'Niçin? ya da Neden? (Neler yaptın? Oraya nasıl geldin? Bundan emin misin?) şeklinde sorular yöneltme' ile 'soruların yardımcı olmadığı durumlarda, karşılaştırma sağlayacak durum yaratma ya da karşıt bir örnek verme' şeklinde yöntemlere başvurulabileceğini belirtmektedir (s.151). Hata analizleri ve hatalara dayalı öğretim araştırmalarında ana tema, öğrenenlerin kendi hatalarının farkında

olmaları ve kendi hatalarını kendilerinin düzeltebilmeleri üzerindedir. Çalışmada hata analizleri ve hatalara dayalı öğretimin, öğretmen adaylarının performanslarını artırıcı yönde etkili olduğu belirlenmiştir. Bu sonuç literatür tarafından desteklenmektedir. Çeşitli çalışmalar, öğrenen hatalarını ele alarak gerçekleştirilen öğretimin öğrenenler üzerinde pozitif etkiler yarattığını ortaya çıkarmıştır (Örneğin, Heinze, 2005; Heinze ve Reiss, 2007; Joung, Hesketh ve Neal, 2006; Legutko, 2008; Nordstrom, Wendland ve Williams, 1998; Rach, Ufer ve Heinze, 2013). Öğretim sonrasında öğretmen adaylarının hata oranlarında meydana gelen değişim üzerinde etkili olan faktörler aşağıdaki alt başlıklar boyunca tartışılmıştır.

Hata Oranlarındaki Değişim ve Görevlerin Nesnel Karmaşıklığı:

BYT'ye dayalı Cabri3D öğretim seanslarının öğretmen adaylarının hata oranlarını azaltmada, etkili olduğu belirlenmiştir. Ön yazılı değerlendirme ile benzer şekilde, görevlerin nesnel karmaşıklığı arttıkça genel olarak öğretmen adaylarının hata oranlarının da arttığı gözlenmiştir. Açınım bölümü birinci kategori son değerlendirme görevlerinde çok çok düşük oranlarda A1, A2 ve A3 hatası (sırayla %1.25, %2.7 ve %2.7), oldukça düşük oranda A4 hatası (%7.05) yapılmıştır. Açınım ikinci kategori görevlerde çok düşük oranda A1 ve %10 ile %15 aralığında değişen oranlarda A2 ve A3 hata profili sergilenmiştir. Ayrıca ön görüşme ile karşılaştırıldığında A4 hata oranı da önemli oranda azalmıştır. Döndürme bölümü birinci kategori son yazılı değerlendirme görevlerinde hiç D1 hatasının yapılmadığı görülmüştür. D2 hatasının sergilenme oranı %5 seviyelerine kadar inmiştir. İkinci kategori görevlerde ise ortalama %4 oranında D1 ve ortalama %9 oranında D2 hatası yapıldığı tespit edilmiştir. Birinci yönelim bölümü son yazılı değerlendirmede yer alan birim küplü yapılara farklı yönlerden bakmayı içeren görevlerde hiç hata yapılmadığı gözlenmiştir. Eğrisel ya da eğik yüzlere sahip orta derece karmaşık yapılara farklı yönlerden bakmayı içeren görevlerde hiç Y1, Y3 ve Y4 hatası yapılmadığı belirlenmiştir. İstenen düzeyde olmasa da ön yazılı değerlendirme ile karşılaştırıldığında, öğretmen adaylarının Y2 hata oranlarında da azalma meydana gelmiştir. Eğik ve/veya eğrisel yüzlere sahip yapılara bakma görevlerinde hiç Y4 hatası yapılmazken, Y1 ve Y3'ün sergilenme oranlarının önemli oranda azaldığı belirlenmiştir. Bu görevlerde istenen düzeyde olmasa da Y2 hatasının sergilenme oranı da azalmıştır. Verilen bir cisme küpün üst ve alt köşe noktalarından bakmayı gerektiren ikinci yönelim bölümü son yazılı değerlendirme görevlerinde, öğretmen adaylarının cismin hangi kısımlarını göreceklerini doğru bir şekilde belirledikleri ve yeni vücut yönelimlerine göre

cismin hangi kısımların nerede göreceklerini doğru bir şekilde ifade ettikleri gözlenmiştir. Ayrıca öğretmen adaylarının izometrik çizim hatalarında da azalma meydana gelmiştir.

Uzamsal Görevlerde Gömülü Bilişsel Yük Alanları ile Başaçıkma:

Son yazılı değerlendirme görevlerinde, öğretmen adaylarının uzamsal görevlerde gömülü olan bilişsel yükün yerleşim alanlarının çoğu ile başaçıkabildikleri belirlenmiştir. Fakat bilişsel yükün yerleşim alanlarının bazılarında öğretmen adaylarının bazılarının başa çıkamayacakları kadar yüke maruz kaldıkları ve bu nedenle hatalar yapabildikleri gözlenmiştir. Öğretmen adaylarının başa çıkamayacak kadar bilişsel yüke maruz kaldıkları, açınım, döndürme ve yönelim uzamsal görevlerinde bilişsel yükün yerleşim alanlarından bazıları şu şekilde örneklendirilebilir: (1) Karmaşıklık derecesi fazla olan kombine cisimlerde dikdörtgen şeklinde olmayan dış bükey ya da iç bükey yüzleri tabana komşu olmayan yüzlere açma ve açınım geometrik örüntüsünde komşu olmayan fakat yüzey kapanınca bir araya gelecek kenar çiftlerini belirleme (açınım), (2) iki eksende döndürülmüş bir cisme göre başka bir cismi döndürme görevinde, birinci cisme uygulanan ikinci dönme hareketini ve/veya ikinci cisme uygulanan ikinci dönme hareketini zihinde canlandırma (döndürme) ve (3) yapıya belirli bir yönden bakma görevinde, yapıdaki orantısal ilişkiler hakkında çıkarımda bulunma ve eğik (ya da eğrisel) yüzeylerin görünüşünü zihinde canlandırma (yönelim).

Uzamsal Becerilerin Göstergesi Olarak Katılımcı PSVT Puanlarındaki Değişim ve Katılımcı Hata Oranları:

Öğretim seanslarından sonra öğretmen adaylarının PSVT puanlarının attığı gözlenmiştir. Öğretim seanslarından önce Tuğçe, Pınar, Özge ve Melis PSVT sorularının sırayla %30, %30, %50 ve %58'ini doğru bir şekilde cevaplandırırken, seanslardan sonra sırayla %88, %72, %66 ve %91'ini doğru bir şekilde cevaplandırmıştır. Öğretim seanslarından sonra öğretmen adaylarının her birinin açınım, döndürme ve yönelim bölümü PSVT puanlarının her birinde artış meydana geldiği tespit edilmiştir. Öğretmen adaylarının seanslardan önce de seanslardan sonra da en başarılı olduğu bölüm açınım, en başarısız olduğu bölüm yönelim olmuştur. Öğretim seanslarından önce öğretmen adayları ortalama olarak açınım, döndürme ve yönelim sorularının sırayla %50, %48 ve %25'ini doğru bir şekilde cevaplandırabiliyorken, seanslardan sonra sırayla %91, %79 ve %69'unu doğru bir şekilde cevaplandırmışlardır. Bunda yönelim bölümü sorularının PSVT'de en sonda yer alması, öğretim seanslarında en son yönelim bölümü etkinliklerine

yer verilmesi ve PSVT soruları ile benzer etkinliklerin yer aldığı ikinci yönelim bölümüne sadece iki seans ayrılmasının etkili olduğu düşünülmektedir.

Öğretmen adaylarının ön-PSVT'deki performanslarının, son-PSVT performanlarını etkilemediği belirlenmiştir. Öğretim seanslarından önce en yüksek PSVT puanına sahip katılımcı Melis, en düşük PSVT puanına sahip katılımcı Tuğçe olmasına rağmen, seanslardan sonra iki katılımcının performansının birbirine yakın ve oldukça yüksek olduğu belirlenmiştir.

Öğretmen adaylarının ön-yazılı değerlendirme hata oranlarının, öğretim seansları boyuncaki kazanımları ve son yazılı değerlendirme hata oranları üzerinde etkili olduğu belirlenmiştir. Ön-yazılı değerlendirme görevlerinde kısmen daha az oranda hata yapan Tuğçe ve Melis, son yazılı değerlendirme görevlerinde de kısmen daha az oranda hata yapmıştır. Bu durum Pınar ve Özge için tam tersidir.

Öğretmen adaylarının son-yazılı değerlendirme kazanımları ve son-PSVT performansları arasında anlamlı bir ilişki olduğu belirlenmiştir. Örneğin, açınım, döndürme ve yönelim bölümü son yazılı değerlendirme görevlerinin her birinde en düşük oranda hata yapan Tuğçe ve Melis, son-PSVT'de en yüksek puanı alan iki katılımcı olmuştur.

Öğretmen adaylarının açınım, döndürme ve yönelim son-PSVT puanları ile açınım, döndürme ve yönelim bölümü son yazılı değerlendirme hata oranları arasında kısmen anlamlı bir ilişki olduğu tespit edilmiştir. Son-PSVT açınım bölümü sorularında Tuğçe ve Melis hiç hata yapmamışlardır, onların son yazılı değerlendirme görevlerindeki hata oranlarının (A1: %0, A2: %7.4, A3: %0, A4: %14.1 ve A1: %1, A2: %4, A3: %1, A4: %15.3) da diğer iki katılımcıdan düşük olduğu belirlenmiştir. Özge'nin son-PSVT açınım bölümü sorularının sadece birini yanlış yaptığı, Pınar'ın ise üçünü yanlış yaptığı belirlenmiştir. Bu iki katılımcının açınım son yazılı değerlendirme görevlerindeki hata oranları karşılaştırıldığında Özge'nin hata oranlarının (A1: %6.1, A2: %8.1, A3: %12.5, A4: %33.8) Pınar'dan (A1: %7.5, A2: %15.1, A3: %13, A4: %39.3) biraz daha düşük olduğu söylenebilir. Tuğçe, Melis ve Pınar son-PSVT döndürme bölümü sorularının bir ya da ikisini yanlış yapmıştır, döndürme son yazılı değerlendirme görevlerinde Tuğçe ve Pınar'ın hiç hata yapmadıkları, Melis'in ise döndürme birinci kategori görevlerden birinde dikkatsizlikten dolayı açı belirleme hatası yaptığı gözlenmiştir. Özge son-PSVT döndürme bölümü sorularının yarısına yakınını yanlış cevaplarken, son yazılı değerlendirmede yer alan iki eksende döndürülmüş bir cismin nasıl döndürüldüğünü

belirleme görevlerinin birinde ve iki eksende döndürülmüş bir cisme göre başka bir cismi döndürme görevlerinin birinde eksen ve yön belirleme hatası yapmıştır. Tuğçe ve Melis'in son PSVT yönelim bölümü sorularının sadece ikisini yanlış cevaplandırdığı tespit edilmiştir. Tuğçe'nin birinci yönelim bölümü son yazılı değerlendirme hata oranlarının diğer katılımcılardan daha düşük olduğu belirlenmiştir. Tuğçe'den sonra en düşük hata oranına sahip katılımcı Melis olmuş ve onu sırayla Pınar ve Özge takip etmiştir. Tuğçe ve Melis'in ikinci yönelim bölümü sorularının hepsini doğru cevaplandırdığı, Pınar ve Özge'nin ise karmaşıklık düzeyi daha az olan soruları doğru cevaplarken, karmaşıklık düzeyi fazla olan görevlerde hatalar yaptıkları gözlenmiştir.

Öğretim seanslarından sonra öğretmen adaylarının hata oranlarında azalma meydana gelip gelmemesi, uzamsal zorluklarının ne derece giderildiği hakkında bilgi sağlamıştır. Fakat hata oranlarındaki azalma, uzamsal görevlerin artık öğretmen adayları üzerinde bilişsel yük yaratmadığı şeklinde yorumlanamaz. Görevlerin öğretmen adayları üzerinde bilişsel yük yaratıp yaratmadığını ya da ne derece bilişsel yük yarattığını belirleyebilmek için görevlerin algılanan zorluğu ile ilgili katılımcı derecelendirme puanlarının da göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Bu nedenle bir sonraki bölümde öğretim seanslarından sonra uzamsal görevlerin öğretmen adayları tarafından algılanan zorluğunda etkili olan faktörler tartışılmıştır.

4.2.7. Öğretim seanslarından sonra görevlerin matematik öğretmen adayları tarafından algılanan zorluğu

Öğretim seanslarının ardından belirli uzamsal görevlerin algılanan zorluğunda azalma meydana gelirken, bazılarının algılanan zorluğunda değişiklik meydana gelmediği belirlenmiştir. Öğretim seanslarından sonra görevlerin algılanan zorluğunda etkili olan faktörler aşağıda yer alan alt başlıklar boyunca tartışılmıştır:

Görevlerin Algılanan Zorluğundaki Değişim ve Görevlerin Nesnel Karmaşıklığı:

BYT'ye dayalı olarak tasarlanan Cabri3D öğrenme ortamı uzamsal görevlerin genel olarak matematik öğretmen adayları tarafından algılanan zorluğunun azalmasında etkili olsa da her bir kategori ve bölümün algılanan zorluğu için aynı durum söz konusu olmamıştır. Örneğin, öğretim seanslarından önce ikinci kategori açınım görevlerinin katılımcılar tarafından algılanan zorluğu ortalama yaklaşık 8.2 puanken, seanslardan sonra bu oran ortalama yaklaşık 6.95 puan seviyelerine inmiştir. Fakat birinci kategori görevlerin algılanan zorluğunda fazla bir değişiklik olmamıştır. Seanslardan önce açınım

birinci kategori görevlerin algılanan zorluğu ortalama yaklaşık 2.9 puanken, seanslardan sonra 3.05 puan olmuştur. Öğretim seanslarından sonra, döndürme bölümünün her iki kategorisinde yer alan görevlerin algılanan zorluğunda ise azalma meydana gelmiştir. Döndürme bölümü birinci kategori görevlerin katılımcılar tarafından algılanan zorluğu seanslardan önce ortalama 3.62 puan civarındayken, seanslardan sonra 1.58 puan seviyelerine inmiştir. İkinci kategori görevlerin algılanan ortalama zorluğu ise seanslardan önce otalama yaklaşık 8.31 ortalama yaklaşık 5.06 puan seviyelerine inmiştir. Yönelim bölümünde ise, birinci yönelim bölümündeki görevlerin algılanan zorluğunda azalma meydana gelirken, ikinci yönelim bölümündeki görevlerin algılanan zorluğunda bir değişiklik olmamıştır. Seanslardan önce birim küplerden oluşan bütünleşik ve bütünleşik olmayan yapıların çoklu görünüşleri ile ilgili katılımcı puanları sırayla ortalama yaklaşık 4.88 ve 5.63 puanken, seanslaran sonra ortalama yaklaşık 1.75'er puana inmiştir. Benzer şekilde eğik ve eğrisel orta derece karmaşık yapılar ile eğik ve/veya eğrisel karmaşık yapıların algılanan zorluğunda da azalma meydana gelmiştir. Oysa ikinci yönelim bölümü görevleri öğretim seanslarından önce de sonra da öğretmen adayları tarafından çok zor bulunmuştur.

Görevlerin Bilişsel Taleplerindeki Değişim:

Öğretim seansları ile uzamsal görevlerin öğretmen adayları tarafından algılanan zorluğunun azalması beklenir. Fakat öğretim seanslarından sonra bile bazı görev türlerinin algılanan zorluğunda bir değişiklik olmadığı hatta bazılarının algılanan zorluğunda artış meydana gelebildiği gözlenmiştir. Öğretmen adaylarının öğretim seansları boyuncaki kavram kazanımları, uzamsal becerilerindeki gelişim ve şema oluşumları dikkate alındığında, görevlerin algılanan zorluğunda bir değişiklik olmaması ya da düşük oranda da olsa artışlar meydana gelmesi, onların bilişsel taleplerindeki artış ile açıklanabilir. Buradan görevlerin bilişsel taleplerindeki artışın, sunulan eğitime rağmen öğretmen adaylarının bilişsel yüklerinin artmasına ya da değişmemesine neden olacağı sonucu çıkarılabilir. Bu duruma açınım bölümü birinci kategori görevleri örnek olarak verilebilir. Ön görüşmelerde katılımcılar birinci kategoride yer alan cisimlerin açınım çizimlerini yaparken, cismin yüzeyini oluşturan yüzlerin geometrik özelliklerine, şekiller arasındaki açı-kenar ilişkilerine, geometrik bağıntılara ve çizim kurallarına başvurmamışlardır. Katılımcılar ya bu prosedürlere nasıl başvuracaklarını bilmediklerinden ya da onlarda otomatikleşmediklerinden onların çoğunu açınım çizimlerini yaparken göz ardı etmişlerdir. Katılımcılar hem açınımı yapılacak cisimlere

ait ön bilgi ve deneyime sahip olduklarından hem de açınımlarını yaparken birçok çizim kuralını ihmal ettiklerinden görevleri basit bulmuşlardır. Öğretim seanslarından sonra ise birinci kategoride yer alan görevlerin algılanan zorluğunda bir azalma meydana gelmemiştir. Bunun iki nedeni vardır. Birincisi, son görüşme görevlerinin öge ve etkileşimli öge sayısında artış yapılması ile görevlerin karmaşıklık derecelerinde artış meydana gelmesidir (örneğin, dik üçgen prizma yerine düzgün sekizgen prizmanın açınımını yapmışlardır). İkincisi, katılımcıların ön görüşmelerde ihmal ettikleri çeşitli prosedürlerin yerine getirilmesi gerektiğini fark etmiş olmalarıdır (örneğin, gönye ve iletki gibi araç-gereçleri amacına uygun bir şekilde kullanma, ikizkenar bir üçgen çizebilmek için orta dikmeden faydalanma v.b).

İnşa Edilen Yeni Şemalar ve Otomatikleşme:

Öğretim seansları öğretmen adaylarının mevcut şemalarını geliştirmeleri ve etkili bir şekilde kullanmalarını sağlamanın yanısıra onların yeni şemalar edinmeleri üzerinde de etkili olmuştur. Öğretmen adayları uzamsal görevlerde uzmanlaşma derecelerine göre mevcut şemalarını ve yeni edindikleri şemaları otomatik bir şekilde kullanabilmişlerdir. Uzamsal görevlerde otomatikleşme onların öğretmen adayları tarafından algılanan zorluğunun azalmasını sağlamıştır. Bu durum döndürme bölümü uzamsal görevleri ile örneklendirilebilir. Öğretmen adayları döndürme bölümü ön yazılı değerlendirmede, tek eksende döndürülmüş bir cismin hangi eksen, yön ve açıda döndürüldüğünü sezmiş, dönme eksen ve açısı ile ilgili kavram şemasına sahip olmasalar da görevleri basit bulduklarını gösteren puanlamalar yapmışlardır. Fakat öğretmen adaylarının görevleri doğru yapıp yapmadıklarından emin olmamaları (çünkü ön-görüşmelerde öğretmen adaylarının 3B'li koordinat sistemindeki x, y ve z eksenleri etrafında, saat yönü ya da tersi yönde 90, 180 ve 270 derecelik dönme hareketleriyle ilgili ön bilgi ve deneyime sahip olmadıkları gözlenmiştir), algılanan zorlukla ilgili derecelendirme puanlarının belirli bir seviyede kalmasına neden olmuştur. Öğretim seanslarıyla öğretmen adayları tek eksende döndürülmüş bir cismin nasıl döndürüldüğünü analitik olarak ifade etme ve tek eksende döndürülmüş bir cisme göre başka bir cismi döndürme görevlerinde uzmanlaşmış ve uzamsal görevleri daha da basit bulduklarını gösteren puanlamalar yapmışlardır. Öğretmen adaylarının döndürme bölümü ikinci kategori görevleri yapmak için edindikleri yeni şemalar ve onlara başvurmada otomatiklik kazanmaları, ön yazılı değerlendirmelerle karşılaştırıldığında, son yazılı değerlendirme görevlerinin algılanan

zorluğunun düşmesini sağlamıştır. Açınım ve yönelim bölümü için de benzer örnekler verilebilir.

Ulaşılan Genellemelere Esnek Bir Şekilde Başvurma:

Öğretmen adaylarının öğretim seansları boyunca ulaştıkları genellemeleri, son yazılı değerlendirme görevlerini yaparken esnek bir şekilde kullanmaları, görevlerin algılanan zorluğunun azalmasında etkili olmuştur. Bu durum açınım, döndürme ve yönelim bölümünden örneklerle şu şekilde açıklanmıştır: (1) Öğretim seansları ile cisimlerin yüzey açınımlarını yapma görevlerinde uzmanlaşmış öğretmen adaylarının karmaşıklık derecesi farklı cisimlerin yüzeyini açmak için çeşitli stratejiler geliştirip uygulayabildikleri belirlenmiştir. Öğretmen adaylarının cisimlerin yüzeyini açarken nispeten kendilerine kolay gelen stratejileri seçmeleri ve uygulamaları, bilişsel yüklerini azaltmıştır. Mesela kombine cisimlerin yüzeyini açmak için taban etrafına yan yüzleri açma ya da kombine edilen cisimlerin açınımlarından yararlanma gibi stratejilerin seçilip uygulanması, görevlerin öğretmen adayları tarafından algılanan zorluğunun azalmasında etkili olmuştur. (2) Döndürme görevleri ile ilgili genellemelere ulaşmamış öğretmen adaylarının döndürülmüş bir cismin dönme hareket (dönme ekseni, yönü ve açı ölçüsünü) ya da hareketlerini belirleyebilmek için, deneme yanılma yöntemine başvurduğu belirlenmiştir. Cisme uygulanan dönme hareket ya da hareketlerini belirleme sürecinde, başarısızlıkla sonuçlanan deneme girişimlerinin öğretmen adaylarının bilişsel yüklerinde artış meydana getirdiği gözlenmiştir. Oysa döndürme görevlerinde uzmanlaşmış öğretmen adayları cismin yüz şekillerinde meydana gelen değişimden onun dönme hareketini daha kolay bir şekilde belirleyip ifade edebilmişlerdir. (3) Son-yazılı değerlendirme ve görüşmeler, öğretmen adaylarının birinci yönelim bölümü sorularını yaparken yapının ön/arka, sağ/sol ve üst/alt görünüşleri ile ilgili genellemelere başvurduklarını göstermiştir. Öğretmen adayları bakış yönünün bilişsel yük yarattığı durumlarda arka görünüş çizimi için önden, sol görünüş çizimi için sağdan ve üst görünüş çizimi için alttan yararlanmışlardır. Ulaşılan genellemelere görevlerin gereklerine göre esnek bir şekilde başvurulabilmesi, görevlerin öğretmen adayları tarafından algılanan zorluğunda azalmasında etkili olmuştur. Öğretim seanslarından önce birinci yönelim bölümü görevlerinin algılanan zorluğu ile ilgili katılımcı derecelendirme puanları ortalama yaklaşık 6.55 puanken, bu oran seanslardan sonra ortalama yaklaşık 3.79 puan seviyelerine kadar inmiştir. Ayrıca son yazılı değerlendirmede ön ile arka, sağ ile sol ve üst ve alt görünüşün algılanan ortalama zorluğunun birbirine yakın olduğu belirlenmiştir.

Hata Oranları ve Görevlerin Algılanan Zorluğu:

Öğretmen adaylarının öğretim seanslarından sonraki hata oranları ve görevlerin algılanan zorluğu ile ilgili derecelendirme puanları arasında anlamlı bir ilişki olmadığı belirlenmiştir. Örneğin, son-yazılı değerlendirme açınım görevlerinde en düşük oranda hata yapan iki katılımcı Tuğçe ve Melis olmasına rağmen, açınım bölümü birinci kategori görevleri en zor bulan iki katılımcı Tuğçe (3.4 puan) ve Pınar (3.4 puan) olmuştur. Açınım bölümü ikinci kategori görevleri en kolay bulan katılımcı Tuğçe (5.8 puan) olmasına rağmen, diğer katılımların görevlerin zorluğu ile ilgili derecelendirme puanlarının birbirine yakın ve oldukça yüksek olduğu belirlenmiştir (7-8 puan arası).

Görevin zorluğu, ön-görev ve son-görev zorluğu olmak üzere iki kapsamda ele alınabilir. Bunlardan ilki öz-yeterliliğe atıfta bulunmaktadır ve 'görev ne kadar zor olacak?' sorusu ile bağlantılıdır, oysa ikincisi görevi gerçekleştirmek için ortaya konan çabanın miktarına işaret etmektedir ve 'görevi tamamlamak ne kadar zor?' sorusu ile ilişkilidir (Liu ve Li, 2012, s.559). Buradan matematik öğretmen adaylarının görevlerin algılanan zorluğu ile ilgili ön-yazılı değerlendirme derecelendirme puanlarının görevleri gerçekten ne derece zor buldukları ile ilgiliyken, son yazılı değerlendirme derecelendirme puanlarının görevleri tamamlamak için harcadıkları çabayla bağlantılı olduğu söylenebilir.

4.3. Öneriler

Araştırmanın sonuçlarına bağlı olarak 'araştırmanın genişletilmesine yönelik', 'dinamik geometri öğrenme materyallerinin tasarımına yönelik', 'BYT'ye dayalı olarak yapılacak araştırmalara yönelik' ve 'öğretim programı tasarlayıcılarına ve matematik eğitimcilerine yönelik' önerilerde bulunulmuştur.

4.3.1. Araştırmanın genişletilmesine yönelik öneriler

Uzamsal becerilerin geliştirilmesi ile literatürde yer alan benzer çalışmalar göz önünde bulundurularak araştırmanın genişletilmesine yönelik aşağıda yer alan önerilerde bulunulmuştur.

(1) Çalışma kapsamında öğretmen adaylarının uzamsal görselleştirme becerileri PSVT yardımı ile değerlendirilmiştir. Fakat öğretmen adaylarının 2B'li ve 3B'li geometrik düşünme seviyeleri göz önünde bulundurulmamıştır. Öğretmen adaylarının uzamsal becerilerinin yanısıra Van Hiele Geometrik Düşünme Seviyeleri'nin de

ölçülmesi önerilir. Böylece öğrenenlerin uzamsal becerileri ile geometrik düşünme seviyeleri arasındaki ilişki olup olmadığı ile BYT'ye dayalı Cabri3D öğrenme ortamının öğrenenlerin uzamsal beceri ve geometrik düşünme seviyelerini geliştirmede ne derece etkili olduğu birbiri ile karşılaştırılabilir.

(2) Çalışmada öğretmen adaylarına her bir materyalin etkili ve/veya etkisiz yönleri ile ilgili bir anket uygulanmamış ya da bu konu hakkında onlarla görüşmeler yapılmamıştır. Öğretmen adayları ile her bir materyalin öğrenme sürecine etkisi hakkında görüşmeler yapılabilir ya da onlara materyallerin etkiliğini içeren bir anket uygulanabilir. Böylece hangi tür Cabri3D materyalinin öğrenme sürecini desteklemede daha etkili olduğu irdelenebilir.

(3) Çalışma kapsamında gerçekleştirilen etkinliklerde öğretmen adayları çizimlerini kareli ve izometrik kağıtlar üzerine gerçekleştirmişlerdir. Bilgisayar tabanlı çizim etkinliklerinden yararlanma ile el ile yapılan çizim etkinliklerinden yararlanmanın araştırma sonuçlarına etkisi bilinmemektedir. İki eş örneklemden birinin çizimlerini bilgisayar ortamında, diğerinin el ile yapması sağlanarak iki yaklaşımın uzamsal becerilerin gelişimine etkisi incelenebilir.

(4) Çalışma sadece dört katılımcı ile gerçekleştirilmiştir. Araştırma ortak bir kurs kapsamında bir eğitim-öğretim dönemi boyunca bir ya da birkaç sınıfta gerçekleştirilerek, BYT'e dayalı Cabri3D öğretim tasarımının daha büyük örneklemlere etkisi araştırılabilir.

(5) Çalışma açınım, döndürme ve yönelim uzamsal görevleri için ayrılan 4'er öğretim seansı ile sınırlı kalmıştır. Öğretmen adaylarının görüşleri bilhassa ikinci yönelim bölümü etkinliklerine daha uzun süre ayrılması yönündedir. Bu görüşler doğrultusunda her bir bölüm ayrı ayrı ele alınıp, her birine daha uzun süre ayrılıp, öğretmen adaylarının her bir bölümdeki gelişimleri ayrı ayrı değerlendirilebilir.

(6) Çalışma boyunca kullanılan materyaller araştırma kapsamında BYT referans alınarak hazırlanan Cabri3D materyalleridir. Aynı tür uzamsal görevler için farklı muhakeme türlerini barındıran Cabri3D materyallerinin eşdeğer bir kaç farklı örneklemin uzamsal becerilerini geliştirmeye etkisi incelenebilir.

(7) Çalışma sadece matematik öğretmen adayları ile sınırlı tutulmuştur, BYT'e dayalı Cabri3D öğretim tasarımının ortaokul ve lise öğrencilerinin uzamsal becerilerinin gelişimi üzerine etkisi incelenebilir.

(8) Çalışma sadece kız öğrenciler ile gerçekleştirilmiştir, aynı sayıda kız ve erkek öğrencinin bulunduğu bir örneklem ile gerçekleştirilerek, uzamsal becerilerin gelişiminde

cinsiyetin etkili olup olmadığı araştırılabilir. Ayrıca yapılacak çalışmalarda ebeveynlerin sosyo ekonomik ve kültürel durumlarının etkisi irdelenebilir.

4.3.2. Dinamik geometri öğrenme materyallerinin tasarımına yönelik öneriler

Araştırmalarında dinamik geometri öğrenme materyallerinden yararlanacaklar için bu çalışmanın sonuçlarına dayalı olarak geliştirilen öneriler aşağıda yer almaktadır.

(1) Cabri3D gibi materyaller tasarlanırken, öğrenenlerin onlardan nasıl yararlanacakları ön görülmelidir. Eğer materyaller ile öğrenenlerin problem çözme becerilerinin gelişmesi isteniyorsa, onların materyalleri problemi anlamada, strateji geliştirmede, geliştirdikleri stratejileri uygulamada ve uyguladıkları stratejinin doğruluğunu kontrol etmede kullanabilmelerini sağlayacak şekilde materyaller tasarlanabilir.

(2) Öğrenenlerin teknoloji ortamında genelleme süreçlerini inceleyen araştırmaların çoğunda, katılımcıların Cabri3D gibi dinamik geometri yazılımlarında oluşumlar üretmeleri ve ürettikleri oluşumlardan birtakım genellemelere ulaşmaları beklenmektedir. Oysa Cabri3D gibi yazılımlar yardımıyla materyaller öğrenenlerin belirli bir kavram ile ilgili genellemelere ulaşmalarını sağlayacak şekilde tasarlanabilir. Başka bir ifadeyle materyal tasarımında öğrenenlerin çeşitli kavramlar ile ilgili genellemelere ulaşmalarını sağlama düşüncesi göz önünde bulundurulabilir.

(3) Tasarımcıların materyalleri öğrenenlerin bilişsel ve geometrik düşünme düzeylerini göz önünde bulundurarak tasarlamaları beklenir. Ayrıca materyal tasarımında BYT gibi teorik çerçevelerin ortaya attığı düşünceler ve ilgili çalışmalardan elde edilen sonuçlar göz önünde bulundurulabilir.

4.3.3. BYT'ye dayalı olarak yapılacak benzer araştırmalar için öneriler

Araştırma sonucunda geliştirilen ileride BYT'ye dayalı olarak yapılacak benzer araştırmalara yönelik öneriler aşağıda yer almaktadır.

(1) BYT'e göre, öğretim bir öğrenenin bilişsel sistemine üç tür bilişsel yük empoze etmektedir: Asıl yük, konu dışı yük ve etkili bilişsel yük. Öğrenme sürecinde ve öğretim etkinlikleri boyunca öğrenenlerin çalışan belleklerinde oluşan yükün artmasının ve azalmasının hangi bilişsel yük türü ya da türleri ile bağlantılı olduğunu ayırt etmek, öğretim tasarımının etkili ve etkisiz yönlerini görmemizi sağlar. Çalışma kapsamında öğretmen adaylarının çalışan belleklerinde oluşan yükün hangi bilişsel yük türü ile

bağlantılı olduğu görüşme ve gözlemler sırasında öğretmen tarafından belirlenmiştir. Öğretmen adaylarının öğretim seansları boyuncaki asıl, konu dışı ve etkili yüklerini ölçmede nicel ölçme araçlarına başvurulmamıştır. Leppink ve diğerleri (2013, s. 2-3), BYT'e dayalı bir öğretim tasarımında çalışan bellekte oluşan farklı yük türlerini birbirinden ayrıştırmanın gerekli olduğu düşüncesindedir ve çalışmalarında, karmaşık bilgi alanlarında asıl, konu dışı ve etkili yükü ölçen yeni bir ölçme aracı geliştirmişlerdir. BYT'ye göre tasarlanacak bir öğretimde Leppink ve diğerleri tarafından geliştirilen ölçme aracına başvurularak, öğrenenlerin öğrenme süreçlerine ket vuran yük türünü tespit edilmesinin ve devam eden öğrenme faaliyetlerinin bu durumlar dikkate alınarak düzenlenmesi daha faydalı olabilir.

(2) BYT'ye dayalı bir öğretim tasarımında, öğrenenlerin görevlere ve etkinliklere motive olup olmadıklarının belirlenmesi, eğer motive olamamışlarsa bunun altında yatan nedenlerin araştırılarak ortadan kaldırılmaya çalışılması, verimli bir öğrenme süreci için gereklidir. BYT'ye dayalı öğretim tasarımında öğrenme sürecini olumlu ve olumsuz etkileyen duyusal faktörler çeşitli anketler yoluyla tespit edilip, çalışan belleğin daha verimli bir şekilde kullanılması sağlanabilir.

(3) BYT kapsamında matematik öğretmen adaylarının uzamsal görselleştirme görev ve etkinlikleri boyunca geometrik terimleri, tanımları, özellikleri, ilişkileri, muhakemeyi ve ispatı içinde barından geometrik dile ne sıkla ve ne derece doğru bir şekilde başvurulabildiklerinin belirlenmesi, katılımcıların bilişsel yüklerindeki değişimi onların söylemlerinden inceleme imkânı sağlayarak, araştırmaya farklı bir boyut kazandıracağı düşünülmektedir.

(4) BYT'e dayalı öğretim seansları ve görüşmeler kapsamında matematik öğretmen adaylarının uzamsal görevlerin gereklerini yerine getirirken, göz izleme tekniği kullanarak nerelerde zorlandıkları, görevleri ne kadar sürede yerine getirdikleri ölçülerek otomatiklik kazanıp kazanmadıkları ve bilişsel çaba anketleri kullanılarak, görevleri yapmak için ne kadar çaba sarf ettikleri değerlendirilebilir.

4.3.4. Öğretim programı tasarlayıcılarına ve matematik eğitimcilerine öneriler

Araştırma sonucunda öğretim programı tasarlayıcıları ve matematik eğitimcileri için geliştirilen öneriler şu şekilde sıralanabilir.

(1) Mevcut matematik öğretim programlarında, cisimlerin yüzey açınımları bağlamında, vurgu sadece prizma, silindir, piramit ve koni gibi cisimlerin açınımlarını

gerektiren görev ve etkinlikler üzerinedir. Fakat PSVT gibi, uzamsal becerileri ölçmede kullanılan testlerde, bir düzlemle kesilmiş aşina cisimler (kesik küp gibi) ile kombine cisimlerin (aşina iki ya da üç cismin kombine edilmesi gibi) yüzey açınımını gerektiren görev ve etkinlikler de yer almaktadır. Matematik öğretim programları ve ders ve yardımcı kitaplarda prizma, silindir, piramit ve koni gibi cisimlerin yüzey açınımlarının yanısıra, düzgün çokyüzlüler, iç bükey prizmalar, iç bükey piramitler, kesik cisimler ve kombine cisimlerin yüzey açınımını gerektiren görev ve etkinliklere yer verilebilir.

(2) Öğrenenlerin uzamsal becerilerini geliştirebilmek için BYT esas alınarak tasarlanmış dinamik geometri öğrenme ortamlarına dayalı seçmeli dersler ya da kurslar açılabilir. Bu ders ya da kurslarda 2013 yılından önceki geometri öğretim programında yer alan 3B'li bir cismin 3B'li bir dik-koordinat sisteminin eksenlerine göre dönme hareketlerine yer verilebilir. Yönelim bağlamında, sadece birim küplü yapıların değil, koni ve kare prizma gibi eğrisel ya da eğik yüzeyler içeren yapıların farklı yönlerden görünümlerini içeren görevler içerilebilir. Açınım bağlamında ise sadece aşina cisimler değil, modifiye ve kombine cisimlerin yüzey açma-kapama görevleri kullanılabilir.

(3) BYT çerçevesi referans alınarak, matematik öğretmenlerinin derslerinde kullanabilecekleri Cabri3D ya da farklı dinamik geometri programları kullanılarak hazırlanmış, uzamsal becerileri geliştirmeye yönelik açınım, kâğıt katlama, tahta biçimlendirme, gömülü şekil, 2B ve 3B'da döndürme, çoklu görünüm gibi bölümleri içeren materyal havuzu oluşturulabilir.

(4) BYT referans alınarak, öğrencilerin hem uzamsal becerilerini geliştirmeye hem de 2B'de ve 3B'de geometrik çizim becerilerini geliştirmeye yönelik seçmeli dersler ya da kurslar açılabilir.

(5) Çeşitli matematik ve geometri konuları ile ilgili ders etkinliklerinin tasarlanmasında ve öğrencilere uygulanacak sınıf içi değerlendirmelerde BYT'e başvurulabilir. Örneğin, açılar.

(6) Öğrencilerin matematik ders ve çalışma kitapları içinde yer alan görev ve etkinlikler BYT referans çerçeve olarak hazırlanabilir. Bu kitaplarda yer alan görevler boyunca öğrenci bilişsel yükleri, görevlerdeki hataları, görevleri ne derece zor ya da kolay buldukları ve görevleri yapmada ne kadar çaba sarf ettikleri sorularak ölçülebilir.

KAYNAKÇA

Abdullah, A. H. and Zakaria, E. (2011). Students' perceptions towards the Van Hiele's phases of learning geometry using Geometer's Sketchpad software. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences,* 5(7), 787-792.

Abdullah, A. H. and Zakaria, E. (2013). The effects of van Hiele's phase-based instruction using the geometer's sketchpad (GSP) on students' level of geometric thinking. *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology,* 5(5), 1652-1660.

Achera, L. J. Belecina, R. R. and Garvida, M. D. (2015). "The Effect of Group Guided Discovery Approach on The Performance of Students in Geometry". *International Journal of Multidisciplinary Research and Modern Education,* 1(2): 331-342.

Adanez, G.P. and Velasco, A.D. (2004). Training visualization ability by technical drawing. *Journal for Geometry and Graphics*, 8(1), 107-115.

Adler R. F. and Benbunan-Fich R. (2014) The effects of task difficulty and multitasking on performance, *Interacting with Computers*, First published online: March 9, 2014, DOI: 10.1093/iwc/iwu005

Albro, E., Booth, J., Levine, S. and Massey, C. (2009), "Making Cognitive Development Research Relevant in the Classroom" (paper presented at the *Cognitive Development Society Conference,* San Antonio, TX, October 2009).

Akasah, Z. A. and Alias, M. (2010). Bridging the spatial visualisation skills gap through engineering drawing using the whole-to-parts approach. *Australasian Journal of Engineering Education,* 16(1), 81- 86.

Akayuure, P., Asiedu-Addo, S.K., and Alebna, V. (2016). Investigating the effect of origami instruction on pre-service teachers' spatial ability and geometric knowledge for teaching. *International Journal of Education in Mathematics, Science and Technology,* 4(3), 198-209. DOI:10.18404/ijemst.78424

Akbulut, Y. (2014). Bilişsel Yük Kuramı ve Çoklu Ortam Tasarımı. Dursun, Ö.Ö. ve Odabaşı, F.H. (Ed.). *Çoklu Ortam Tasarımı.* Ankara: Pegem Akademi Yayınları.

Alex, A. M. and Olubusuyi, M. F. (2013). Guided-discovery learning strategy and senior school students performance in mathematics in Ejigbo, Nigeria. *Journal of Education and Practice,* 4(12): 82-89.

Aliaga, M. and Gunderson, B. (2002) *Interactive statistics: 2nd ed.* New Jersey: Prentice Hall.

Alias, M., Black, T., R. and Gray, D., E. (2002). Effect of instructions on spatial visualisation ability in civil engineering students. *International Education Journal,* 3(1), 1-12.

Alias, M., Gray, D. E. and Black, T. R. (2002). Attitudes towards sketching and drawing and the relationship with spatial visualisation ability in engineering students. *International Education Journal,* 3(3), 165-175.

Aljaberi, N. M. and Gheith, E. (2016). Pre-service class teacher' ability in solving mathematical problems and skills in solving daily problems, *Higher Education Studies,* 6(3): 32-47.

Anderson, E.W., Potter, K.C., Matzen, L.E., Shepherd, J.F., Preston, G.A. and Silva, C.T. (2011). A User Study of Visualization Effectiveness using EEG and Cognitive Load. *IEEE Symposium on Visualization*, *30.*

Armah, R. B., Cofie, P. O., and Okpoti, C. A. (2017). The geometric thinking levels of pre-service teachers in Ghana, *Higher Education Research,* 2(3): 98-106.

Ashlock, R. B. (2006). *Error patterns in computation: Using error patterns to improve instruction* (9th ed.). Upper Saddle River, New Jersey: Pearson education, Inc.

Aslan-Tutak, F., and Lot-Adams, T. (2015). A study of geometry content knowledge of elementary preservice teachers, *International Electronic Journal of Elementary Education,* 7(3): 301-318.

Atkinson, R. K., Derry, S. J., Renkl, A. and Wortham, D. W. (2000). Learning from examples: Instructional principles from the worked examples research. *Review of Educational Research, 70*, 181-214.

Attorps, I. (2006). *Mathematics Teachers' Conceptions About Equations*. Department of Applied Sciences of Education.University of Helsinki.Research Report 266. Finland. Doctoral Dissertation.

Ayres, P. L. (1993). Brief research report: Why goal-free problems can facilitate learning. *Contemporary Educational Psychology,* 18, 376–381. https://doi.org/10.1006/ceps.1993.1027

Ayres, P. (1998). The effectiveness of a no-goal approach in solving Pythagorean problems. *Published Proceedings of the Mathematical Education Research Group of Australasia (MERGA 21)*, 68-73.

Ayres, P. L., (2001). Systematic mathematical errors and cognitive load, *Contemporary Educational Psychology,* 26, 227–248.

Ayres, P. (2006a). Impact of reducing intrinsic cognitive load on learning in a mathematical domain. *Applied Cognitive Psychology,* 20, 287-298.

Ayres, P. (2006b). Using subjective measures to detect variations of intrinsic cognitive load within problems. *Learning and Instruction,* 16, 389-400. doi: 10.1016/j.learninstruc.2006.09.001

Ayres, P. and Sweller, J. (1990). Locus of difficulty in multi-stage mathematical problems. *American Journal of Psychology, 103,* 167-193.

Assessing Women in Engineering (AWE) Project. (2005). *Visual spatial skills*. Retrieved from http://www.aweonline.org

Babbie, E. (1995). *The practice of social research.* Belmont, CA: Wadsworth.

Baddeley, A. D. (1992). Working memory. *American Association fort he Advancement of Science,* 255(5044): 556-559.

Baddeley, A.D. (1986). *Working Memory*. Oxford: Clarendon Press.

Baki, A., Kosa, T. and Güven, B. (2011). A comparative study of the effects of using dynamic geometry software and physical manipulatives on the spatial visualisation skills of pre-service mathematics teachers. *British Journal of Educational Technology,* 42(2), 291-310.

Bakker, M. (2008). *Spatial ability in primary school: effects of the tridio learning material*. Unpublished master thesis, University of Twente, Netherland.

Bako, M. (2003). Different projecting methods in teaching spatial geometry. In M.A. Mariotti (Ed.), *Electronic Proceedings of the 3rd Congress of the European Society for Research in Mathematics Education.* Bellaria, Italy, 28 February- 3 March 2003.

Bal, A. P. (2011). Geometry Thinking Levels and Attitudes of Elementary Teacher Candidates, *Inonu University Journal of Faculty of Education,* 12(3): 97-115.

Bal, H. (2013). *Bilimsel araştırma yöntemleri-Nitel araştırma yöntemi: Görüşme, odak grup, sözlü tarih, içerik analizi, söylem analizi,* Fakülte Kitabevi, Isparta.

Ball, D. L., Hill, H. C. and Bass, H. (2005). Knowing mathematics for teaching: Who knows mathematics well enough to teach third grade, and how can we decide? *American Educator,* 29(3), 43-46.

Ball, D. L., Hoover, M. H., and Phelps, G. (2008). Content knowledge for teaching: What makes it special. *Journal of Teacher Education, 59*(5), 389-407.

Ball, D. L., Thames, M. H. and Phelps, G. (2008). Content knowledge for teaching: What makes it special? *Journal of Teacher Education,* 59(5), 389-404.

Ball, D., & Wilson, S. (1990). *Knowing the subject and learning to teach it: Examining assumptions about becoming a mathematics teacher.* (Research Report 90-7). East Lansing, MI: Michigan State University, NCRTE.

Baroody, A. J. (1989). One Point of View: Manipulatives Don't Come with Guarantees. *The Arithmetic Teacher,* 37, 4-5.

Battista, M. T. (1990). Spatial visualization and gender differences in high school geometry. *Journal of Research in Mathematics Education,* 21, 47-60.

Battista, M. T., Wheatley, G. H. and Talsma, G. (1982). The importance of spatial visualization and cognitive development for geometry learning in preservice elementary teachers. *Journal for Research in Mathematics Education,* 13(5): 332-340.

Battista, M. T., Wheatley, G. H. and Talsma, G. (1989). Spatial visualization, formal reasoning, and geometric problem solving strategies of pre-service elementary teachers. *Focus on Learning Problems in Mathematics:* 11: 17-30.

Battista, M. (1999). Fifth graders' enumeration of cubes in 3D arrays: Conceptual progress in an inquiry-Based Classroom. *Journal for Research in Mathematics Education,* 30(4), 417-448.

Begle, E. G. (1972). *SMSG Reports No. 9: Teacher knowledge and student achievement in algebra.* Palo Alto: Stanford University.

Begle, E. G. (1979). *Critical variables in mathematics education: Findings from a survey of the empirical literature.* Washington, DC: Mathematical Association of America and National Council of Teachers of Mathematics.

Ben-Chaim, D., Lappan, G. and Houang, R. (1989). Adolescent's ability to communicate spatial information: analyzing and effecting students' performance. *Educational Studies in Mathematics,* 20, 121-146.

Berelson, B. (1952). *Content analysis in communication research*. New York: Hafner.

Bergqvist, E. (2015). *Spatial orientation & imagery. What are the gender differences in spatial orientation and mental imaging when navigating a virtual environment with only auditory cues?* A Master degree thesis. Skövde, Sweden: University of Skövde.

Bielaczyc, K., Pirolli, P. and Brown, A. L. (1989). Training in self-explanation and self-regulation strategies for learning computer programming. *Cognition and Instruction.*

Bilen, O. (2017). *Ortaokul (7. Sınıf) Matematik Ders Kitabı.* Ankara: Gizem Yayıncılık.

Bishop, A. J. (1983). Space and geometry. In Lesh, R., and Landau, M. (Eds.), *Acquisition of mathematical concepts and processes.* New York, US: Academic Press.

Bishop, A. J. (1986). 'What are some obstacles to learning geometry', in R. Morris (ed.), *Studies in Mathematics Education,* Vol. 5, UNESCO, Paris.

Block, J. (1982). Assimilation, accommodation, and the dynamics of development. *Child Development, 53,* 283–295.

Bobis, J., Sweller, J., and Cooper, M. (1994). Demands imposed on primary school students by geometrical models. *Contemporary Educational Psychology,* 19, 108-117.

Bokosmaty, S., Sweller, J., and Kalyuga, S. (2015). Learning Geometry Problem Solving by Studying Worked Examples: Effects of Learner Guidance and Expertise, *American Educational Research Journal*, vol. 52, pp. 307 – 333.

Booth, J. L., and Koedinger, K. R. (2008). Key misconceptions in algebraic problem solving. In B. C. Love, K. McRae and V. M. Sloutsky (Eds.), *Proceedings of the 30th Annual Conference of the Cognitive Science Society (pp. 571-576)*. Austin, TX: Cognitive Science Society.

Borrego, M., Douglas, E.P. and Amelink, C.T. (2009). Quantitative, qualitative, and mixed research methods in engineering education. *Journal of Engineering Education* 98, (1): 53-66.

Bosnyak, A. and Nagy-Kondor, R. (2008). The spatial ability and spatial geometrical knowledge of university students majored in mathematics, *Acta Didactica Universitatis Comenianae.* Vol. 8: 1–25.

Boyd, M. and Vitzelio, T. (tarihsiz). *A guidebook to student learning outcomes and administrative unit outcomes.* Chaffey, CA: Chaffey College. http://www.chaffey.edu/slo/resources/slo_handbook.pdf adresi (Erişim Tarihi: 29.03.2017)

Boytchev, P., Chehlarova, T. and Sendova, J. (2007). Virtual reality vs real virtuality in mathematics teaching and learning, *Proc. of the IMICT Conference,* Boston, 2007.

Bratfisch, O., Borg, G. and Dornic, S. (1972). *Perceived item-difficulty in three tests of intellectual performance capacity*. Stockholm: Institute of Applied Psychology, University of Stockholm, Report No. 29.

Brown, M., Jones, K., Taylor, R., and Hirst, A., (2004). Developing geometrical reasoning. In I. Putt, R. Faragher and M. McLean (Eds.), *Mathematics education for the third millennium: Towards 2010*. (Proceedings of the 27th annual conference of the Mathematics Education Research Group of Australasia, Townsville, Vol. 1, pp. 127- 134). Sydney: MERGA.

Brodie, K. (2013). The power of professional learning communities. *Education as Change*, 17(1), 5–18. http://dx.doi.org/10.1080/16823206.2013.773929

Brünken, R, Seufert, T. and Pass, F. (2010). Measuring Cognitive Load, in: Plass, Jan L.; Moreno, Roxana; Brünken, Roland (Hrsg.). *Cognitive Load Theory,* Cambridge, New York: Cembridge University Press, S. 181-202.

Bryan, T. J. (1999). The conceptual knowledge of pre-service secondary mathematics teachers: How well do they know the subject matter they will teach? *Issues in the Undergraduate Mathematics of School Teachers: The Journal*. 1.

Bulut, N. and Bulut, M. (2012). Development of pre-service elementary mathematics teachers' geometric thinking levels through an undergraduate geometry course. *Procedia - Social and Behavioral Sciences,* 46, 760 – 763.

Burnet, S. A. and Lane, D. M. (1980). Effects of Academic Instruction on Spatial Visualization. *Intelligence,* 4 (July- September): 233-242.

Butterfield, B. and Chinnappan, M. (2010). Walking the talk: Translation of mathematical content knowledge to practice. In L. Sparrow, B. Kissane and C. Hurst (Eds). *Proceedings of the 33rd Annual Conference of the Mathematical Education Research Group of Australasia,* Fremantle, WA. http://www.merga.net.au/documents/MERGA33_Butterfield_Chinnappan.pdf

Cai, J. (2003). What research tells us about teaching mathematics through problem solving? *Research and issues in teaching mathematics through problem solving*, 241-254.

Cai, J., and Brook, M. (2006). Looking back in problem solving. *MT: Mathematics Teaching*, Retrieved November 22, 2007, from Professional Development Collection Database.

Campbell, B. and Campbell, L. (2008). *Mindful learning: 101 proven strategies for student and teacher success (2nd ed.)*. London: Corwin Press.

Cantürk-Günhan, B. (2014). An investıgatıon of pre-servıce elementary school teachers' knowledge concerning quadrilaterals, *Çukurova Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi,* 43 (2): 137-154.

Carroll, J. B. (1993). *Human cognitive abilities: A survey of factor-analytic studies*. New York: Cambridge University Press.

Casasola, M., Bhagwat, J. and Burke, A. S. (2009). Learning to form a spatial category of tight-fit relations: How experience with a label can give a boost. *Developmental Psychology, 45*, 711-723.

Chandler, P. and Sweller, J. (1991). Cognitive load theory and the format of instruction. *Cognition and Instruction,* 8, 293-332.

Chandler, P. and Sweller, J. (1996). Cognitive load while learning to use a computer program. *Applied Cognitive Psychology, 10,* 151–170.

Chapman, O. (2005). Constructing pedagogical knowledge of problem solving: Preservice mathematics teachers. In H.L. Chick, and J.L. Vincent (Eds.), *Proceedings of the 29th Conference of the International Group for the Psychology of Mathematics Education,* 2, 225-232. http://www.emis.de/proceedings/PME29/-PME29RRPapers/PME29Vol2Chapman.pdf adresi (Erişim Tarihi: 29.03.2017)

Charcharos C., Kokla M., Tomai E. (2016). Investigating the influence of spatial thinking in problem solving. *Proceedings of the 19th AGILE Conference on Geographic Information Science,* Helsinki, Finland, June 15-17.

Chase, W. and Simon, H. (1973). Perception in chess. *Cognitive Psychology*, *4*, 55–81.

Chen, Y. C. and Yang, F. Y. (2014). Probing the relationship between process of spatial problems solving and science learning: An eye tracking approach. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 12(3), 579-603. doi:10.1007/s10-763-013-9504-y

Chew, C. M., Sia, C. J. L. and Lim, C. S. (2015). Comparing teacher perceived students' errors and students' errors: Match or mismatch? *Paper presented at the 7th of the East Asia Regional Conference on Mathematics Education (ICMI),* Cebu City, Philippines, 11-15, May 2015. http://mathted.weebly.com/uploads/7/8/5/0/78500-00/pp_201_to_208_chew_cheng_meng_final_paper_edited.pdf adresi (Erişim Tarihi: 29.03.2017)

Chi, M. T. H., Bassok, M., Lewis, M. W., Reimann, P., and Glaser, R. (1989). Self-explanations: How students study and use examples in learning to solve problems. *Cognitive Science*, 13, 145–182.

Chi, M. T., Glaser, R. and Rees, E. (1982). Expertise in problem solving. In R. J. Stemberg (Ed.), *Advances in the psychology ofhurnan intelligence* (pp. 7-77). Hillsdale, NJ: Erlbaum.

Chi, M. T. H., Bassok, M., Lewis, M. W., Reimann, P. and Glaser, R. (1989). Self-explanations: How students study and use examples in learning to solve problems. *Cognitive Science,* 13(2), 145-182. DOI: 10.1016/0364-0213(89)90002-5

Chi, M. T. H., de Leeuw, N., Chiu, M. and LaVancher, C. (1994). Eliciting self-explanations improves understanding. *Cognitive Science,* 18, 439-477.

Chin-Yen, C., ve Tajudin, M. (2015). Assessing First Year Pre-service Teachers' Geometric Reasoning Ability on Two-Dimensional Shapes, *EDUCATUM - Journal of Science, Mathematics and Technology,* 2(1):1-12.

Chinnappan, M. (1998). Schemas and mental models in geometry problem solving. *Educational Studies in Mathematics, 36*(3), 201–217.

Chinnappan, M. and English, L. (1995). Students' mental models and schema activation during geometric problem solving, *Centre for Mathematics and Science Education,* 156-162.

Christou, C., Pittalis, M., Mousoulides, N. and Jones, K. (2005). Developing 3D dynamic Geometry software: Theoretical perspectives on design. In F. Olivero and R. Sutherland, (Eds.), *Visions of Mathematics Education: Embedding Technology in Learning,* (pp. 69-77). Bristol, UK: University of Bristol.

Christou, C., Jones, K., Pitta-Pantazi, D., Pittalis, M., Mousoulides, N., Matos, J.F., Sendova, E., Zachariades, T. and Boytchev, P. (2007), Developing student spatial ability with 3D software applications. Paper presented at the *5th Congress of the European Society for Research in Mathematics Education (CERME)*, Larnaca, Cyprus, 22-26 Feb 2007.

Cırıtcı, H., Gönen, İ., Kavas, D., Özarslan, M., Pekcan, N. ve Şahin, M. (2017). *Ortaokul (5. Sınıf) Matematik Ders Kitabı.* Ankara: Meb Yayınları.

Clark, R.C., Nguyen, F. and Sweller, J. (2006). *Efficiency in learning: evidence-based guidelines to manage cognitive load.* San Francisco: Pfeiffer.

Clements, D. H. and Battista, M. T. (1992). Geometry and spatial reasoning. In D.A. Grows (Ed.), *Handbook of Research in Mathematics Teaching and Learning.* New York: McMillan.

Clements, D. H. and McMillen, S. (1996). Rethinking Concrete Manipulatives. *Teaching Children Mathematics,* 2(5), 270-279.

Clements, D. (1998). *Geometric and spatial thinking in young children* (pp.1-40). Arlington, VA: National Science Foundation.

Clements, D. H. (1999). "Concrete" manipulatives, concrete ideas. *Contemporary Issues in Early Childhood,* 1(1): 45–60.

Clements, D. H. (2004). Geometric and spatial thinking in early childhood education. In D. H. Clements, J. Sarama, & A. DiBiase (Eds.), *Engaging young children in mathematics* (pp. 267–298). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Clements, D. H., and Sarama, J. (2007). Effects of a preschool mathematics curriculum: Summative research on the Building Blocks project. *Journal for Research in Mathematics Education, 38,* 136-163.

Clements, D. H., and Sarama, J. (2009). *Learning and teaching early math: The learning trajectories approach*. London: Routledge.

Cobb, P. and Steffe, L.P. (1983) The Constructivist Researcher as Teacher and Model Builder, *Journal for Research in Mathematics Education*, 14(2) pp 83-94.

Cockburn, A. D. (1999). *Teaching Mathematics with Insight: The Identification, Diagnosis and Remediation of Young Children's Mathematical Errors*. London: Falmer Press.

Cohen, N. (2003). Curved Solid Nets. In N. Paterman, B. J. Doughery, and J. Zillox (Eds.), *Proceedings of the 27th International Conference of Psychology in Mathematics Education,* Vol. 2, 229-236.

Cohen, C. A. and Hegarty, M. (2007). Sources of difficulty in imagining cross sections of 3D objects. In D. S. McNamara and J. G. Trafton (Eds), *Proceedings of the Twenty-ninth Annual Conference of the Cognitive Science Society* (pp. 179-184). Austin TX: Cognitive Science Society.

Cohen, C.A. and Hegarty, M. (2014). Visualizing cross sections: Training spatial thinking using interactive animations and virtual objects, *Learning and Individual Differences*, http://dx.doi.org/10.1016/j.lindif.2014.04.002

Cole, P. (2016). *Measuring the E ectiveness of So ware Based Training to Improve the Spatial Visualization Skills of Students in STEM Disciplines in Higher Education Institution.* Submitted in partial fulfillment of the requirements of Dublin Institute of Technology for the degree of MSc. in Computing (Advanced So ware Development) January 2016.

Confrey, J. (1990). A review of the research on students' concep ons in mathema cs, science, and programming. In C. Cazden (Ed.), *Review of research in educa on* (pp. 3–56). Washington, DC: American Educa onal Research Associa on. http:// dx.doi.org/10.2307/1167350

Connor, J. M. and Serbin, L. A. (1980). *Mathematics, visual-spatial ability, and sex roles.* (Final Report). Washington, DC: National Institute of Education (DHEW). (ERIC Document Reproduction Services No. ED 205 305)

Cook, A., Zheng, R. and Blaz, J. W. (2009). Measurement of cognitive load during multimedia learning activities. In R. Zheng (Ed.), *Cognitive effectives of multimedia learning* (pp. 34-50). Hershey, PA: Information Science Reference/IGI Global Publishing.

Cooper, G. (1998). Research into cognitive load theory and instructional design at UNSW. http://dwb4.unl.edu/Diss/Cooper/UNSW.htm adresi (Erişim Tarihi: 29.03.2017)

Cooper, G., Tindall-Ford, S., Chandler, P. and Sweller, J. (2001). Learning by imagining. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 7, 68-82.

Copley, J. V. (2000). *Geometry and Spatial Sense in the Early Childhood Curriculum. The Young Child and Mathematics.* Washington DC: National Association for the Education of Young Children. Reston, VA: National Council of Teacher of Mathematics.

Couto, A. and Vale, I. (2014). Pre-service teachers' knowledge on elementary geometry concepts. *Journal of the European Teacher Education Network*, *9*, 57-73.

Creswell, J. W. (2013). *Qualitative inquiry and research design: Choosing among five approaches* (3rd ed.). Thousand Oaks, CA: Sage.

Crowley, M.L. (1987). The van Hiele model of the development of geometric thought. In M.M. Lindquist, Ed., *Learning and teaching geometry, K-12 (pp. 1-16).* Reston, VA: National Council of Teachers of Mathematics.

David, L. T. (2012a). Training of spatial abilities through computer games – results on the relation between game's task and psychological measures that are used. *Procedia – Social and Behavioral Sciences,* 33, 323-327.

David, L. T. (2012b). Training effects on mental rotation, spatial orientation and spatial visualisation depending on the initial level of spatial abilities. *Procedia Social and Behavioral Sciences,* 33(1), 328-332.

De Jong, T. (2010). Cognitive load theory, educational research, and instructional design: Some food for thought. *Instructional Science*, 38, 105-134.

De Lange, J. (1984). Geometry for all or: no geometry at all? *Zentralblatt für Didaktik der Mathematik,* 3, s. 90-97.

Demirer, V. (2009). *Eğitim materyali geliştirilmesinde karma öğrenme yaklaşımının akademik başarı, bilgi transferi, tutum ve öz-yeterlik algısına etkisi.* Yüksek Lisans Tezi. Konya: Selçuk Üniversitesi.

Desmond, N. S. (1997). *The geometric content knowledge of prospective elementary teachers.* Unpublished doctoral dissertation, University of Minnesota.

Diezmann, C. M. and Watters, J. J. (2000) Identifying and supporting spatial intelligence in young children. *Contemporary Issues in Early Childhood,* 1(3): 299- 313.

Dijanic, Z. (2008). *Development of the model of computer guided discovery learning by using dynamic geometry software in teaching mathematics (Razvoj modela računalno vođenoga učenja otkrivanjem korištenjem programa dinamične geometrije u nastavi matematike),* Faculty of Philosophy in Zagreb.

Doyle, W. (1988). Work in mathematics classes: The context of students' thinking during instruction. *Educational Psychologist*, 23(2), 167-180.

Duatepe-Paksu, A. (2013). Sınıf öğretmeni adaylarının geometrik yapılara ilişkin çizim becerilerinin incelenmesi, *Kastamonu Eğitim Dergisi,* 21(3): 827-840.

Duchowski, A. T. (2002). A Breadth-First Survey of Eye Tracking Applications. *Behavior Research Methods, Instruments, and Computers (BRMIC),* 33(4). http://andrewd.ces.clemson.edu/research/vislab/docs/BET107cr.pdf adresi (Erişim Tarihi: 28.01.2017)

Edwards, L. and Zazkis, R. (1993). Transformation geometry: naive ideas and formal embodiments. *Journal of Computers in Mathematics and Science Teaching,* 12(2): 121-145.

Eisenberg, T. A. (1977). Begle revisited: Teacher knowledge and student achievement in algebra. *Journal for Research in Mathematics Education,* 8(3), 216-222.

Ekstrom, R. B., French, J. W., Harman, H. H. and Dermen, D. (1976). *Manual for kit of factor-referenced cognitive tests.* Princeton: Educational Testing Service.

Elliot, J. and Smith, I. M. (1983). *An International Dictionary of Spatial Tests.* Windsor, United Kingdom: The NFER-Nelson Publishing Company, Ltd.

Elliott, S. N., Kurz, A., Beddow, P. and Frey, J. (2009, February 24). *Cognitive load theory: Instruction based research with applications for designing tests.* Paper Presented at the national convention of the national association of school pschologists, Boston.

Erduran, A. ve Yeşildere, S. (2010). Geometrik yapıların inşasında pergel ve çizgecin kullanımı, *İlköğretim Online,* 9 (1), 333-341.

Erkoç M. F., Gecü Z., and Erkoç Ç. (2013). The effects of using Google SketchUp on the mental rotation skills of eighth grade students, *Educational Sciences: Theory & Practice,* 13 (2), 1285-1294.

Ersoy, M. (2014). Matematik öğretiminde semantik web tabanlı ikna teknolojisi kullanımı. *NWSA-Education Sciences,* 9(1), 57-72.

Fahlberg-Stojanovska, L., and Stojanovski, V. (2009). GeoGebra- freedom to explore and learn. *Teaching Mathematics and its Applications,* 28(2), 69-76. doi: 10.1093/teamat/hrp003.

Fay, B. (2013). *What is drawing- A continuous incompleteness*. Dublin: Irish Museum of Modern Art.

Ferguson, C., Ball, A., McDaniel, W. and Anderson, R. (2008). A comparison of instructional methods for improving the spatial-visualization ability of freshman technology seminar students. *Proceedings of the IAJC-IJME International Conference.*

Flanagan, K. (2001). *High school students' understandings of geometric transformations in the context of a technological environment*. Unpublished doctoral dissertation, Pennsylvania State University.

Fleisig, R. V., Robertson, A., and Spence, A. D. (2004). *Improving the spatial visualization skills of first year engineering students.* Paper presented at the Inaugural CDEN Design Conference, Montreal, Quebec.

Fraser, K.L., Ayres, P. and Sweller J. (2015). Cognitive load theory for the design of medical simulations, *Simulation in Healthcare*, vol. 10, pp. 295- 307, http://dx.doi.org/10.1097/SIH.0000000000000097

French, J. W. (1951). The description of aptitude and achievement tests in terms of rotated factors. *Psycho-metric Monographs,* No. 5.

Freudenthal, H. (1983). *Didactical Phenomenology of Mathematical Structures.* Dordrecht: D. Reidel.

Fujita, T. (2012). Learners' level of understanding of the inclusion relations of quadrilaterals and prototype phenomenon. *The Journal of Mathematical Behavior*, 31, 60-72. http://dx.doi.org/10.1016/j.jmathb.2011.08.003

Fujita, T. and Jones, K. (2007). Learners' understanding of the definitions and hierarchical classification of quadrilaterals: towards a theoretical framing, *Research in Mathematics Education*, 9(1&2), 3-20.

Fujita, T., Jones, K. and Kunimune, S. (2010). Students' geometrical construction and proving activities: A case of cognitive unity. *Proceedings of PME.* 34(3): 9-16.

Fyhn, A. (2007). *Angles as Tool for Grasping Space: Teaching of Angles Based on Students' Experiences with Physical Activities and Body Movement. A Dissertation for the Degree of Philosophiae Doctor.* Tromsø, Norway: Department of Mathematics and Statistics, Faculty of Science, University of Tromsø.

Garderen, D.V. (2006). Spatial Visualization, Visual Imaginary and Mathematical Problem Solving of Students with Varying Abilities. *Journal of Learning Disabilities* 39(6): 496– 506.

Gardner, H. (1983). *Frames of mind: The theory of multiple intelligences.* New York: Basic Books.

Gerhardt, L. A. (1973). *Moving and knowing: The young child orients himself in space.* Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.

Gerjets, P., Scheiter, K and Catrambone, R. (2004). Designing instructional examples to reduce cognitive load: Molar versus modular presentation of solution procedures. *Instructional Science,* 32, 33–58.

Gill, T. G., and Murphy, W. F. (2011). *Task complexity and design science. 9th International Conference on Education and Information Systems.* Technologies and Applications (EISTA 2011), Orlando, FL, USA.

Ginns, P., Chandler, P. and Sweller, J. (2003). When imagining information is effective. *Contemporary Educational Psychology,* 28, 229-251.

Goldenberg, E. P. (2000). Thinking (and Talking) about Technology in Math Classrooms. *Issues in Mathematics Education.* 1- 8.

Goldenberg, E. P., and Cuoco, A. A. (1998). What is Dynamic Geometry? In R. Lehrer and D. Chazan (Eds), *Designing Learning Environments for Developing Understanding of Geometry and Space.* (pp. 351-368). Hillsdale, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.

Gomes, A. S., and Vergnaud, G. (2004). On the Learning of geometric concepts using Dynamic Geometry Software, *Novas Tecnologias na Educação,* 2(1): 1-20.

Gonzalez-Lopez, M. (2001). Using dynamic geometry software to simulate physical motion. *International Journal of Computers for Mathematical Learning,* 6: 127–142.

Gravemeijer, K. P. E., Figueiredo, N., Feijs, E., Van Galen, F., Keijzer, R., and Munk, F. (2007). *Measuring and geometry in upper primary. Intermediate goals and learning trajectories.* Groningen, the Netherlands: Wolters-Noordhoff.

Guay, R. B. (1976). *Purdue Spatial Visualization Test.* West Lafayette, IN: Purdue Research Foundation.

Guilford, J.P. and Lacey, J.I. (Eds.) (1947). *Printed classification tests.* American Air Force Aviation Psychology Program Research Reports, No. 5. Washington, DC: U.S. Government Printing Office.

Gutierrez, A., and Jaime, A. (1998). On the assessment of the van Hiele levels of reasoning. *Focus on Learning Problems in Mathematics,* 20(2-3), 27-46.

Gutierrez, A. and Jaime, A. (1999). Pre-service Primary Teachers' Understanding of the Concept Of Altitude of a Triangle. *Journal of Mathematics Teacher of Education,* 2(3), 253-275.

Gutierrez, A. (1992). Exploring the links between Van Hiele Levels and 3-dimensional geometry. *Structural Topology,* 18, 31-48.

Gutierrez, A. (1996). Visualization in 3-dimensional geometry: In search of a framework, *Proceedings of the 20th PME Conference,* 1, 3-19.

Gutierrez, A., Jaime, A., and Fortuny, J. M. (1991). An alternative paradigm to evaluate the acquisition of the van Hiele levels. *Journal for Research in Mathematics Education*, *22*(3), 237–251. Retrieved from http://www.jstor.org/stable/749076

Gür, H. and Kobak-Demir, M. (2017). The Effect of Basic Geometric Drawings Using A Compass-Ruler on The Geometric Thinking Levels And Attitudes of The Pre-Service Teachers, *Eğitimde Kuram ve Uygulama,*13(1), 88-110.

Güven, Y. (2006). *Farklı geometrik çizim yöntemleri kullanımının öğrencilerin başarı, tutum ve van hiele geometri anlama düzeylerine etkisi.* Yayımlanmamış yüksek lisans tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon.

Güven, B. (2012). Using dynamic geometry software to improve eight grade students' understanding of transformation geometry, *Australasian Journal of Educational Technology,* 28(2): 364-382.

Güven, B. and Kosa, T. (2008). The effect of dynamic geometry software on student mathematics teachers' spatial visualization skills. *The Turkish Online Journal of Educational Technology,* 7(4), 100-107.

Hacısalihoğlu, H. H. Hacıyev, A., Kalantarov, V., Sabuncuoğlu, A., Brown, L. M., İbikli, E. ve Brown, S., (2000). *Türk Dil Kurumu Matematik Terimleri Sözlüğü.* Ankara: Bizim Büro Basımevi Yayın Dağıtım.

Hailikari, T., Katajavuori, N., and Lindblom-Ylanne, S. (2008). The relevance of prior knowledge in learning and instructional design. *American Journal of Pharmaceutical Education,* 72(5). http://dx.doi.org/10.5688/aj7205113

Halat, E. (2008). In-Service Middle and High School Mathematics Teachers: Geometric Reasoning Stages and Gender. *The Mathematics Educator,* 18(1), 8–14.

Halat, E., ve Şahin, O. (2008). Van Hiele levels of pre- and in-service Turkish elementary school teachers and gender related differences in geometry. *The Mathematics Educator*, *11*(1/2), 143–158. Retrieved from http:// math.nie.edu.sg/ame/matheduc/tme/tmeV11/13%20Article%20by%20Halat %20et%20al.%20doc.pdf adresi (Erişim Tarihi: 15.09.2016)

Hancock, B. (2002). Trent Focus for Research and Development in Primary Health Care -An Introduction to Qualitative Research, *Trent Focus Group.* http://classes.ul-eth.ca/200502/mgt2700a/Articles/Qualitative%20Research.pdf adresi (Erişim Tarihi: 29.03.2017)

Harper, S. (2003). Enhancing elementary pre-service teachers' knowledge of geometric transformations through the use of dynamic geometry computer software. In C. Crawford et al. (Eds.), *Proceedings of Society for Information Technology & Teacher Education International Conference* (pp. 2909–2916). Chesapeake: AACE.

Hashemnezhad, H. (2015). Qualitative Content Analysis Research: A Review Article, *Journal of ELT and Applied Linguistics (JELTAL),* 3(1): 54-62. http://www.jel-tal.com/yahoo_site_admin/assets/docs/5.7151855.pdf adresi (Erişim Tarihi: 29.03.2017)

Hasler, B., Kersten, B. and Sweller, J. (2007). Learner control, cognitive load and instructional animation. *Applied Cognitive Psychology,* 21(6), 713-729.

Healy, L. and Hoyles, C. (2001). Software tools for geometrical problem solving: Potentials and pitfalls, *International Journal of Computers for Mathematical Learning,* Vol. 6, pp. 235–256.

Hegarty, M., & Tarampi, M. R. (2016). Teaching Spatial Thinking: Perspectives from Cognitive Psychology. In H. Burte, T. Kauppinen, & M. Hegarty (Eds.), *Proceedings of the Workshop on Teaching Spatial Thinking from Interdisciplinary Perspectives (TSTIP 2015) at COSIT 2015*. Santa Fe, NM: CEUR Workshop Proceedings.

Hegarty, M. and Waller, D. (2005) "Individual differences in spatial abilities," in *Handbook of Higher-level Visuospatial Thinking,* Shah, P. & Miyake, A. Eds. Cambridge University Press: New York.

Heinze, A. (2005). Mistake-Handling Activities in German Mathematics Classroom. In H. L. Chick and J. L. Vincent (Eds.), *Proceedings of the 29th Conference of the International Group for the Psychology of Mathematics Education* (Vol. 3, pp. 105-112). Melbourne (Australien): PME.

Heinze, A. and Ossietzky, C. (2002). "...Because a Square is not a Rectangle" Students' Knowledge of Simple Geometrical Concepts When Starting to Learn Proof. In A. Cockburn ve E. Nardi (Eds.): *Proceedings of The 26th Conference of the International Group for the Psychology of Mathematics Education*, V.3, 81- 88.

Heinze, A. and Reiss, K. (2007). Mistake-handling activities in the mathematics classroom: effects of an in-service teacher training on students' performance in geometry. In J. H. Woo, H. C. Lew, K. S. Park, & D. Y. Seo (Eds.), *Proceedings of the 31st Conference of the International Group for the Psychology of Mathematics Education* (Vol. 3, pp. 9-16). Seoul, Korea: PME.

Henderson, D. W. and Taimina, D. (2005). *Experiencing Geometry. Euclidean and non-Euclidean with history.* NY: Cornell University, Ithaca.

Henningsen, M., and Stein, M. K. (1997). Mathematical tasks and student cognition: Classroom- based factors that support and inhibit high-level mathematical thinking and reasoning. *Journal for Research in Mathematics Education, 28*, 524-549.

Hershkowitz, R. (1990). Psychological aspects of learning geometry. In P. Nesher & J. Kilpatrick (Eds.), *Mathematics and cognition* (pp. 70-95), Cambridge, UK: Cambridge University Press.

Heuser, K. C. (1984). *Freehand drawing and sketching: A training and work manual*, New York: Van Nostrand Reinhold.

Hiebert, J., Morris, A. and Glass, B. (2003). Learning to learn to teach: An "experiment" model for teaching and teacher preparation in mathematics. *Journal of Mathematics Teacher Education,* 6(3), 201-222.

Hill, C., Corbett, C. and St. Rose, A. (2010). *Why so few? Women in science, technology, engineering, and mathematics.* Washington, DC: American Association of University Women.

Hine, G. S. C. (2015). Strengthening pre-service teachers' mathematical content knowledge. *Teaching and Learning Forum.* https://ctl.curtin.edu.au/events/conferences/tlf/tlf2015/refereed/hine.pdf adresi (Erişim Tarihi: 06.06. 2015)

Hsi, S., Linn, M. C. and Bell, J. E. (1997). The role of spatial reasoning in engineering and the design of spatial instruction. *Journal of Engineering Education,* 86(2), 151–58.

Hollebrands, K. (2003). High school students' understandings of geometric transformations in the context of a technological environment. *Journal of Mathematical Behavior,* 22(1), 55–72.

Hollebrands, K. and Lee, H. S. (2012). *Preparing to Teach Mathematics with Technology: An Integrated Approach to Geometry (1 st Edition)*. Kendall Hunt Publishing. ISBN: 978-1-4652-0386-1.

Hyona, J. (2010). The use of eye movements in the study of multimedia learning. *Learning and Instruction,* 20(2), 172–176.

Idris, N. (2009, December). The impact of using Geometers' Sketchpad on Malaysian students' achievement and van Hiele geometric understanding. *Journal of Mathematics Education,* 2(2), pp. 94-107.

In'am, A. (2012). *Model Pembelajaran Matematika berbasis Metakognitif*. Malang: Selaras.

In'am, A. (2014). The implementation of the Polya method in solving Euclidean geometry problems, *International Education Studies,* 7(7): 149-158.

Ingram, J., Baldry, F. and Pitt, A. (2013). The influence of how teachers interactionally manage mathematical mistakes on the mathematics that students experience. In B. Ubuz, Ç. Haser and M. Mariotti (Eds.), *Proceedings of the 8th Congress of the European Society of Research in Mathematics Education* (pp. 1487–1495). Ankara: European Society of Research in Mathematics Education. Available from http://cerme8.metu.edu.tr/wgpapers/WG9/WG9_Ingram.pdf

Ionas, I. G., Cernusca, D. and Collier, H. L. (2012). Prior knowledge influence on self-explanation effectiveness when solving problems: An exploratory study in science learning, *International Journal of Teaching and Learning in Higher Education, 24(3): 349-358.*

Jacobsen, T. L., and Waters, H. S. (1985). Spatial perspective-taking: Coordination of left-right and near-far spatial dimensions. *Journal of Experimental Child Psychology, 39,* 72-84.

Jang, J., Schunn, C. D. and Nokes, T. J. (2011). Spatially distributed instructions improve learning outcomes and efficiency. *Journal of Educational Psychology,* 103, 60-72.

Johnson, R., Onwuegbuzie, A. and Turner, L. (2007) "Toward a definition of mixed methods research", *Journal of Mixed Methods Research,* Vol.1, Issue 2, pp 112-133.

Johnston-Wilder, S., Johnston-Wilder, P., Pimm, D. and Lee, C. (2011) *Learning to Teach Mathematics in the Secondary School: A companion to School Experience (3rd ed).* Abingdon: Routledge.

Jones, K. (2000). Teacher knowledge and professional development in geometry. *Proceedings of the British Society for Research into Learning Mathematics*, 20, (3), 109-114.

Jones, K. (2001). Learning Geometrical Concepts using Dynamic Geometry Software. In: Kay Irwin (Ed), *Mathematics Education Research: A catalyst for change*. Auckland: University of Auckland. pp. 50-58.

Jones, K. (2002). Issues in the Teaching and Learning of Geometry. In: Linda Haggarty (Ed), *Aspects of Teaching Secondary Mathematics: perspectives on practice.* London: Routledge Falmer. Chapter 8, pp 121-139. ISBN: 0-415-26641-6

Jones, C. A. (2005). *Assessment for learning,* London: Learning and Skills Development Agency.

Jones, K., Christou, C., Pittalis, M. and Mousoulides, N. (2006). Theoretical perspectives on the design of dynamic visualisation software. In C. Hoyles, J-B. Lagrange, L. H. Son, & N. Sinclair (Eds.), *Proceedings of the Seventeenth ICMI Study Conference, Digital technologies and mathematics teaching and learning: Rethinking the terrain* (pp. 253-259). Hanoi University of Technology: International Commission on Mathematical Instruction.

Joung, W., Hesketh, B. and Neal, A. (2006). Using "War Stories" to Train for Adaptive Performance: Is it Better to Learn from Error or Success? *Applied Psychology: An International Review,* 55 (2), 282–302.

Jung, I. (2002). *Student representation and understanding of geometric transformations with technology experience.* Unpublished doctoral dissertation, The University of Georgia.

Kablan, Z. (tarihsiz). Bilişsel Yük Kuramına Dayanan Öğretim Araştırmaları. http://zkablan.blogcu.com/bilissel-yuk-kuramina-dayanan-ogretim arastirmalari/1-772328 adresi (Erişim Tarihi: 03.03.2017)

Kalaycı, Ş. (2010). *SPSS Uygulamalı Çok Değişkenli İstatistik Teknikleri.* Ankara: Asil Yayın Dağıtım.

Kali, Y. and Orion, N. (1996). Relationship between Earth science education and spatial visualization. *Journal of Research in Science Teaching.* 33, 369-391.

Kalyuga, S., Chandler, P. and Sweller, J. (1999). Managing split-attention and redundancy in multimedia instruction. *Applied Cognitive Psychology, 13*, 351-371.

Kalyuga, S. and Liu, T. C. (2015). Guest Editorial: Managing Cognitive Load in Technology-Based Learning Environments. *Educational Technology & Society, 18* (4), 1–8.

Karakuş, F. ve Peker, M. (2015). The effects of dynamic geometry software and physical manipulatives on pre-service primary teachers' van Hiele levels and spatial abilities, *Türk Bilgisayar ve Matematik Eğitimi Dergisi,* 6(3): 338-365.

Karaman, T. ve Yontar-Toğrol, A. 2009. Relationship between gender, spatial visualization, spatial orientation, flexibility of closure abilities and performance related to plane geometry subject among sixth grade students*, Boğaziçi University Journal of Education,* 26(1): 1-26.

Katsioloudis, P. J., and Jovanovic, V. (2014). Spatial visualization ability and impact of dra ing models: A quasi experimental study. *Engineering Design Graphics Journal,* 78(2), 1-11.

Kersh, M. E. and Cook, K. H. (1979, August). *Improving mathematics ability and attitude, a manual.* Seattle: Mathematics Learning Institute, University of Washington.

Khalil, M. K. and Elkhider, I. A. (2016). Applying learning theories and instructional design models for effective instruction. *Advances in physiology education,* 40(2), 147-156. Retrieved from __http://advan.physiology.org/content/40/2/147.full__

Kılıç Çakmak, E. (2007). Çoklu ortamlarda dar boğaz: Aşırı bilişsel yüklenme. *Gazi Üniversitesi Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi,* 27(2), 1–24.

Kirschner, P. A. (2002). Cognitive load theory: Implications of cognitive load theory on the design of learning. *Learning and Instruction,* 12, 1-10.

Klausmeier, H. J. (1992). Concept Learning and Concept Teaching. *Educational psychologist,* 27 (3), 267–286.

Koch, D. and Sanders, M. (2011). The effects of solid modeling and visualization on technical problem solving. *Journal of Technology Education, 22*(2), 3– 21.

Kospentaris, G. and Spyrou, P. (2010). The effects of high school geometry instruction on the performance in spatial tasks. *Journal for Geometry and Graphics,* 14(2): 227-244.

Kotovsky, K., Hayes, J.R. and Simon, H.A. (1985). Why Are Some Problems Hard? Evidence From the Tower of Hanoi. *Cognitive Psychology* 17:284-294.

Kösa, T. (2016). Effects of using dynamic mathematics software on pre- service mathematics teachers' spatial visualization skills: The case of spatial analytic geometry. *Educational Research and Reviews,* 11(7): 449-458.

Kösa, T., and Karakus, F. (2010). Using dynamic geometry software Cabri 3D for teaching analytic geometry. *Procedia Social and Behavioral Sciences, 2*(2)*,* 1385–1389.

Knight (2006). *An Investigation Into The Change In The Van Hiele Levels Of Understanding Geometry Of Pre-Service Elementary And Secondary Mathematics Teachers,* Unpublished Master Thesis, The University of Maine.

Krell, M. (2015). Evaluating an instrument to measure mental load and mental e ort using item response theory. *Science Education Review Letters, Research Letters, 2015*, 1–6. Retrieved from http://edoc.hu-berlin.de/serl/2015/1/ PDF/2015-1.pdf

Kumar, N. and Kumar, J. (2016). Measurement of cognitive load in HCI systems using EEG power spectrum: An experimental study. *7th International conference on Intelligent Human Computer Interaction,* 84, 70-78.

Kurtuluş, A. (2011). Efect of computer-aided perspective drawings on spatial orientation and perspective drawing achievement. *Turkish Online Journal of Educational Technology- TOJET, 10* (4), 138-147.

Kurtulus, A. and Uygan, C. (2010). Effects of Google Sketchup based geometry activities and projects on spatial visualization ability of student mathematics teachers. *World Conference on Learning, Teaching and Administration* (pp. 384–389). Cairo, Egypt: Elsevier Ltd.

Kwon, O. N. (2003). Fostering spatial visualization ability through web-based virtual-reality program and paperbased program. *Lecture Notes in Computer Science, 2713*, 701–706.

Lajoie, S. P. (2003). Individual differences in spatial ability: developing technologies to increase strategy awareness and skills. *Educational Psychologist, 38*(2), 115–125.

Larkin, J. H., McDermott, J., Simon, D. P. and Simon, H. A. (1980). Expert and novice performance in solving physics problems. *Science*, 208, 1335–1342.

Leahy, W. and Sweller, J. (2004). Cognitive load and the Imagination effect. *Applied Cognitive Psychology, 18*, 857-875.

Leahy, W. and Sweller, J. (2008). The imagination effect increases with an increased intrinsic cognitive load. *Applied Cognitive Psychology*, *22*, 273-283.

Lee, J. and Bednarz, R.S. (2012) Components of Spatial Thinking: Evidence from a Spatial Thinking Ability Test. *Journal of Geography,* 111, 15-26. http://dx.doi.org/10.1080/00221341.2011.583262

Legutko, M. (2008), An analysis of students' mathematical errors in the education-research process, In B. Czarnocha (Ed.), *Handbook of mathematics teaching research: Teaching experiment -a tool for teacher-researchers,* pp. 141–154, Poland: Drukarnia Cyfrowa Kserkop.

Leppink, J. and Van den Heuvel, A. (2015). The evolution of cognitive load theory and its application to medical education. *Perspect Med Educ,* 4: 119–127.

Llinares. S., and Krainer, K. (2006). Mathematics (student) teachers and teacher educators as learners. In A. Gutierrez and P. Boero (Eds.), *Handbook of research on the psychology of mathematics education: Past, present and future* (pp. 429–460). Rótterdam, The Netherlands: Sense.

Lin, L., Atkinson, R. K., Savenye, W. C. and Nelson, B. C. (2016). Effects of Visual Cues and Self-Explanation Prompts: Empirical Evidence in a Multimedia Environment, *Interactive Learning Environments,* 24(4): 799-813.

Lin, C. H., Chen, C. M. and Lou, Y. C. (2014). Developing Spatial Orientation and Spatial Memory with a Treasure Hunting Game. *Educational Technology & Society,* 17 (3), 79–92.

Lin, J. J. H. and Lin, S. S. J. (2013). Cognitive load for configuration comprehension in computer-supported geometry problem solving: An eye movement perspective. *International Journal of Science and Mathematics Education,* 1-23. doi: 10.1007/s10763-013- 9479-8

Lin, J. J. H. and Lin, S. S. J. (2014a). Cognitive load for configuration comprehension in computer- supported geometry problem solving: An eye movement perspective. *International Journal of Science and Mathematics Education,* 12(3), 605–627, doi:10.1007/s10763-013-9479-8.

Lin, J. H., and Lin, S. J. (2014b). Tracking eye movements when solving geometry problems with handwriting devices. *J. Eye Mov. Res.,* 7, 1–15.

Linn, M.C. and Petersen, A.C. (1985). Emergence and characterization of sex differences in spatial ability: A meta-analysis. *Child Development,* 56, 1479-1498.

Liu, P. and Li, Z. (2012). Task complexity: A review and conceptualization framework. *International Journal of Industrial Ergonomics,* 42(6), 553-568.

Liu, A. M., Oman, C. M., Galvan, R., and Natapoff, A. (2013). Predicting space telerobotic operator training performance from human spatial ability assessment. *Acta Astronautica,* 92(1): 38-47.

Liu, T.C., Paas, F. and Kalyuga, S. (tarihsiz). Call for Papers Special Issue on "Managing Cognitive Load in Technology-Based Learning Environments", http://www.if-ets.info/Announcements/1396248611.pdf adresi (Erişim Tarihi: 04.03.2017)

Lobato, J., Orrill, C., Druken, B., and Jacobson, E. (2011, April). *Middle school teachers' knowledge of proportional reasoning for teaching*. Paper presented at the Annual Meeting of the American Educational Research Association (AERA), New Orleans, LA. Abstract retrieved from http://www.kaputcenter. umassd.edu/downloads/products/workshops/AERA2011/Lobato_Orrill_Druk en_Erikson_AERA_2011.pdf adresi (Erişim Tarihi: 28.04.2017)

Lohman, D. (1988). Spatial abilities as traits, process, and knowledge. In R. J. Sternberg (Ed.), *Advances in the psychology of human intellegence* (Vol. 40, pp. 181-248). Hillsdale: LEA. http://dx.doi.org/10.1017/CBO9780511807947.015

Lohman, D. F. (1993). *Spatial ability and g.* Paper presented at the first Spearman Seminar, University of Plymouth, England.

Lohman, D. F. (1988). Spatial abilities as traits, processes, and knowledge. In R. J. Sternberg (Ed.), *Advances in the psychology of human intelligence* (pp. 181–248). Hillsdale, NJ: Erlbaum.

Luneta, K. (2008). Error discourse in fundamental physics and mathema cs: Perspec ves of students' misconcep ons. In *ICET 2008 International Council on Education for Teaching (ICET) 2008 international yearbook* (pp 386–400). Wheeling, IL: Na onal–Louis University Press.

Luque-Casado A, Zabala M, Morales E, Mateo-March M and Sanabria D. (2013). Cognitive performance and heart rate variability: the influence of fitness level. *PLoS One.,* 8(2), e56935.

Maier, P. H. (1998). Spatial geometry and spatial ability: How to make solid geometry solid? In E. Osnabrück, K. Cohors- Fresenborg, G. Reiss, G. Toener, & H. Weigand (Eds.), *Selected papers from the annual conference of didactics of mathematics 1996* (pp. 63–75). Munich, Germany: Gessellschaft für Didaktik der Mathematik (GDM).

Marchis, I. (2012). Preservice primary school teachers' elementary geometry knowledge. In: *Acta Didactica Napocensia.* Volume 5, 2012 Number 2, s. 33- 40.

Martin-Dorta, N., Saorin, S. J. and Contero, M. (2008). Development of a fast remedial course to improve the spatial abilities of engineering students. *Journal of Engineering Education,* 97(4), 505–13.

Marcus, N., Cooper, M. and Sweller, J. (1996). Understanding instructions. *Journal of Educational Psychology, 88,* 49–63.

Maiorana, S. A. (2014). *Speedy 3-D: A Study of the effect of spatial ability among college students.* A Master's Project. New York: Fredonia.

Mariotti, M. A. (1989). Mental Images: Some Problems Related to the Development of Solids. In G. Vergnaud, J. Rogalski, & M. Artique (Eds.), *Proceedings of the 13th International Conference for the Psychology of Mathematics Education* (Vol. 2, pp. 258-265). Paris: PME.

Marshall, M. N. (1996). Sampling for qualitative research. *Family Practice, 13*(6), 522-525.

Martin-Dorta, N., Saorin, S. J., and Contero, M. (2008). Development of a fast remedial course to improve the spatial abilities of engineering students. *Journal of Engineering Education, 97*(4), 505–513.

Martin-Gutierrez, J., Gil, F. A., Contero, M. and Saorin, J. L. (2010). Dynamic three-dimensional illustrator for teaching descriptive geometry and training visualisation skills. *Comput. Appl. Eng. Educ.* Doi: 10.1002/cae.20447.

Mason, M. and Schell, V. (1988). Geometric understanding and misconceptions among pre-service and in-service mathematics teachers. In M.J. Behr, C.B. Lacampagne, and M. M. Wheeler (Eds.), *Proceedings of the 10th PME-NA Conference* (pp. 290-296). Dekalb, IL: Northern Illinois University.

Matsuda, N., Lee, A., Cohen, W.W., and Koedinger, K.R. (2009). A Computational Model of How Learner Errors Arise from Weak Prior Knowledge. In N. Taatgen & H. Van Rijn, (pp. 1288-1293). *Presented as the the Annual Conference of the Cognitive Science Society,* Austin, TX.

Maulidya, S. R., Hasanah, R. U. and Retnowati, E. (2017). Can goal-free problems facilitating students' flexible thinking? *The 4th International Conference on Research, Implementation, and Education of Mathematics and Science* (4th ICRIEMS), 1868, 050001-1–050001-6; doi: 10.1063/1.4995128

Mayer, R. E. and Moreno, R. (2003). Nine ways to reduce cognitive load in multimedia learning. *Educational Psychologist,* 38, 43-52.

Mayer, R. E. (2010). Applying the science of learning to medical education. *Medical Education*, 44: 543–549.

Maynard, D.C. and Hakel, M. D. (1997). Effects of objective and subjective task complexity on performance. *Human Performance,* 10: 303-330.

McGee, M. G. (1979). Human spatial abilities: Psychometric studies and environmental, genetic, hormonal, and neurological influences. *Psychological Bulletin,* 86(5), 889-918.

McKim, R.H. (1980). *Experiences in visual thinking.* Belmont, CA: Wadsworth.

Mertens, D. M. (2010). *Research and evaluation in education and psychology (3rd ed.).* Thousand Oaks, CA: Sage.

Metz, S. S., Donohue, S. and Moore, C. (2012). Spatial Skills: A Focus on Gender and Engineering. In B. Bogue and E. Cady (Eds.). *Apply Research to Practice Resources*. https://debrakimberling.files.wordpress.com/2011/11/ arp_spatialskills. pdf adresi (Erişim Tarihi: 29.03.2017)

Michael, W. B., Guilford, J. P., Fruchter, B. and Zimmerman, W. S. (1957). The description of spatial-visualization abilities. *Education and Psychological Measurement,* 17, 185–199.

Michelon, P., and Zacks, J. (2006). Two kinds of visual perspective taking. *Perception & Psychophysics, 68,* 327–337. doi:10.3758/BF03193680

Miller, G. A. (1956). The magical number seven, plus or minus two: Some limits on our capacity to process information. *Psychological Review, 63*, 81-97.

Miller, C. L. and Bertoline, G. R. (1991). Spatial visualization research and theories: Their importance in the development of an engineering and technical design graphics curriculum model. *Engineering Design Graphics Journal,* 55(3), 5–14.

Millî Eğitim Bakanlığı (MEB). (2010). *Ortaöğretim Geometri Dersi 11.Sınıf Öğretim Programı,* Talim ve Terbiye Kurulu Başkanlığı, Ankara.

Millî Eğitim Bakanlığı (MEB). (2011). *Ortaöğretim Geometri Dersi 12.Sınıf Öğretim Programı,* Talim ve Terbiye Kurulu Başkanlığı, Ankara.

Millî Eğitim Bakanlığı (MEB). (2013). *Ortaöğretim Matematik Dersi (9, 10, 11 ve 12. Sınıflar) Öğretim Programı,* Talim ve Terbiye Kurulu Başkanlığı, Ankara.

Millî Eğitim Bakanlığı (MEB). (2017). *Matematik Dersi Öğretim Programı (İlkokul ve ortaokul 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 ve 8. sınıflar),* Talim ve Terbiye Kurulu Başkanlığı, Ankara.

Millî Eğitim Bakanlığı (MEB). (2018). *Ortaöğretim Matematik Dersi (9, 10, 11 ve 12. Sınıflar) Öğretim Programı,* Talim ve Terbiye Kurulu Başkanlığı, Ankara.

Mohler, J. L., and Miller, C. L. (2008). Improving spatial ability with mentored sketching. *Engineering Design Graphics Journal*, *72*(1), 19–27. Retrieved from http://www.edgj.org/index.php/EDGJ/article/viewFile/11/10

Morse, J. M. (2003). Principles of mixed methods and multimethod research design. In A. Tashakkori and C. Teddlie (Eds.), *Handbook of mixed methods in social & behavioral research* (pp. 189-208). Thousand Oaks, CA: Sage.

Motamedi, V. and Yaghoubi, R.M. (2015). The Relationship Between Utilization of Computer Games and Spatial Abilities Among High School Students, *Malaysian Online Journal of Educational Technology,* 3(3): 46-51.

Moyer, P. S., Bolyard, J. J. and Spikell, M. A. (2002). What are virtual manipulatives?, *Teaching Children Mathematics,* 8(6), 184- 187.

Moyer, P. S., Bolyard, J., and Spikell, M. A. (2001). Virtual manipulatives in the K-12 classroom. In A. Rogerson (Ed.), *Proceedings of the International Conference on New Ideas in Mathematics Education* (pp. 184-187). Palm Cove, Australia.

Muijs, D. (2004). *Doing quantiative research in education with SPSS*. London: Sage.

Munro, J. (tarihsiz). Mathematics underachievers learning spatial knowledge. https://students.education.unimelb.edu.au/selage/pub/readings/mathsld/Spatial%20article.pdf adresi (Erişim Tarihi: 23.08.2015).

Nagy-Konnor, R. (2010). Spatial ability, descriptive geometry and dynamic geometry systems. *Annales Mathematicae et Informaticae, 37*, 199-210.

National Council of Teachers of Mathematics (NCTM). (1989). *Curriculum and Evaluation Standards for School Mathematics.* Reston, VA: Author.

National Council of Teachers of Mathematics. (1991). *Professional standards for teaching mathematics*. Reston, VA: Author.

National Council of Teachers of Mathematics (NCTM). (2000). *Principles and standards for school mathematics.* Reston, VA: Author.

National Research Council (NRC). (2006*). Learning to think spatially.* Washington D. C.: The National Academies Press.

Neuendorf, K. A. (2002). *The content analysis guidebook*. Thousand Oaks, CA: Sage.

Newcombe, N. S. (2010). Picture this: Increasing math and science learning by improving spatial thinking. *American Educator,* 29-35, 43. doi:10.1037/A0016127

Newcombe, N.S. and Frick, A. (2010). Early education for spatial intelligence: Why, what, and how. *Mind, Brain, and Education,* 4, 102-111.

Nordstrom, C. R., Wendland, D. and Williams, K. B. (1998) "To err is human": an examination of the effectiveness of error management training. *Journal of Business and Psychology,* 12, 269–282.

Okazaki, M. and Fujita, T. (2007). Prototype Phenomena and Common Cognıtıve Paths in the Understanding of the Inclusion Relations Between Quadrilaterals in Japan and Scotland. In J. Woo, H. Lew, K. Park & D. Seo (Ed), *Proceedings of the 31st Conference of the Internatıonal Group for the Psychology of Mathematics Education,* 4, 41-48.

Olkun, S. (2003). Making Connections: Improving Spatial Abilities with Engineering Drawing Activities, *International Journal of Mathematics Teaching and Learning,* April 2003. http://www.cimt.plymouth.ac.uk/journal/sinanolkun.pdf ardesi (Erişim Tarihi: 29.03.2017)

Olkun, S. and Sinoplu, B., (2008). The Effect of Pre-Engineering Activities on 4th and 5th Grade Students' Understanding of Rectangular Solids Made of Small Cubes. *International Online Journal Science and Mathematics Education,* 8, 1-9. [Online]: http://www.upd.edu.ph/~ismed/online/articles/effect/Vol8_The%20Effect.pdf adresi (Erişim Tarihi: 10.03.2012).

Olkun, S., Sinoplu, N.B., and Deryakulu, D., (2005). Geometric Explorations with Dynamic Geometry Applications based on van Hiele Levels. *International Journal for Mathematics Teaching and Learning,* 6,1- 12.

Oliviera, T (2004). Dynamic spatial ability: an exploratory analysis and a confirmatory study. *International Journal of Aviation Psychology,* 14(1), 19-38.

Olivero, F., and Robutti, O. (2007). Measuring in dynamic geometry environments as a tool for conjecturing and proving. *International Journal of Computers for Mathematical Learning,* 12(2), 135–156.

Onyancha, R. M., Derov, M. and Kinsey, B. L. (2009). Improvements in spatial ability as a result of targeted training and computer-aided design software use: Analyses of object geometries and rotation types. *Journal of Engineering Education,* 98(2), 157–67.

Onyancha, R., Towle, E. and Kinsey, B. (2007). Improvement of spatial ability using innovative tools: Alternative view screen and physical model rotator. *Proceedings of the 114th ASEE Conference and Exposition.*

Orde, B. J. (1997). Drawing as visual-perceptual and spatial ability training. In Proceedings of selected research and development presentations at *the 1997 National Convention of the Association for Educational Communications and Technology.*

Osta, I. (1998). Computer technology and the teaching of geometry: introduction, in Mammana, C. and Villani, V. (eds), *Perspectives on the teaching of geometry for the 21st century: an ICMI study,* Dordrecht, The Netherlands, Kluwer Academic Publishers, pp. 109-112.

Owen, E. and Sweller, J. (1985). What do students learn while solving mathematics problems. *Journal of Educational Psychology*, 77, 272-284.

Ozdemir Erdogan, E. and Dur, Z. (2014). Preservice Mathematics Teachers' Personal Figural Concepts and Classi cations About Quadrilaterals. *Australian Journal of Teacher Education,* 39(6). http://dx.doi.org/10.14221/ajte.2014v39n6.1

Özdemir, A. S. and Göktepe Yıldız, S. (2015). The examination of elementary mathematics pre-service teachers' spatial abilities. *Procedia-Social and Behavioral Sciences,* 174, 594-601.

Paas, F. (1992). Training strategies for attaining transfer of problem-solving skill in statistics: A cognitive load approach. *Journal of Educational Psychology,* 84, 429–434.

Paas, F., Renkl, A. and Sweller, J. (2003) Cognitive load theory and instructional design: Recent developments, *Educational Psychologist* 38: 1–4.

Paas, F., Tuovinen, J.E., Tabbers, H. and Van Gerven, P.W.M. (2003) Cognitive load measurement as a means to advance cognitive load theory, *Educational Psychologist* 38: 63–71.

Paas, F. and Van Merrienboer, J. (1993). The efficiency of instructional conditions: An approach to combine mental effort and performance measures. *Human Factors*, 35(4), 737-743.

Paas, F. G.W.C. and Van Merrienboer, J.J.G. (1994). Instructional control of cognitive load in the training of complex cognitive tasks. *Educational Psychology Review,* 6, 51-71.

Paas, F. and Van Merrienboer, J. J. G. (1994b). Instructional control of cognitive load in the training of complex cognitive tasks. *Educational Psychology Review,* 6(4), 351-371.

Paas, F., and Van Merrienboer, J. J. G. (1994c). Variability of worked examples and transfer of geometrical problem solving skills: A cognitive-load approach. *Journal of Education & Psychology,* 86, 122–133.

Palinkas, L., Horwitz, S., Green, C., Wisdom, J., Duan, N. and Hoagwood, K. (2015). Purposeful Sampling for Qualitative Data Collection and Analysis in Mixed Method Implementation Research. *Administration & Policy In Mental Health & Mental Health Services Research,* 42(5), 533-544.

Palys, T. (2008). Purposive sampling. In L. M. Given (Ed.) *The Sage Encyclopedia of Qualitative Research Methods.* (Vol.2). Sage: Los Angeles, pp. 697-8.

Panaoura, G., Gagatis, A. and Lemonides, C. (tarihsiz). Spatial abilities in relation to performance in geometry tasks. http://mathslife.eled.uowm.gr/sites/default/files/usersfiles/48C_0.pdf adresi (Erişim Tarihi: 08/06/2015)

Parmak, Z. (2016). *Mesleki eğitim öğrencilerinin teknoloji destekli ortamda uzamsal yeteneklerinin gelişiminin incelenmesi.* Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Eskişehir: Anadolu Üniversitesi.

Parsons, T.D., Larson, P., Kratz, K., Thiebaux, M., Bluestein, B., Buckwalter, J.G., and Rizzo, A.A., (2004). Sex differences in mental rotation and spatial rotation in a virtual environment. *Neuropsychologia,* 42, 555–562.

Parzysz, B. (1988). "Knowing" vs. "Seeing": Problems of the Plane Representation of Space Geometry Figures. *Educational Studies in Mathematics,* 19, 79-92.

Patkin, D. (2015). Various ways of inculcating new solid geometry concepts. International Journal of Education in Mathematics, *Science and Technology,* 3(2), 140-154.

Patkin, D., and Sarfaty, Y. (2012). The effect of solid geometry activities of pre-service elementary school mathematics teachers on concepts understanding and mastery of geometric thinking levels. *Journal of the Korean Society of Mathematical Education Series D: Research in Mathematical Education*, 16(1), 31–50.

Pedrosa, C. M., Barbero, B. R. and Miguel, A. R. (2014). Spatial Visualization Learning in Engineering: Traditional Methods vs. a Web-Based Tool. *Educational Technology & Society*, *17* (2), 142–157.

Pellegrino, J. W., Alderton, D. L. and Shute, V. J (1984). Understanding Spatial Ability. *Educational Psychologist.* 19 (3): 239-253.

Piaget, J. (1970). Piaget's theory. In P. H. Mussen (Ed.), *Carmichael's manual of child psychology.* Vol. 1 (3d ed.). New York: Wiley.

Piaget, J., and Inhelder, B. (1956). *The Child's Conception of Space*, Trans. F. J. Langdon and J. L. Lunzer. London: Routledge and Kegan Paul.

Pittalis, M., and Christou, C. (2010). Types of reasoning in 3D geometry thinking and their relation with spatial ability. *Educ Stud Math*, 191-212. http://dx.doi.org/10.1016/j.ijer.2010.10.001

Pittalis, P., Mousoulides, N. and Christou, C. (2010). Students' 3D geometry thinking profiles. *Proceedings of CERME6* (pp 816-825).

Pollock, E. Chandler, P. and Sweller, J. (2002). Assimilating complex information. *Learning and Instruction.* 12(1), 61-86.

Polly, D., Hill, T., and Vuljanic, T. (2015). Students' experiences composing and decomposing two-dimensional shapes in first and second grade mathematics classrooms. In D. Polly (Ed.), *Cases on Technology Integration in Mathematics Education* (pp. 121-142). Hershey: PA: IGI Global. DOI: 10.4018/978-1-4666-6497-5.ch006.

Polo-Blanco, I. (2011). Physical models for the learning of geometry. *Nieuwe Wiskrant,* 31(1), 33-38. http://www.fi.uu.nl/wiskrant/artikelen/311/311september_polo.pdf adresi (Erişim Tarihi: 01.05.2015)

Polya, G. (1973). *How to Solve It: A New Aspect of Mathematical Model*. (2nd ed). Princeton, New Jersey: Princeton University Press.

Portnoy, N., Grundmeier, T., and Graham, K. J. (2006). Students' understanding of mathematical objects in the context of transformational geometry: Implications for constructing and understanding proofs. *Journal of Mathematical Behavior,* 25, 196–207.

Potter, C., and Merwe, E. (2001). Spatial ability, visual imagery and academic performance in engineering graphics. *In Proceedings of the international conference on engineering education*. Oslo/Bergen, Norway.

Prigge, G. R. (1978). The differential effects of the use of manipulative aids on the learning of geometric concepts by elementary school children, *Journal for Research in Mathematics Education,* 9, 361-367.

Qiao, Y. Q., Shen, J., Liang, X., Ding, S., Cheng, F. Y., Shao, L., Zheng, Q. and Ran, Z. H. (2014). Using cognitive theory to facilitate medical education, *BMC Medical Education,* 14(79): 1-7.

Radatz, H (1980). Students' errors in the mathematical learning process: A survey. *For the Learning Mathematics,* 1, 16-20.

Rach, S., Ufer, S. and Heinze, A. (2013). Learning from errors: effects of teachers' training on students' attitudes towards and their individual use of errors. *PNA,* 8(1), 21-30.

Rafi, A. and Samsudin, K. (2009). Practising mental rotation using interactive Desktop Mental Rotation Trainer (iDeMRT). *British Journal of Educational Technology,* 40 (5): 889-900.

Rafi, A., Samsudin, K. A. and Ismail, A. (2006). On improving spatial ability through computer-mediated engineering drawing instruction. *Journal of Educational Technology & Society,* 9(3), 149-159.

Raquel, J. (2002). *Thinking in three dimensions: Exploring students' geometric thinking and spatial ability with the geometer's sketchpad,* Unpublished Doctoral Dissertation, Florida: Florida International University.

Rasmussen, C., and Bisanz, J. (2005). Representation and working memory in early arithmetic. *Journal of Experimental Child Psychology, 91*(2), 137-157.

Reddy, K. V. (2008). *Textbook of Engineering Drawing (Second Edition)*. BS Publications. Giriraj Lane, Sultan Bazar.

Reiss, K. (1999). Spatial ability and declarative knowledge in a geometry problem solving text, in O. Zaslavsky (ed.), *Proceedings of the 23rd International Conference for the Psychology of Mathematics Education,* 1, University of Haifa, Haifa, pp. 303-310.

Reisslein, J., Atkinson, R. K., Seeling, P., and Reisslein, M. (2006). Encountering the expertise reversal effect with a computer- based environment on electrical circuit analysis. *Learning and Instruction,* 16, 92-103.

Wheatley, G. (1992). The role of reflection in mathematics learning. *Educational Studies in Mathematics, 23*(5), 529-541.

Risma, D. A., Putri, R. I. and Hartono, Y. (2013). On developing students' spatial visualisation ability. *International Educational Studies,* 6(9), 1-12.

Robertson, S., and Bertling, T. (2013). *How to draw: Drawing and sketching objects and environments from your imagination*. Culver City, CA: Design Studio Press.

Rourke, L. and Anderson, T. (2004). Validity in quantitative content analysis. *Educational Technology Research & Development*, *52*, 5-18.

Ryu, H., Chong, Y. and Song, S. (2007). Mathematically gifted students' spatial visualization ability of solid figures. In Woo, J. H., Lew, H. C., Park, K. S. and Seo, D. Y. (Eds.). *Proceedings of the 31st Conference of the International Group for the Psychology of Mathematics Education,* Vol. 4, pp. 137-144. Seoul: PME.

Saads, S. and Davis, G. (1997). Spatial abilities, van Hiele levels and language use in three dimensional geometry, In *Proceedings of the 21st Conference of the International Group for the Psychology of Mathematics Education,* Vol. 4, E. Pehkonen, ed., Lahti, Finland, 1997, pp. 104–111.

Samsudin, K., Rafi, A. and Hanif, A. S. (2011). Training in mental rotation and spatial visualization and its impact on orthographic drawing performance. *Educational Technology & Society, 14*(1), 179–186.

Sarama, J., Clements, D. H., Swaminathan, S., McMillen, S. and Gonzalez Gomez, R. M. (2003). Development of mathematical concepts of two-dimensional space in grid environments: An exploratory study. *Cognition and Instruction,* 21(3), 285-324.

Sarama, J. and Clements, D. H. (2004). Building Blocks for early childhood mathematics. *Early Childhood Research Quarterly,* 19(1), 181-189.

Sarama, J., and Clements, D. H. (2009). *Early childhood mathematics education research: Learning trajectories for young children*. New York, NY: Routledge.

Sarama, J., Clements, D. H., and Vukelic, E. B. (1996). The role of a computer manipulative in fostering specific psychological/mathematical processes. In E. Jakubowski, D. Watkins, & H. Biske (Eds.), *Proceedings of the Eighteenth Annual Meeting of the North America Chapter of the International Group for the Psychology of Mathematics Education* (Vol. 2, pp. 567–572). Columbus, OH: ERIC Clearinghouse for Science, Mathematics, and Environmental Education.

Schmeck, A., Opfermann, M., Van Gog, T., Paas, F. and Leutner, D. (2015). Measuring cognitive load with subjective rating scales during problem solving: differences between immediate and delayed ratings, *Instructional Science,* 43(1), 93-114. http://dx.doi.org/10.1007/s11251-014-9328-3

Schneider, W. and Shiffrin, R. M. (1977). Controlled and automatic human information processing: I. Detection, search, and attention. *Psychological Review, 84,* 1-66.

Schnotz, W. and Kürschner, C. (2007). A reconsideration of cognitive load theory. *Educational Psychology Review, 19,* 460-508.

Schoenfeld, A. H. (2005). Problem solving from cradle to grave. Paper presented at the symposium *'Mathematical learning from early childhood to adulthood'*, July 7–9, 2005, Mons, Belgium.

Schute, V. J., Ventura, M. and Ke, F. (2015). The power of play: The effects of Portal 2 and Lumosity on cognitive and noncognitive skills. *Computers & Education*, 80, 58-67.

Schwonke, R., Renkl, A., Salden, R. and Aleven, V. (2011). Effects of different ratios of worked solution steps and problem solving opportunities on cognitive load and learning outcomes. *Computers in Human Behavior,* 27, 58-62.

Scutt, H.I., Gilmartin, S.K., Sheppard, S. and Brunhaver, S. (2013). Research-informed practices for inclusive science, technology, engineering, and math (STEM) classrooms: strategies for educators to close the gender gap. Paper presented *120th ASEE Annual Conference and Exposition,* 23-26 June, 2013, Atlanta. http://www.stanford.edu/group/design_education/wikiupload/4/46/ASEE_2013_Scutt.pdf adresi (Erişim Tarihi: 4.05.2015)

Selby, P. H. (1975). *Geometry and Trigonometry for Calculus.* Canada: John Wiley & Sons.

Serow, P. (2008). Investigating a phase approach to using technology as a teaching tool. *Proceedings of the Annual Conference of the Mathematics Education Research Group of Australasia,* Vol. 1 and 2.

Shiffrin, R. M. and Schneider, W. (1977). Controlled and automatic human information processing: II. Perceptual learning, automatic attending, and a general theory. *Psychological Review, 84,* 127-190.

Simms, N. and Gentner, D. (2009). "Helping Children Find the middle: spatial language Facilitates spatial reasoning" (poster presented at the *Society for Research in Child Development*, Denver, april 2009).

Sorby, S. A. (1999). Developing 3D spatial visualization skills. *Engineering Design Graphics Journal,* 63(2), 21–32.

Sorby, S. A. and Baartmans, B. J. (2000). The development and assessment of a course for enhancing the 3-D spatial visualization skills of first year engineering students. *Journal of Engineering Education,* (89)3, 301–7.

Sorby, S. A., Leopold, C. and Gorska, R. (1999). Cross-cultural comparisons of gender differences in the spatial skills of engineering students. *Journal of Women and Minorities in Science and Engineering,* 5, 279-291.

Sorby, S. A. (2009). Educational Research in Developing 3-D Spatial Skills for Engineering Students. *International Journal of Science Education,* 31: 3, 459- 480.

Sorby, S., Nevin, E., Mageean, E., Sheridan, S. and Behan, A. (2014). Initial Investigations into Spatial Skills as Predictors of Success in First-year STEM Programmes. *SEFI 2014 42nd Annual Conference European Society for Engineering Education.* 14-19 September. Birmingham, UK.

Spangler, D. A. (1992). Assessing students' beliefs about mathematics. *The Mathematics Educator, 3*, 19–23.

Spiro, R. J. and Jehng, J. C. (1990). Cognitive flexibility and hypertext: Theory and technology for the nonlinear and multidimensional traversal of complex subject matter. In D. Nix & R. Spiro (Eds.), *Cognition, education, and multimedia: Exploring ideas in high technology (pp. 163-205).* Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Steffe, L. (1991). The constructive teaching experiment: Illustrations and implications, in E. Von Glasersfeld (Ed.), *Radical constructivism in mathematics education,* Kluwer, Netherlands, 177-194.

Steffe, L. P. and Thompson, P. W. (2000). Teaching experiment methodology: Underlying principles and essential elements. In R. Lesh and A. E. Kelly (Eds.), *Research design in mathematics and science education* (pp. 267- 307). Hillsdale, NJ: Erlbaum.

Stein, M. K., Grover, B. W., and Henningsen, M. (1996). Building student capacity for mathematical thinking and reasoning: An analysis of mathematical tasks used in reform classrooms. *American Educational Research Journal, 33*(2), 455-488.

Stein, M. K., and Lane, S. (1996). Instructional tasks and the development of student capacity to think and reason: An analysis of the relationship between teaching and learning in a reform mathematics project. *Educational Research and Evaluation, 2*(1), 50-80.

Sternberg, R. J., and Sternberg, K. (2012). *Cognitive Psychology.* Belmont: Wadsworth, Cengage Learning.

Stols, G. (2012). Does the use of technology make a difference in the geometric cognitive growth of pre-service mathematics teachers? *Australasian Journal of Educational Technology,* 28(7), 1233-1247.

Strauss, A. and Corbin, J. (1990). *Basics of qualitative research: Techniques and procedures for developing grounded theory.* Newbury Park, CA: Sage.

Sutton, K. and Williams, A. (2008). Developing a discipline-based measure of visualization. *Uni Serve Science Proceedings,* 115–20.

Sutton, K. and Williams, A. (2007). Research Outcomes Supporting Learning in Spatial Ability, Proceedings, *Australiasian Association of Engineering Education Conference.*

Swan, M. (2005). *Standards Unit. Improving learning in mathematics: challenges and strategies.* Produced by the Department for Education and Skills Standards Unit.

Sweller, J. (1988). Cognitive load during problem solving: Effects on learning. *Cognitive Science,* 12, 257-285.

Sweller, J. (1994). Cognitive load theory, learning difficulty and instructional design. *Learning and Instruction, 4*, 295-312.

Sweller, J. (1999). *Instructional design in technical areas*. Camberwell, Australia: ACER Press.

Sweller, J. (2004). Instructional design consequences of an analogy between evolution by natural selection and human cognitive architecture. *Instructional Science,* 32, 9-31.

Sweller, J. (2005). Implications of cognitive load theory for multimedia learning. In R.E. Mayer (Ed.), *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning.* New York: Cambridge University Press.

Sweller, J. (2010). Element interactivity and intrinsic, extraneous and germane cognitive load. *Educational Psychology Review*, 22, 123-138. http://dx.doi.org/10.10-07/s10648-010-9128-5

Sweller, J. and Chandler, P. (1994). Why some material is difficult to learn. *Cognition and Instruction,* 12, 185-233.

Sweller, J., Ayres, P. and Kalyuga S. (2011). *Cognitive load theory.* New York: Springer.

Sweller, J., Van Merrienboer, J. J. G. and Paas, F. (1998). Cognitive architecture and instructional design. *Educational Psychology Review, 10*, 251-296.

Tai, C. H., Leou, S. and Hung, J. F. (2015). The Effectiveness of Teaching Indigenous Students Mathematics Using Example-Based Cognitive Methods, *Journal of Interdisciplinary Mathematics,* 18(4), 433-448, DOI: 10.1080/09720502.20-15.1023547

Tall, D. and Vinner, S. (1981). Concept image and concept definition in mathematics with particular reference to limits and continuity. *Educational Studies in Mathematics,* 12, 151-169.

Tambychik, T. and Meerah, T. S. M. (2010). Students' difficulties in mathematics problem-solving: what do they say? *Procedia Social and Behavioral Sciences*, 8, 142–151.

Tashakkori, A. and Creswell, J. W. (2007). The New Era of Mixed Methods. *Journal of Mixed Methods Research,* 1(3): 3-7.

Tashakkori, A. and Teddlie, C. (Eds.). (2003). *Handbook of mixed methods in social & behavioral research.* Thousand Oaks, CA: SAGE Publications.

Tartre, L. A. (1990a). Spatial skills, gender, and mathematics. In E. H. Fennema and G. C. Leder (Eds.), *Mathematics and Gender* (pp. 27-59). New York, NY: Teachers College Press.

Tartre, L.A. (1990b). Spatial orientation skill and mathematical problem solving. *Journal for Research in Mathematics Education,* 21, 216—229.

Taylor, M., Luckong, A. and Reaves, R. (2007). The Role of Manipulatives in Arithmetic and Geometry Tasks, *Journal of Education and Human Development,* Vol. 1, Nr. 1.

Terlecki, M.S., Newcombe, N.S. and Little, M. (2008). Durable and generalized effects on spatial experience on mental rotation: gender differences in growth patterns. *Applied Cognitive Psychology, 22*, 996-1013.

Thaqi, X., Gimenez, J., and Rosich, N. (2011). Geometrical transformations as viewed by prospective teachers. *Seventh Congress of the European Society for Research in Mathematics Education.* Retrieved January 5, 2011, from https://www.cerme7.univ.rzeszow.pl/WG/4/WG4_Xhevdet.pdf adresi (Erişim Tarihi: 18.08.2017)

Thurstone, L. L. (1938). *Primary Mental Abilities.* Psychometric Monographs, No.1. Chicago: University of Chicago Press.

Thurstone, L. L. (1950). *Some primary abilities in visual thinking* (Rep. No. 59). Chicago IL: University of Chicago, Psychometric Laboratory.

Tieng, P. G. and Eu, L. K. (2013). Improving students' Van Hiele level of geometric thinking using Geometer's Sketchpad. *The Malaysian Online Journal of Educational Technology, 1*(2)*,* 19-33.

Tieng, P. G. and Eu, L. K. (2014). Improving Students' Van Hiele Level of geometric Thinking Using Geometer's Sketchpad. *The Malaysian Online Journal of Educational T echnology* V ol. 2 Issue 3, 20-31.

Tindall-Ford, S., Agostinho, S., Bokosmaty, S., Paas, F. and Chandler, P. (2015). Computer-Based Learning of Geometry from Integrated and Split-Attention Worked Examples: The Power of Self-Management. *Educational Technology & Society,* 18 (4), 89–99.

Tran, T., Nguyen, N-G., Bui, M. D. and Phan, A. H. (2014). Learning with the Help of the GeoGebra Dynamic Geometry Software, *International Journal of Learning, Teaching and Educational Research,* 7(1): 44-57.

Turgut, M., Yenilmez, K. and Anapa, P. (2014). Symmetry and rotation skills of prospective elementary mathematics teachers. *Bolema – Mathematics Education Bulletin*, *28*(48): 383-402.

Turgut, M. and Yılmaz, S. (2012). Relationships among preservice primary mathematics teachers' gender, academic success and spatial ability. *International Journal of Instruction.* 5(2): 5-20.

Türnüklü, E, Akkaş, E. N. and Gündoğdu Alaylı, F. (2013). Mathematics Teachers' Perceptions of Quadrilaterals and Understanding The Inclusion Relations. *Eighth Congress of European Research in Mathematics Education (CERME 8),* Antalya.

Unal, H., Jakubowski, E. and Corey, D. (2009). Differences in learning geometry among high and low spatial ability pre-service mathematics teachers. *International Journal of Mathematical Education in Science and Technology,* 40 (8): 997–1012.

Uttal, D. H. and Cohen, C. A. (2012). Spatial thinking and STEM education: When, why, and how? In B. Ross (Ed.), *Psychology of Learning and Motivation,* Volume 57, 147-181 Oxford: Academic Press.

Ünlü, A. A. ve Er, H. (2017). *Ortaöğretim İleri Düzey (11. Sınıf) Matematik Ders Kitabı.* Ankara: Nova Yayıncılık.

Van Loon-Hillen, N., Van Gog, T. and Brand-Gruwel, S. (2010). Effects of Worked Examples in a Primary School Mathematics Curriculum. *Interactive Learning Environments,18,* 1-11.

Vandenberg, S. and Kuse, A. (1978). Mental Rotation, a Group Test of Three-Dimensional Spatial Visualization. *Perceptual and Motor Skills,* 47, 599-604. http://dx.doi.org/10.2466/pms.1978.47.2.599

VanLehn, K. (1996). Cognitive skill acquisition. *Annual Review of Psychology,* 47, 513–539.

Van de Walle, J. A. (2003). *Elementary & Middle School Mathematics.* Boston, MA: Pearson.

Van Merrienboer, J. J. G. and Ayres, P. (2005). Research on cognitive load theory and its design implications for e-learning. *Educational Technology Research and Development,* 53(3): 5-13.

Van Merrienboer, J. J G., Clark, R. E. and de Croock, M. B. M. (2002). Blueprints for complex learning: The 4C/ ID-Model. *Educational Technology, Research & Development,* 50, 39–64.

Van Merrienboer, J. J. G., Kester, L. and Paas, F. (2006). Teaching complex rather than simple tasks: Balancing intrinsic and germane load to enhance transfer of learning, *Applied Cognitive Psychology*, 20, 343-352.

Van Merrienboer, J. J. G., Kirschner, P. A., and Kester, L. (2003). Taking the load of a learner's mind: Instructional design for complex learning. *Educational Psychologist, 38*(1), 5–13.

Van Merrienboer, J. J. G. and Sluijsmans, D. A. (2009). Towards a synthesis of cognitive load theory, four-component instructional design, and self-directed learning. *Educational Psychology Review,* 21, 55–66. doi:10.1007/s10648-008-9092-5

Van Merrienboer, J. J. G. and Sweller, J. (2005). Cognitive load theory and complex learning: Recent developments and future directions. *Educational Psychology Review*, 17, 147-177.

Van Merrienboer, J. J. G. and Sweller, J. (2010). Cognitive load theory in health Professional education: Design principles and strategies. *Medical Education,* 44(1): 85-93.

Van Nes, F. and De Lange, J. (2007). Mathematics education and neurosciences: relating spatial structures to the development of spatial sense and number sense. *The Montana Mathematics Enthusiast,* 2, 210–229.

Vinner, S. and Hershkowitz, R. (1983). On concept formation in geometry. *Zentralblatt fur didactic der mathematic,* 15, 20-25.

Wai, J., Lubinski, D. and Benbow, C. P. (2009). Spatial Ability for STEM Domains: Aligning Over 50 Years of Cumulative Psychological Knowledge Solidifies Its Importance. *Journal of Educational Psychology,* 101, 817-835.

Weber, R. P. (1990). *Basic content analysis, second edition.* Newbury Park, CA: Sage Publications.

Wetzels, S. A. J., Kester, L. and van Merrienboer, J. J. G. (2011). Adapting prior knowledge activation: Mobilisation, perspective taking, and learners' prior knowledge. *Computers in Human Behavior,* 27(1), 16-21.

Wheatley, G. (1992). The role of reflection in mathematics learning. *Educational Studies in Mathematics, 23*(5), 529-541.

Widder, M. and Gorsky, P. (2013). How students use a software application for visualizing 3D geometric objects to solve problems. *Journal of Computers in Mathematics and Science Teaching,* 32(1), 89-120. Chesapeake, VA: Association for the Advancement of Computing in Education (AACE).

Willingham, D.T. (2009). *Why don't students like school?* San Francisco, CA: Jossey Bass.

Woolf, B., Romoser, M., Bergeron, D., and Fisher, D. (2003). Tutoring three-dimensional visual skills: dynamic adaptation to cognitive level, in *Proceedings of the eleventh international conference on artificial intelligence in education*, Sydney, Australia.

Wylie, R., and Chi, M. T. H. (2014). The Self-explanation principle in multimedia learning. In R. E. Mayer (Ed.), *The Cambridge handbook of multimedia learning* (2nd ed., pp. 413-432). New York, NY: Cambridge University Press.

Yaman, H. ve Şahin, T (2014). Somut ve sanal manipülatif destekli geometri öğretiminin 5. sınıf öğrencilerinin geometrik yapıları inşa etme ve çizmedeki başarılarına etkisi. *Abant İzzet Baysal Üniversitesi eğitim Fakültesi Dergisi,* 14(1), 202-220.

Yanık, B. (2006). *Prospective Elementary Teachers' Growth in Knowledge and Understanding of Rigid Geometric Transformations.* Doctoral Thesis, Arizona: Arizona State University.

Yanık, H. B. (2011). Prospective middle school mathematics teachers' preconceptions of geometric translations. *Educational Studies in Mathematics*, *78*(2), 231–260.

Yanık, H. B. (2013). Learning Geometric Translations in a Dynamic Geometry Environment, *Education and Science,* 38(168): 272-287.

Yeh, Y. F., Chen, M. C., Hung, P. H., and Hwang, G.-J. (2010). Optimal self-explanation prompt design in dynamic multi-representational learning environments. *Computers & Education*, *54*(4), 1089–1100.

Yeh, A. and Nason, R. (2004). Knowledge building of 3D geometry concepts and processes within a virtual reality learning environment. *In Proceedings of World Conference on Educational Multimedia, Hypermedia and Telecommunications* (pp. 2175-2182). Orlando, FL: IEEE.

Yıldırım, A., ve Şimşek, H. (2005). *Sosyal bilimlerde nitel araştırma yöntemleri. (5. Baskı)*. Ankara: Seçkin Yayıncılık.

Yıldırım, K. (2010). Raising the quality in qualitative research, *Elementary Education Online,* 9(1): 79-92.

Yılmaz, H. B. (2009). On the development and measurement of spatial ability. *International Electronic Journal of Elementary Education,* 1(2): 83-96.

Yolcu, B. and Kurtuluş, A. (2010). A study on developing sixth-grade students' spatial visualization ability. *İlköğretim Online,* 9(1), 256-274.

Young, J. Q., Van Merrienboer, J., Durning, S., and Ten Cate, O. (2014). Cognitive load theory: implications for medical education: AMEE guide no. 86. *Med. Teach.* 36, 371–384. doi:10.3109/0142159X.2014.889290

Youssef, B.B. and B. Berry, 2012. Learning to think spatially in an undergraduate interdisciplinary computational design context: A case study. *Int. J. Technol. Des. Educ.,* 22(4): 541-564.

Yue, J. (2004). Spatial visualization by orthogonal rotation. *Proceedings of the 2004 American Society for Engineering Education Annual Conference & Exposition, session, 3138*. http://soa.asee.org/paper/conference/paper- view.cfm?id=20647 adresi (Erişim Tarihi: 08.07.2017)

Yue, J. (2006). Spatial Visualization by Isometric Drawing. *Proceedings of the 2006 IJME – INTERTECH Conference.*

Yurt, E. ve Sünbül, A. M. (2012). Sanal ortam ve somut nesneler kullanılarak gerçekleştirilen modellemeye dayalı etkinliklerin uzamsal düşünme ve zihinsel çevirme becerilerine etkisi, *Kuram ve Uygulamada Eğitim Bilimleri,* 12(3): 1975-1992.

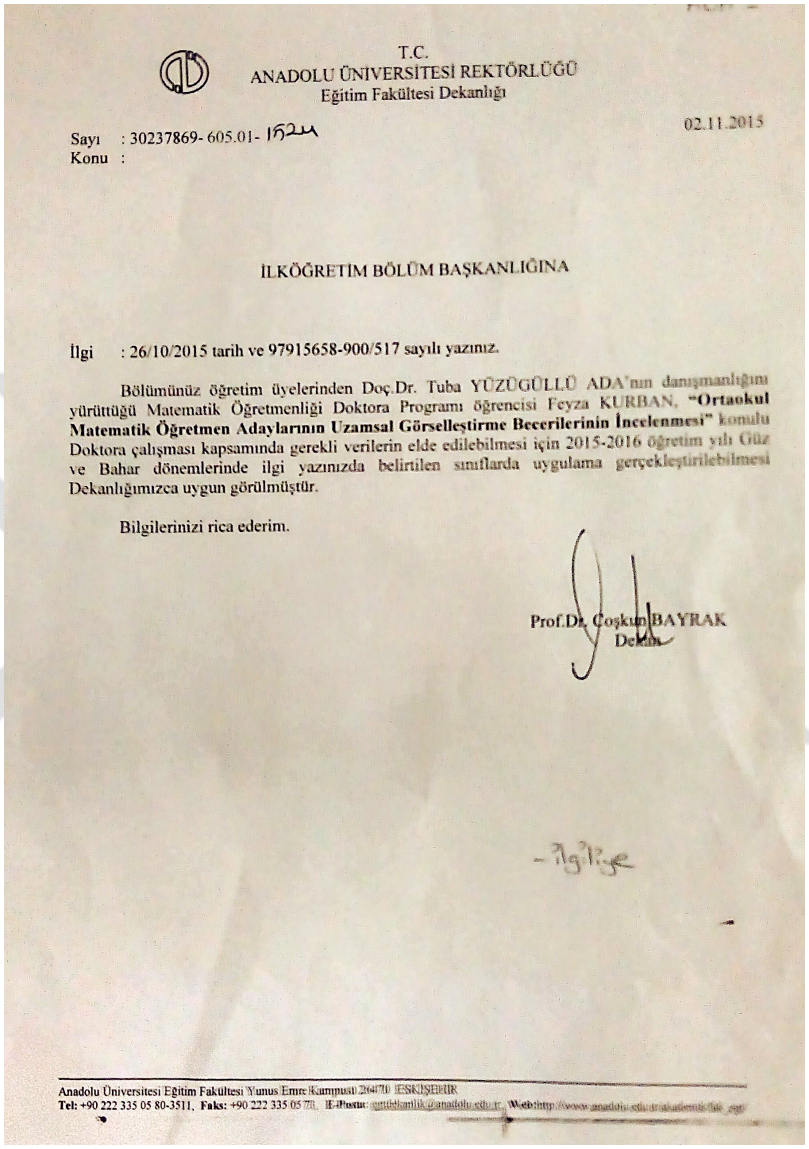
Zhang, Y. and Wildemuth, B. M. (2009). Qualitative analysis of content. In B. Wildemuth (Ed.), *Applications of Social Research Methods to Questions in Information and Library Science* (pp.308-319). Westport, CT: Libraries Unlimited.

Zimmerman, W.S. (1954). The influence of item complexity upon the factor composition of a spatial visualization test. *Educational and Psychological Measurement,* I4, 106-119.

Zimowski, M. F. and Wothke, W. (1986, September). The measurement of human variation in spatial visualizing ability: A process oriented perspective (Technical Report 1986-1). *Johnson O'Connor Research Foundation, Human Engineering Laboratory.*

EKLER

EK 1: Anadolu Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dekanlığından Alınan Araştırma İzin Belgesi



T.C.
ANADOLU ÜNİVERSİTESİ REKTÖRLÜĞÜ
Eğitim Fakültesi Dekanlığı

Sayı : 30237869- 605.01- 1524
Konu :

02.11.2015

İLKÖĞRETİM BÖLÜM BAŞKANLIĞINA

İlgi : 26/10/2015 tarih ve 97915658-900/517 sayılı yazınız.

Bölümünüz öğretim üyelerinden Doç.Dr. Tuba YÜZÜGÜLLÜ ADA'nın danışmanlığını yürüttüğü Matematik Öğretmenliği Doktora Programı öğrencisi Feyza KURBAN, **"Ortaokul Matematik Öğretmen Adaylarının Uzamsal Görselleştirme Becerilerinin İncelenmesi"** konulu Doktora çalışması kapsamında gerekli verilerin elde edilebilmesi için 2015-2016 öğretim yılı Güz ve Bahar dönemlerinde ilgi yazınızda belirtilen sınıflarda uygulama gerçekleştirilebilmesi Dekanlığımızca uygun görülmüştür.

Bilgilerinizi rica ederim.

Prof.Dr. Coşkun BAYRAK
Dekan

Anadolu Üniversitesi Eğitim Fakültesi Yunus Emre Kampüsü 26470 ESKİŞEHİR
Tel: +90 222 335 05 80-3511, **Faks:** +90 222 335 05 70, **E-Posta:** [illegible], **Web:** [illegible]

EK 2: Matematik Öğretmen Adaylarının Araştırma Sürecine Gönüllü Olarak Katıldıklarını Gösteren Belge

GÖNÜLLÜ KATILIM FORMU

Tarih:

Sayın matematik öğretmeni adayları,

"Ortaokul matematik öğretmen adaylarının uzamsal görselleştirme becerilerinin incelenmesi''adlı doktora tez çalışmamda, öncelikle sizlerin yani ortaokul matematik öğretmen adaylarının 3B'lu uzamsal görselleştirmede yaşadıkları zorlukları belirleyebilmek, sonra bu zorlukları göz önünde bulundurarak hazırlanmış bir öğretim tasarımının uzamsal görselleştirmelerinizdeki etkisini inceleyebilmek amaçlanmaktadır.

Tezimin amaçları doğrultusunda, sizlerin katılımıyla yapılacak çalışmaların aşağıda yer alan bölümler boyunca yürütülmesi planlanmaktadır:

İlk bölümde: 3B'lu uzamsal görselleştirmede yaşadığınız zorlukları belirleyebilmek için öncelikle size çoktan seçmeli 3B'lu uzamsal görselleştirme testi uygulanacaktır. Ardından size uygulanan 3B'lu görselleştirme testi sorularına benzer sorular yöneltilerek, sizlerle klinik görüşmeler yapılacaktır.

İkinci bölümde: Size, 3B'lu uzamsal görselleştirmede yaşadığınız zorlukların giderilmesi için bilişsel yükünüzü en aza indirgeyecek bir öğretim programı uygulanacaktır.

Son bölümde: 3B'lu uzamsal görselleştirmede yaşadığınız zorlukların giderilip giderilmediğini anlayabilmek için ilk bölümde yer alan prosedürler tekrarlanacaktır.

Bu formun amacı sizi görüşme ve gözlem sürecinden haberdar etmek ve sizlerden izin almaktır. Çalışma boyunca yapılacak görüşmeler ve öğretim seansları kayıt altına alınacaktır. Bunun için ses kayıt cihazları ve video gibi teknik araç-gereçlerden yararlanılacaktır. Elde edilecek verilerden sadece bilimsel amaçlı olarak faydalanılacaktır. İzniniz olmadığı takdirde, isminiz bu araştırmada yer almayacak, yerine takma bir isim kullanılabilecektir. İsteğiniz üzerine elde edilen kayıtlar sizlerle paylaşılabilecektir. Araştırma hafta 60-90 dakikalık öğretim seanslarından oluşacak ve yaklaşık üç ay sürecektir. Araştırmaya katılım için gönüllülük esastır. Araştırma ile ilgili olarak sormak istediğiniz sorular için bana, ve bu süreçte görüş, düşünce ve tecrübeleriyle bana rehberlik eden, danışman hocam Doç. Dr. Hüseyin Bahadır YANIK'a ulaşabileceğiniz adres ve telefolar aşağıda yer almaktadır.

Doç. Dr. Hüseyin Bahadır YANIK
Tel: XXXXXXXXX
E-posta: XXXXXXXXX
Adres: Anadolu Üniversitesi
Eğitim Fakültesi
İlköğretim Bölümü
Matematik Öğretmenliği Anabilim Dalı

Feyza KURBAN
Telefon: XXXXXXXXX
E-posta: XXXXXXXXX
Matematik Öğretmeni
Necati Topay Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi Bucak/BURDUR

Araştırmadan istediğim zaman ayrılabileceğimin farkındayım. Yapılacak görüşmelerin kayıt altına alındığını ve bilimsel bir amaca hizmet edecek şekilde kullanılabileceğini biliyorum. Formu okudum ve araştırmaya gönüllü olarak katılıyorum.

Tarih
İmza

EK 3: ‘PSVT’ Kullanım Belgesi (İngilizce)

“PURDUE SPATIAL VİSUALİZATİON TEST” KULLANIMI İZİN BELGESİ

Dear feyza kurban,

Thank you for ordering from Educational Testing Service on September 24, 2015. The following email is a summary of your order. Please use this as your proof of purchase. If you paid by credit card, please look for ETS*ets on your credit card billing statement.

Sincerely,
ETS Store Customer Service

EK 4: ‘PSVT’ Kullanım Belgesi (Türkçe Çevirisi)

“PURDUE SPATIAL VİSUALİZATİON TEST” KULLANIMI İZİN BELGESİ (TÜRKÇE ÇEVİRİSİ)

Sayın Feyza Kurban,

24 Eylül 2015 tarihinde Educational Testing Service aracılığıyla sipariş verdiğiniz için teşekkür ederiz. Bu e-posta siparişinizin bir özeti olarak gönderilmiştir. Bu maili satın alma işleminizin bir kanıtı olarak kullanınız.

TC009199-Purdue Uzamsal Görselleştirme Testi

Saygılarımızla,

ETS Mağazası Müşteri Hizmetleri

Tarafımdan Türkçe’ye çevrilmiştir.

05.10.2015

Feyza KURBAN

EK 5: PSVT-Açınım Bölümü Soru Örneği

BÖLÜM 1: AÇILIMLAR

Testin ilk bölümü üç boyutlu nesnelerin açılımlarını ve katlama biçimlerini hayalinizde ne kadar iyi canlandırdığınızı ölçmek için tasarlanmış 12 adet sorudan meydana gelmektedir.

Sorularda bir geometrik cismin iç yüzlerini gösteren açılım verilmektedir. Açılımdaki taralı bölge ise nesnenin taban yüzeyini göstermektedir. Seçeneklerde de verilen açılım katlandıktan sonra oluşan üç boyutlu geometrik cisimlerin çizimleri verilmektedir. Sizden istenen açılımı verilen cismin katlanmasıyla oluşacak halini seçeneklerden seçmenizdir.

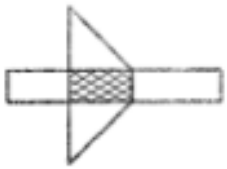
Bu bilgilere göre;

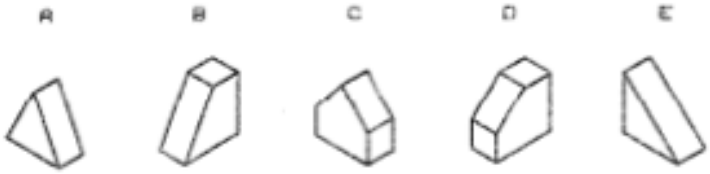
1. Açılım katlandığında meydana gelen üç boyutlu şekli hayalinizde canlandırın
2. Size verilen beş adet cisim arasından verilen açılımın katlanmasıyla meydana gelen cismi seçin (A, B, C, D veya E)

Testin bütün bölümlerindeki soruların sadece bir doğru cevabı vardır.

Sorularınızı cevaplarken açılımın nesnenin iç yüzeylerini gösterdiğini ve taralı alanın nesnenin taban yüzeyi olduğunu hatırlayın.

Cevabınızı, cevap kağıdı üzerine seçtiğiniz seçeneği belirgin bir şekilde işaretleyerek belirtiniz.





Yukarıdaki açık hali verilen şeklin taralı yüzeyi tabanda kalacak şekilde oluşturulduğunda üç boyutlu görünümü E seçeneğinde doğru verilmiştir.

EK 6: PSVT-Döndürme Bölümü Soru Örneği

BÖLÜM 2: DÖNDÜRME

İkinci bölüm üç boyutlu nesnelerin döndürülmüş hallerini hayalinizde ne kadar iyi canlandırdığınızı ölçmek için tasarlanmış 12 adet sorudan meydana gelmektedir.

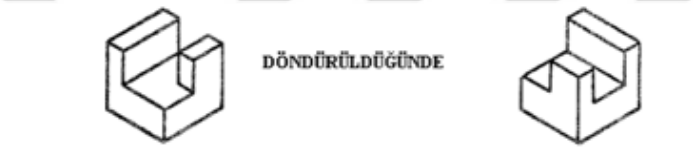
Sorularda öncelikle bir cismin iki hali gösterilmektedir. Birinci haldeki cisim belirli şekilde döndürülerek ikinci hali almaktadır. Sizden istenen uygulanan döndürme işlemini anlamanız ve verilen cismin aynı döndürme işleminden sonraki durumunu seçeneklerden seçmenizdir.

Verilen bilgilerle:

1. Soruda üst satırda verilen nesnenin nasıl döndürülmüş olduğunu anlamaya çalışın
2. Soruda verilen nesnenin aynı şekilde döndürülmüş halini hayalinizde canlandırın
3. Seçenekler arasından doğru yöne döndürülmüş olan nesneyi seçin.

Her sorunun yalnız bir doğru cevabı olduğunu hatırlayınız.

Cevabınızı, cevap kağıdı üzerine seçtiğiniz seçeneği belirgin bir şekilde işaretleyerek belirtiniz.



A B C D E

A, B, C ve E seçeneklerindeki görünümler yanlıştır. D seçeneği verilen dönme hareketine göre döndürülmüş görünümdür. Doğru cevap D seçeneğidir.

EK 7: PSVT-Yönelim Bölümü Soru Örneği

BÖLÜM 3: GÖRÜNÜŞLER

Üçüncü bölüm üç boyutlu nesnelerin değişik bakış açılarından nasıl göründüğünü ne kadar iyi hayal edebildiğinizi ölçmek için tasarlanmış 12 adet sorudan meydana gelmektedir.

Sorularda cam bir küpün ortasına yerleştirilmiş bir cisim ve bu cismin çeşitli bakış açılarından görüntülerini temsil eden beş adet seçenek verilmektedir. Cam küpün bir köşesindeki siyah nokta ise istenen bakış açısını göstermektedir. Sizden istenen küp içerisine yerleştirilerek verilen cismin, siyah nokta ile belirlenmiş bakış açısından nasıl göründüğünü seçenekler arasından seçmenizdir.

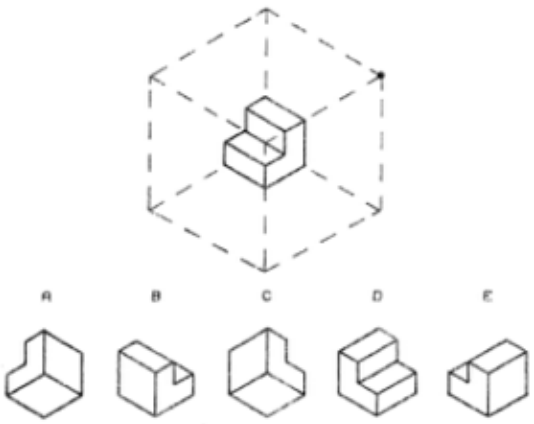
Verilen bilgiler ışığında;

1. Cam küpün etrafında siyah noktanın sizinle cisim arasında olacağı pozisyonu alacak şekilde hareket ettiğinizi hayal edin
2. Cam küpün içerisindeki nesnenin siyah noktanın bulunduğu bakış açısından nasıl göründüğünü hayalinizde canlandırın
3. A, B, C, D ve E seçeneklerinde verilen beş adet görüntüden nesnenin verilen bakış açısından görünen doğru görüntüsünü seçin.

Her sorunun sadece bir doğru cevaba sahip olduğunu hatırlayınız.

Nesnenin cam bir küpün ortasına yerleştirilmiş olduğunu ve siyah noktanın sizinle nesnenin arasında kalacak şekilde bakış doğrultusunu temsil ettiğini hatırlayınız. Bazı durumlarda siyah nokta cismin arkasında kaldığından gri olarak gözüktüğüne dikkat ediniz.

Aşağıda verilen, testin bu bölümündeki sorulara benzer bir örnektir.



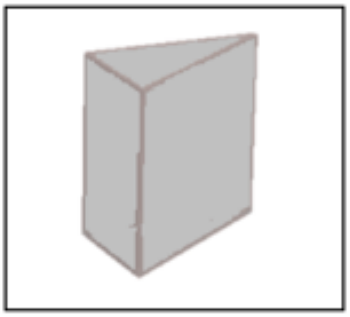
A, B, C ve D seçeneklerindeki görünümler yanlıştır. Sadece E seçeneğindeki çizim verilen bakış pozisyonundan görünümüdür. Doğru cevap E seçeneğidir.

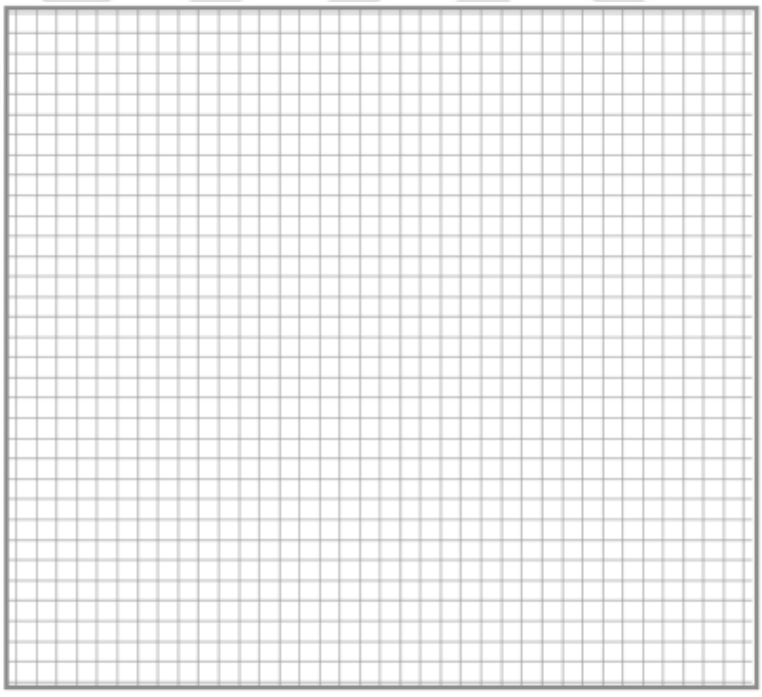
EK 8: Ön Görüşme Soru Örnekleri (Açınım Bölümü)

Açınım Bölümü ile İlgili Göreve Dayalı Bireysel İlk Klinik Görüşme Soruları

Birinci Kategori

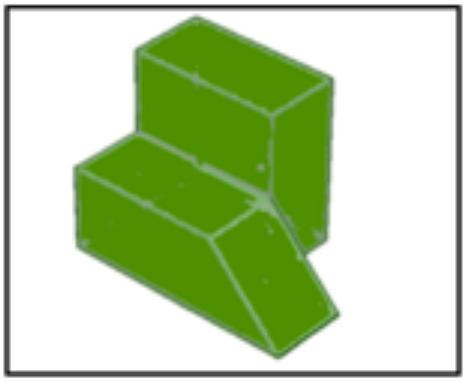
Aşağıda yer alan 3B'lu cismin alt taraftaki yüzü, bu cismin alt tabanını temsil etmektedir. Öncelikle zihninizde cismin yüzeyini alt tabanın bulunduğu düzleme açtığınızı hayal ediniz. Sonra cismin yüzeyini oluşturan yüzlerin geometrik özelliklerini (örneğin, uzunluk ve açı ölçüleri gibi) dikkate alarak, yüzey açınımını verilen kareli zemin üzerine çizmeye çalışınız.





İkinci Kategori

Aşağıda yer alan 3B'lu cismin alt taraftaki yüzü, bu cismin alt tabanını temsil etmektedir. Öncelikle zihninizde cismin yüzeyini alt tabanın bulunduğu düzleme açtığınızı hayal ediniz. Sonra cismin yüzeyini oluşturan yüzlerin geometrik özelliklerini (örneğin, uzunluk ve açı ölçüleri gibi) dikkate alarak, yüzey açınımını verilen kareli zemin üzerine çizmeye çalışınız.

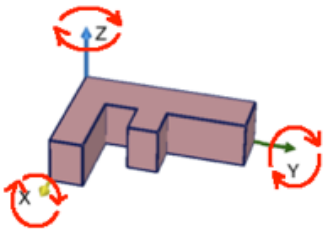


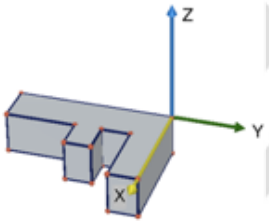
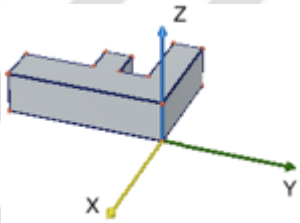
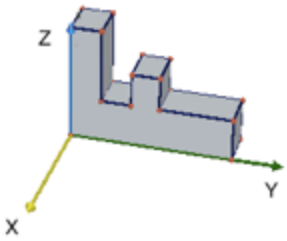
EK 9: Ön Görüşme Soru Örnekleri (Döndürme Bölümü)

Döndürme Bölümü ile İlgili Göreve Dayalı Bireysel İlk Klinik Görüşme Soruları

Birinci Kategori

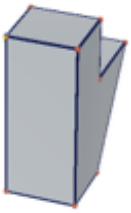
Aşağıda ilk satırda xyz koordinat sisteminde bir cisim yer almaktadır. İkinci satırda yer alan görüntüler, ilk satırda verilen cisme belirli bir dönme hareketi uygulanarak elde edilmiştir. Birinci, ikinci ve üçüncü görüntüleri elde edebilmek için ilk satırda yer alan cisim hangi eksen, yön ve açı ölçüsünde döndürülmelidir? Tahmininizi belirtilen yerlere yazınız (Saat yönü oklarla gösterilmiştir).



Birinci Görüntü	**İkinci Görüntü**	**Üçüncü Görüntü**
		
……..……	……..……	……..……
……...	……...	……...
……	……	……

İkinci Kategori

Aşağıda ilk satırda yer alan katı cisme iki eksen boyunca belirli yönler ve belirli açı ölçülerine göre dönme hareketi uygulanınca ikinci satırda yer alan görüntü oluşmuştur. Yukarıdaki şekle sırasıyla hangi dönme hareketleri uygulanmış olabilir? Belirlediğinizin dışında alternatif dönme hareketleri ile aynı görüntüyü elde edebilir misiniz? Açıklayınız.



Önce:……..……..

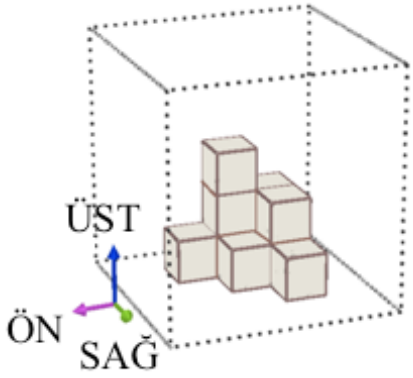
Sonra:……..

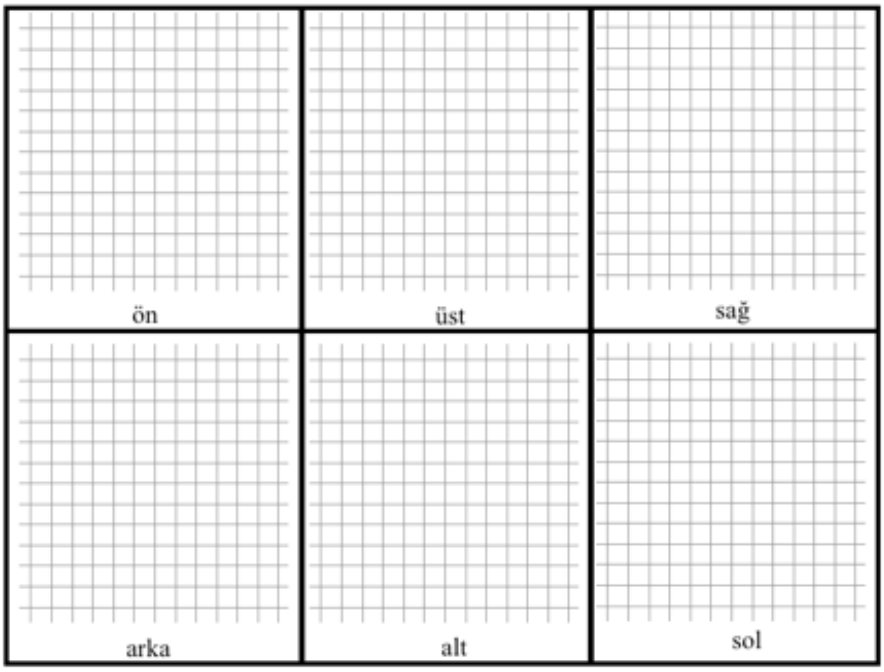
EK 10: Ön Görüşme Soru Örnekleri (Birinci Yönelim Bölümü)

Birinci Yönelim Bölümü ile İlgili Göreve Dayalı Bireysel İlk Klinik Görüşme Soruları

(Birimli Küplü Bütünleşik Yapı)

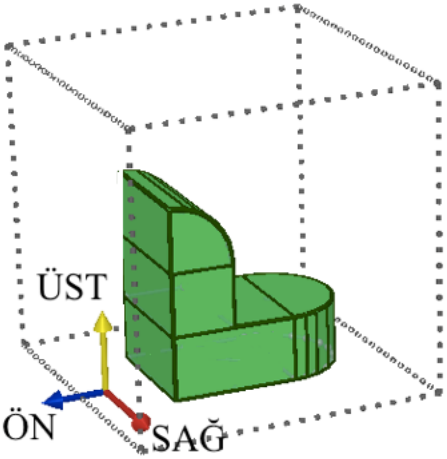
Aşağıdaki küp içerisinde yer alan yapıya **ön-arka, üst-alt, sol-sağ** taraflarından baktığınızı düşününüz. Zihninizde canlanan görünüşleri aşağıda yer alan kareli zemine çiziniz **(üst ve alt bakış için ön tarafı kullanınız)**.





(Eğrisel Yüze Sahip Orta Derecede Karmaşık Yapı)

Aşağıdaki küp içerisinde yer alan yapıya **ön-arka, üst-alt, sol-sağ** taraflarından baktığınızı düşününüz. Zihninizde canlanan görünüşleri aşağıda yer alan kareli zemine çiziniz **(üst ve alt bakış için ön tarafı kullanınız)**.



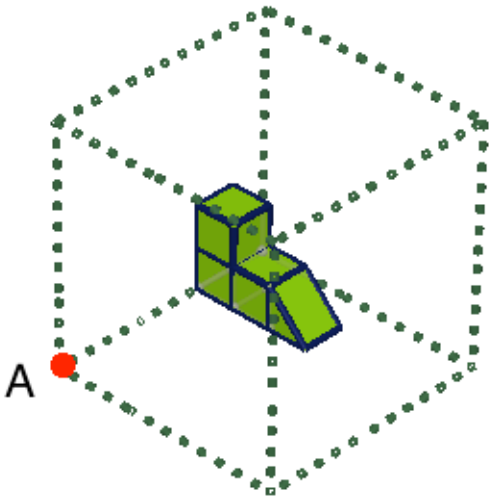
ön	üst	sağ
arka	alt	sol

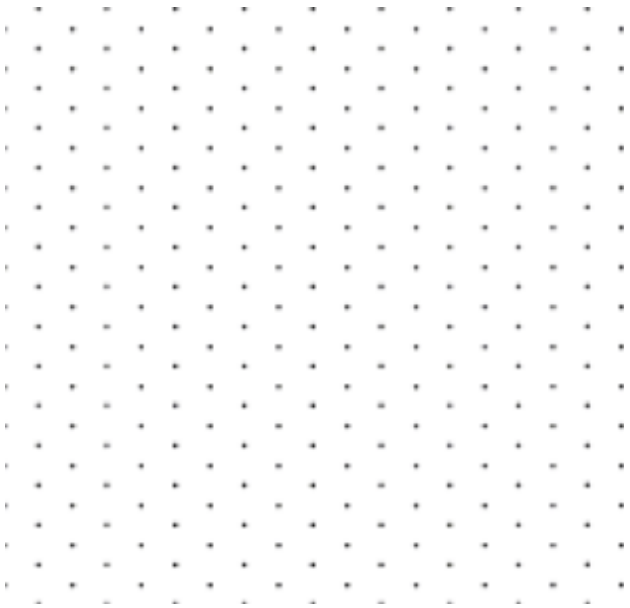
EK 11: Ön Görüşme Soru Örnekleri (İkinci Yönelim Bölümü)

İkinci Yönelim Bölümü ile İlgili Göreve Dayalı Bireysel İlk Klinik Görüşme Soruları

(Modifiye Cisim)

Aşağıdaki cisme küpün A noktasından baktığınızı düşünün. Cismin hangi kısımlarını görürsünüz. Zihninizde oluşan 3B'lu görüntüyü aşağıda noktalı olarak verilen satırlara yazarak tarif ediniz. Elde edilecek 3B'lu görüntüyü izometrik alana çiziniz.…….
……
……
……
……

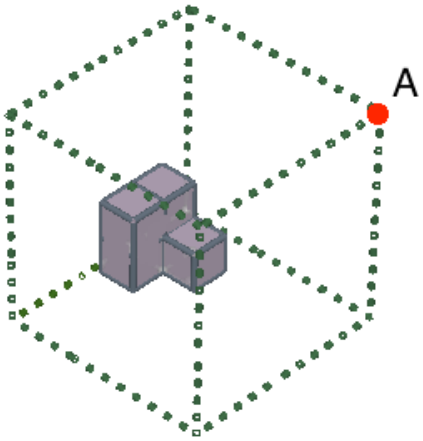




(Kombine Cisim)

Aşağıdaki cisme küpün A noktasından baktığınızı düşünün. Cismin hangi kısımlarını görürsünüz. Zihninizde oluşan 3B'lu görüntüyü aşağıda noktalı olarak verilen satırlara yazarak tarif ediniz. Elde edilecek 3B'lu görüntüyü izometrik alana çiziniz.

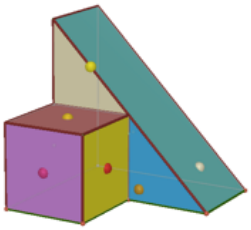
……
……
……
……
……



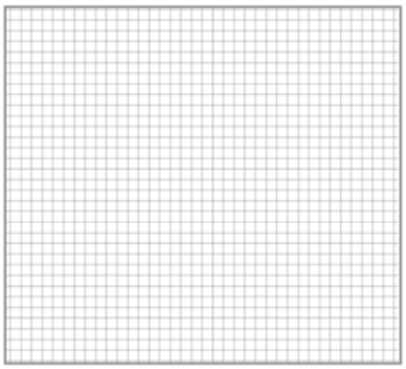
EK 12: Açınım Öğretim Seansında Kullanılan Cabri3D Materyal Örneği

Açınım Öğretim Seansı Cabri3D Örnek Materyali

Cabri3D'de yer alan 3B'lu cismin yüzey açılımını zihninizde canlandırınız. Cismin yüzey açılımını, onun açı ve kenar uzunluklarının ölçülerine dikkate alarak, size verilen kareli zemine çizmeye çalışınız.



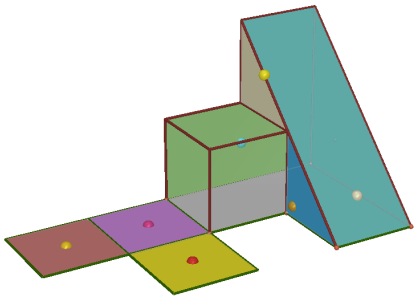
Cabri 3D'deki Cisim



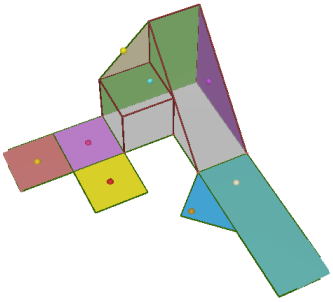
Kareli Zemin

Cabri3D'de Yer Alan Cismin Yüzeyini Açmadaki Takip Edilen Adımlardan Bazıları

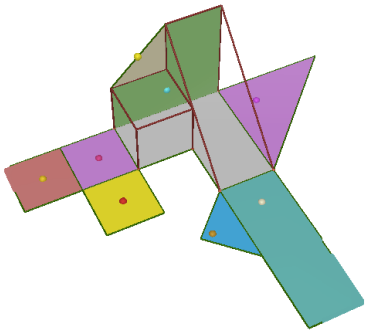
1.Adım



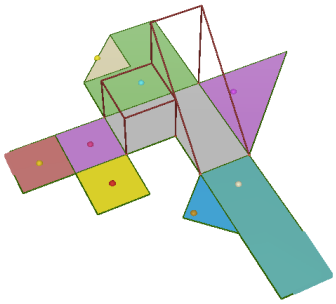
2. Adım



3. Adım



4. Adım



EK 13: Açınım Öğretim Seansında Takip Edilen Yönergeler

AÇINIM ÖĞRETİM SEANSINDA TAKİP EDİLEN YÖNERGELER

1) Cismin yüzey açınımını nasıl yaptığını açıklar mısın? Çiziminde eklemek ya da çıkartmak istediğin bir şey var mı?

2) Cabri3D'deki cismi çevirerek inceler misin? Çizimindeki yüzler ile Cabri3D'deki cismin yüzlerini karşılaştırır mısın? Çizimine Cabri3D'de yer alan cismin tüm yüzlerini yansıtmış mısın? Cabri3D'deki cismin kaç yüzü var, açınımına kaç yüz çizmişsin, karşılaştırır mısın? Eğer çizimine yansıtmadığın yüz ya da yüzler varsa onu ya da onları şimdi çizmek istesen nasıl çizerdin anlatır mısın? Eksik çizdiğin yüzleri, açınımına başka bir renk kalemle şimdi ekler misin?

3) Cabri3D'deki cismin yüzleri hangi geometrik şekillerden oluşuyor? Çizimine yansıttığın yüzler ile Cabri3D'deki cismin yüzleri aynı geometrik şekillerden mi oluşuyor? Cabri3D'deki cisimdeki yüzlerin açılarını ve kenar uzunluklarını ölçerek karşılaştırır mısın?

4) Çizimindeki hangi yüz şekil ya da şekillerini Cabri3D'dekinden farklı bir şekilde çizmişsin, belirler misin? Çiziminde geometrik özelliklerine göre çizmediğin yüz ya da yüzleri şimdi düzeltmek istesen nasıl düzeltirsin anlatır mısın? Hatalı çizdiğini düşündüğün yüz şekil ya da şekillerini farkı renkte bir kalemle şimdi düzeltir misin?

5) Cabri3D'deki cismin yüzeyini farklı düzlemde bulunmayan iki yüzü aynı anda hareket etmeyecek şekilde, sırayla açar mısın? Cabri3D'deki cismin yüzeyinin nasıl açıldığını analitik olarak tarif eder misin? (Örneğin, önce pembe kare şeklindeki yüzü 90 derece yeşil yüzle aynı düzleme gelecek şekilde açarım v.b)

6) Cabri3D'deki açınımla kendi açınımını karşılaştırır mısın? Eğer iki açınım birbirinden farklı ise, bu farklılık neden kaynaklanıyor olabilir, açıklar mısın? Cabri3D'deki açınım mı yoksa senin açınımın mı doğru, açıklar mısın?

7) Kendi açınımını kapatmak istesen nasıl kapatırsın, analitik olarak tarif eder misin? Kapanınca birleşmesi gereken kenar çiftlerini sözlü olarak belirttikten sonra ayırt edici bir şekilde aynı renk kalemle etiketler misin? Açınımını kapatabildin mi? Eğer açınımını kapatamamışsan, açınımının kapanmamasının nedeni ne, açıklar mısın?

8) Açınımına tüm yüzleri doğru bir şekilde konumlandırdığına emin misin? Sence hangi yüz ya da yüzleri açınımında yanlış bir şekilde konumlandırdın? Açınımında hatalı bir şekilde konumlandırdığın yüz ya da yüzlerin konumlarında değişiklik yapmak istesen nasıl değiştirirsin, anlatır mısın? Hatalı konumlandırdığın yüz ya da yüzleri farklı renk bir kalemle şimdi düzeltir misin?

9) Açınımının kapanması için birleşmesi gereken kenar çiftlerini sözlü olarak ifade ettikten sonra, aynı renk kalemle etiketler misin? Açınımını kapatabildin mi? Eğer açınımını kapatamamışsan nedenini açıklar mısın? Kapatınca bir araya gelecek, farklı uzunlukta çizdiğin kenar çiftlerinde düzeltme yapmak istesen nasıl düzeltirdin, anlatır mısın? İlişkilendirme hatası yaptığın kenar çiftlerini farklı renk kalemle şimdi düzeltir misin?

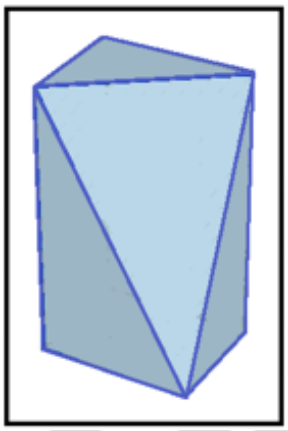
10) Açınımını kapatabilmen için hangi kenarlar çiftlerini birleştirmen gerekli anlatır mısın? Birleşmesi gereken kenar çiftlerini yeniden etiketler misin? Cabri3D'deki açınımı kapatmak istesen nasıl kapatırsın, analitik olarak tarif eder misin? Cabri3D'deki açınımın kapanması için hangi kenar çiftlerinin birleşmesi gerekir, sözlü olarak ifade eder misin?

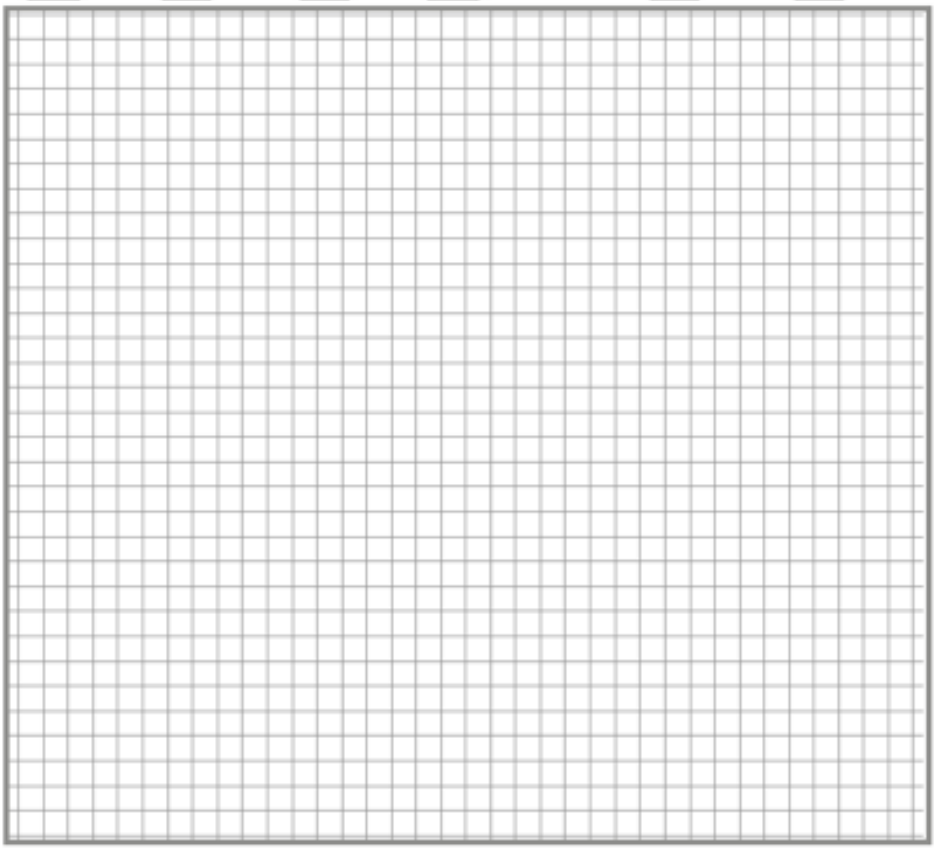
Not: (Eğer katılımcının görevi yapmada zorlanmadığı düşünülürse) Cismin yüzeyini farklı bir şekilde açmak istesen nasıl açardın, tarif eder misin? Tarif ettiğin açınımı çizer misin? (Açınımı kapatma süreci ile ilgili sorularla devam edilir) Bahsettiğin açınımlardan ve Cabri3D'de yer alan başka bir açınım var mıdır, tarif eder misin?

EK 14: Son Görüşme Soru Örnekleri (Açınım Bölümü)

Açınım Bölümü ile İlgili Göreve Dayalı Bireysel Son Klinik Görüşme Soruları
Birinci Kategori

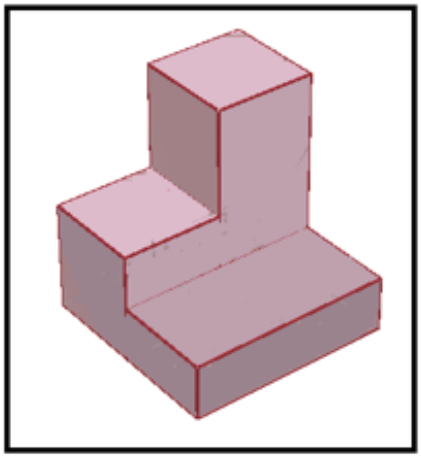
Aşağıda yer alan 3B'lu cismin alt taraftaki yüzü, bu cismin alt tabanını temsil etmektedir. Öncelikle zihninizde cismin yüzeyini alt tabanın bulunduğu düzleme açtığınızı hayal ediniz. Sonra cismin yüzeyini oluşturan yüzlerin geometrik özelliklerini (örneğin, uzunluk ve açı ölçüleri gibi) dikkate alarak, yüzey açınımını verilen kareli zemin üzerine çizmeye çalışınız.

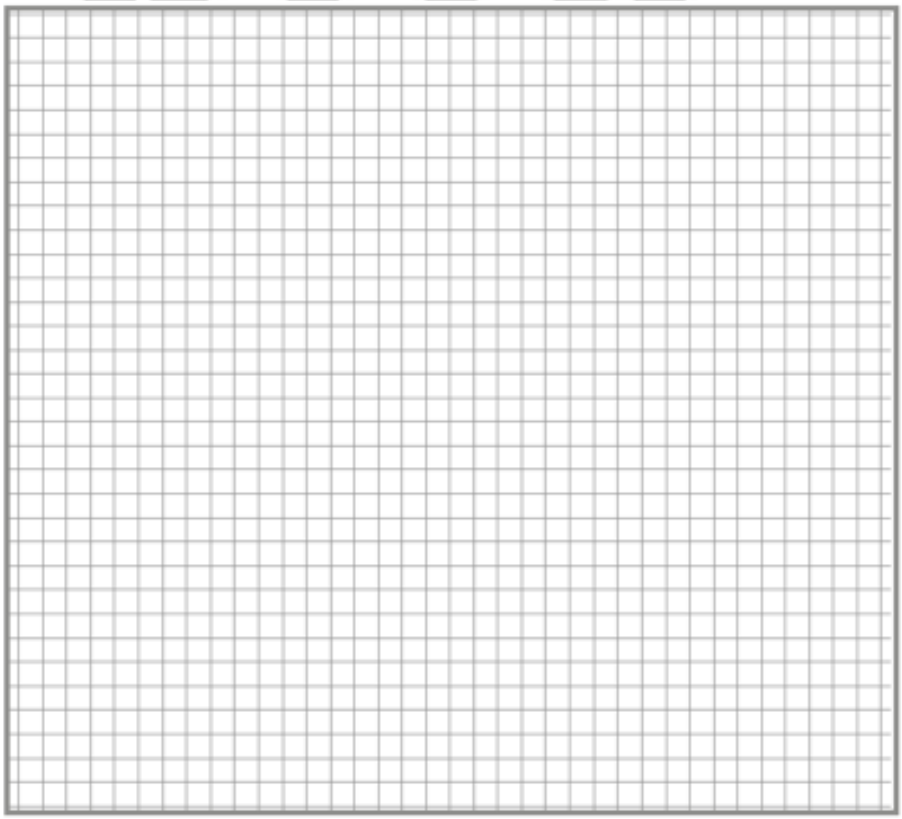




İkinci Kategori

Aşağıda yer alan 3B'lu cismin alt taraftaki yüzü, bu cismin alt tabanını temsil etmektedir. Öncelikle zihninizde cismin yüzeyini alt tabanın bulunduğu düzleme açtığınızı hayal ediniz. Sonra cismin yüzeyini oluşturan yüzlerin geometrik özelliklerini (örneğin, uzunluk ve açı ölçüleri gibi) dikkate alarak, yüzey açınımını verilen kareli zemin üzerine çizmeye çalışınız.

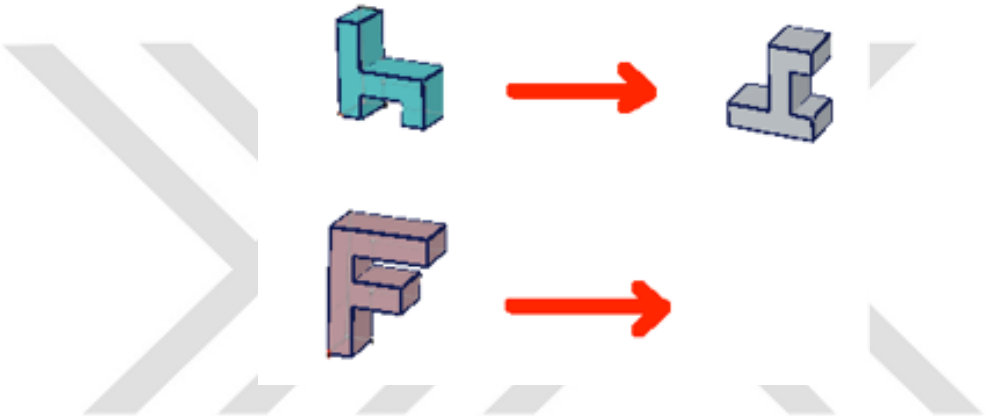




EK 15: Son Görüşme Soru Örnekleri (Döndürme Bölümü)

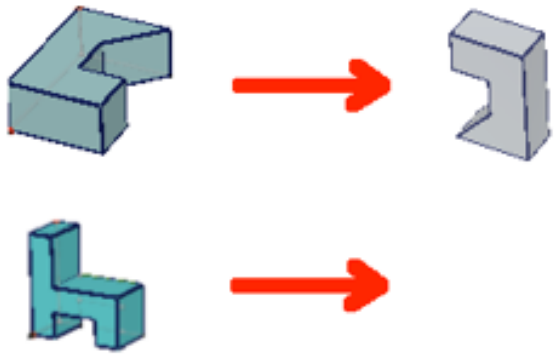
Döndürme Bölümü ile İlgili Göreve Dayalı Bireysel Son Klinik Görüşme Soruları
Birinci Kategori

Aşağıda ilk satırda bir katı cisim ve ona belirli bir eksen, yön ve dönme açısı uygulandıktan sonraki görüntüsü verilmiştir. Görüntü nasıl meydana gelmiştir? İkinci satırdaki cisme aynı şekilde bir dönme hareketi uygulanırsa, nasıl bir görüntü oluşur? Tarifediniz…….
……
……
……
……
.....



İkinci Kategori

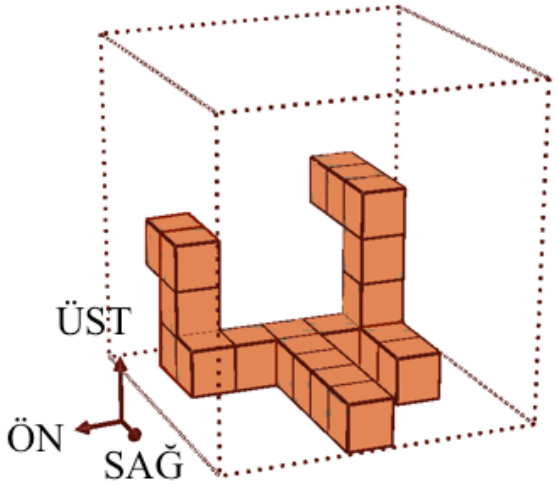
Aşağıda ilk satırda bir katı cisim ve onun belirli iki eksen, yön ve açı ölçüsü uygulandıktan sonraki görüntüsü yer almaktadır. Görüntü nasıl meydana gelmiştir? İkinci satırdaki cisme aynı şekilde bir dönme hareketleri uygulanırsa, nasıl bir görüntü oluşur? Tarif ediniz.
……
……
……
……..

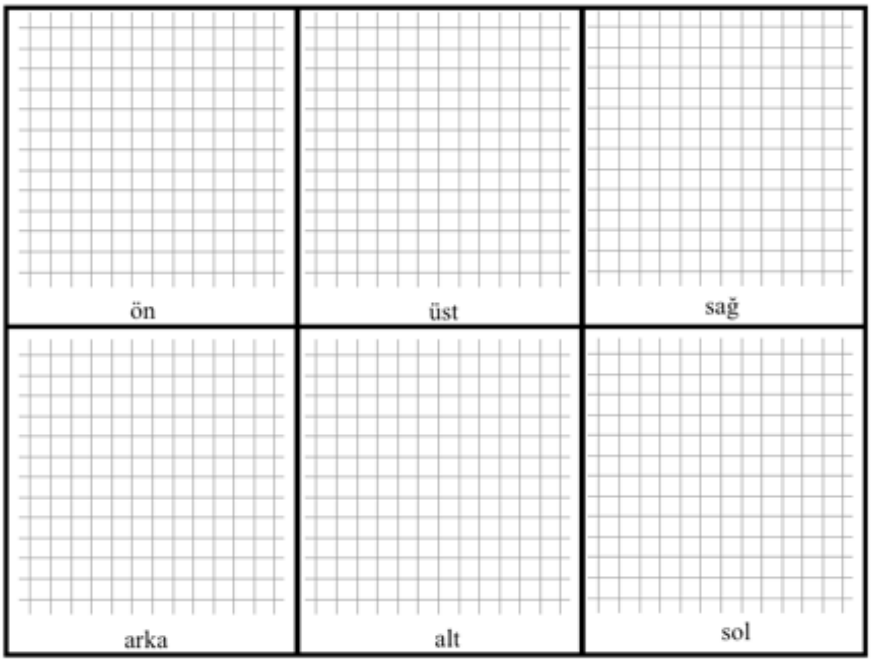


EK 16: Son Görüşme Soru Örnekleri (Birinci Yönelim Bölümü)

Birinci Yönelim Bölümü ile İlgili Göreve Dayalı Bireysel Son Klinik Görüşme Soruları
(Birimli Küplü Bütünleşik Olmayan Yapı)

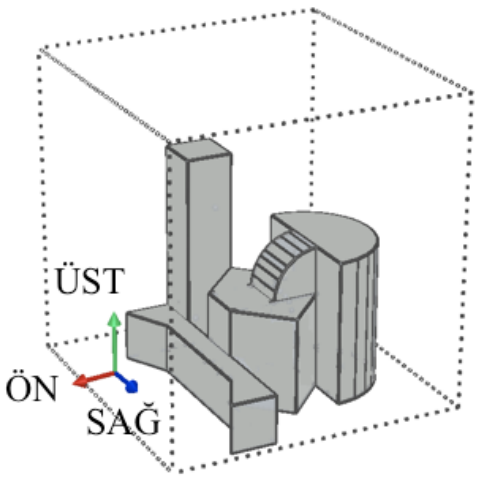
Aşağıdaki küp içerisinde yer alan yapıya **ön-arka, üst-alt, sol-sağ** taraflarından baktığınızı düşününüz. Zihninizde canlanan görünüşleri aşağıda yer alan kareli zemine çiziniz **(üst ve alt bakış için ön tarafı kullanınız)**.





(Eğik ve Eğrisel Yüzlere Sahip Karmaşık Yapı)

Aşağıdaki küp içerisinde yer alan yapıya **ön-arka, üst-alt, sol-sağ** taraflarından baktığınızı düşününüz. Zihninizde canlanan görünüşleri aşağıda yer alan kareli zemine çiziniz **(üst ve alt bakış için ön tarafı kullanınız)**.



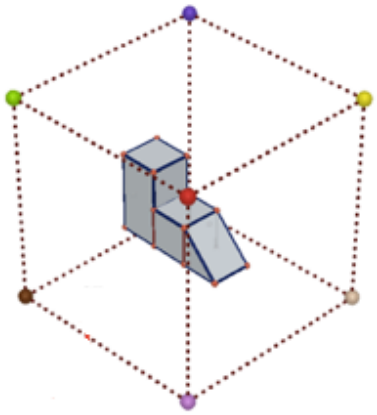
ön	üst	sağ
arka	alt	sol

EK 17: Son Görüşme Soru Örnekleri (İkinci Yönelim Bölümü)

İkinci Yönelim Bölümü ile İlgili Göreve Dayalı Bireysel Son Klinik Görüşme Soruları (Modifiye Cisim)

Aşağıdaki cisme küpün A noktasından baktığınızı düşünün. Cismin hangi kısımlarını görürsünüz. Zihninizde oluşan 3B'lu görüntüyü aşağıda noktalı olarak verilen satırlara yazarak tarif ediniz. Elde edilecek 3B'lu görüntüyü izometrik alana çiziniz.

……
……
……
……
……

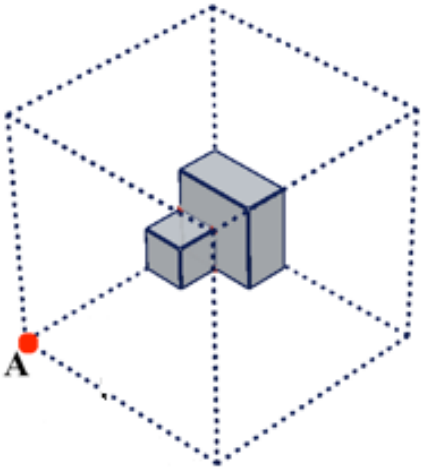


B

(Kombine Cisim)

Aşağıdaki cisme küpün A noktasından baktığınızı düşünün. Cismin hangi kısımlarını görürsünüz. Zihninizde oluşan 3B'lu görüntüyü aşağıda noktalı olarak verilen satırlara yazarak tarif ediniz. Elde edilecek 3B'lu görüntüyü izometrik alana çiziniz.

……
……
……
……
……



EK 16: Öğretim Seansları Öncesi ve Sonrası Görevlerin Algılanan Zorluğu ile İlgili Anket ve Görüşme Soruları

Açınım bölümü yazılı değerlendirme görevlerinin her birini ne derece zor bulduğunuzu tablonun üst satırında yer alan uygun ifadeyi seçerek kutucuklara işaretlemelerinizi yapınız.

Zorluk Derecesi / Sorular	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**
	Çok çok basit	**Çok basit**	**Basit**	**Biraz basit**	**Ne basit ne zor**	**Biraz zor**	**Çok zor**	**Oldukça zor**	**Çok çok zor**
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									

Görüşme Soruları:
(1) Hangi soru ya da soruları diğerlerinden daha kolay buldun?
(2) Soruları kolay bulmanın nedenini açıklar mısın?
(3) Hangi soru ya da soruları diğerlerinden daha zor buldun?
(4) Soruları zor bulmanın nedenini açıklar mısın?

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı	:	Feyza KURBAN
Yabancı Dil	:	
Doğum Yeri ve Yılı	:	
E-Posta	:	

Eğitim Geçmişi:

Mesleki Geçmişi: