

T.C.
ARTVİN ÇORUH ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
MATEMATİK VE FEN BİLİMLERİ EĞİTİMİ ANA BİLİM DALI
MATEMATİK EĞİTİMİ PROGRAMI

CEBİR ÖĞRENME ALANINDA TEKNOLOJİ DESTEKLİ
ÖĞRETİMİN BİLİŞSEL VE DUYUŞSAL ÖĞRENME
ÇIKTILARINA ETKİSİ: BİR META-ANALİZ ÇALIŞMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Rabiha KILIÇ

Danışman

Prof. Dr. Ümit KUL

OCAK, 2026

BİLİMSEL ETİK BEYANNAMESİ

Artvin Çoruh Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsüne Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Cebir Öğrenme Alanında Teknoloji Destekli Öğretimin Bilişsel Ve Duyuşsal Öğrenme Çıktılarına Etkisi: Bir Meta-Analiz Çalışması” başlıklı bu çalışmayı;

☒ Baştan sona kadar danışmanım Prof. Dr. Ümit KUL’un sorumluluğunda tamamladığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metin içerisinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı taahhüt ederim.

☒ Turnitin benzerlik programından alınmış olan özgünlük raporuna göre tezin benzerlik oranının % 8 olduğunu beyan ederim.

Aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim.

Lisansüstü Eğitim-Öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca gereğinin yapılmasını arz ederim.

☒ Tezimin tamamı her yerden erişime açılabilir.

☐ Tezim sadece Artvin Çoruh Üniversitesi yerleşkelerinden erişime açılabilir.

☐ Tezimin ... ay süreyle erişime açılmasını istemiyorum. Bu sürenin sonunda uzatma için başvuruda bulunmadığım takdirde, tezimin tamamı her yerden erişime açılabilir.

...../...../20.....

Rabiha KILIÇ

ORCID NO: 0009-0005-6203-8850

İmza

T.C.
ARTVİN ÇORUH ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
MATEMATİK VE FEN BİLİMLERİ EĞİTİMİ ANA BİLİM DALI
MATEMATİK EĞİTİMİ PROGRAMI

CEBİR ÖĞRENME ALANINDA TEKNOLOJİ DESTEKLİ ÖĞRETİMİN BİLİŞSEL
VE DUYUŞSAL ÖĞRENME ÇIKTILARINA ETKİSİ: BİR META-ANALİZ
ÇALIŞMASI

Rabiha KILIÇ
ORCID NO: 0009-0005-6203-8850

Başkan : Prof. Dr. Eyüp SEVİMLİ

Jüri Üyesi : Prof. Dr. Ümit KUL

Jüri Üyesi : Doç. Dr. Sedef ÇELİK DEMİRCİ

ONAY:

Bu Yüksek Lisans tezi, Artvin Çoruh Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulunca belirlenen yukarıdaki jüri üyeleri tarafından 12/01/2026 tarihinde oy birliği ile uygun görülmüş ve kabul edilmiştir.

.../.../.....

Prof. Dr. Kerem ÇOŞKUN

Enstitü Müdürü

ÖN SÖZ

“Cebir Öğrenme Alanında Teknoloji Destekli Öğretimin Bilişsel Ve Duyuşsal Öğrenme Çıktılarına Etkisi: Bir Meta-Analiz Çalışması” konusunda yapılan bu çalışma; Artvin Çoruh Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Matematik ve Fen Bilimleri Eğitimi Anabilim Dalında yüksek lisans tezi olarak hazırlanmıştır.

Bu çalışmanın ortaya çıkmasında ve yürütülmesinde katkı sağlayan birçok kişi bulunmaktadır. Öncelikle, tez sürecinin her aşamasında yol gösterici desteğini, bilimsel rehberliğini ve görüşlerini esirgemeyen değerli danışman hocam Prof. Dr. Ümit KUL’a içtenlikle teşekkür ederim. Akademik gelişimime sunduğu katkılar bu çalışmanın niteliğini doğrudan etkilemiştir.

Ayrıca, lisansüstü eğitimim boyunca bilgi ve deneyimlerini benimle paylaşan Doç. Dr. Sedef ÇELİK DEMİRCİ, Dr. Öğretim Üyesi Ulaş ÜSTÜN ve tüm öğretim üyelerine, araştırma sürecinde dolaylı ya da doğrudan katkı sunan arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Bu zorlu ve yoğun süreçte sabrı, anlayışı ve desteğiyle her zaman yanımda olan eşim Ramazan KILIÇ’a en içten şükranlarımı sunarım. Çalışma sürecine anlam katan, varlıklarıyla motivasyon kaynağım olan çocuklarım Asmin Rüya, Çınar Barış ve Hamza Cihan’a ise sevgiyle teşekkür ederim. Onların gülüşleri ve sabrı, bu tezin tamamlanmasında en büyük ilham kaynağım olmuştur.

Bu tezin, matematik eğitimi alanında teknoloji destekli öğretim uygulamalarına yönelik yapılacak gelecekteki araştırmalara katkı sağlaması ve uygulayıcılara yol gösterici nitelikte olması temennisiyle...

Rabiha KILIÇ

Artvin – 2026

İÇİNDEKİLER

KISALTMA DİZİNİ	VIII
ŞEKİL LİSTESİ	IX
TABLO LİSTESİ.....	X
ÖZET	XI
ABSTRACT	XIII
1 GİRİŞ.....	1
1.1 Problem Durumu	2
1.2 Çalışmanın Amacı	3
1.3 Araştırma Soruları.....	4
1.4 Çalışmanın Önemi.....	5
1.5 Tanımlar	7
1.6 Varsayımlar	8
1.7 Sınırlılıklar.....	8
2 LİTERATÜR TARAMASI.....	10
2.1 Kuramsal Çerçeve.....	10
2.2 Cebir Öğrenme Alanının Doğası ve Öğrenme Zorlukları.....	12
2.2.1 Cebirsel düşünme	12
2.2.2 Operasyonel ve yapısal düşünme	12
2.2.3 Değişken kavramı ve öğrenme zorlukları.....	13
2.2.4 Eşitlik kavramı ve yaygın kavram yanılgıları	13
2.2.5 Aritmetikten cebire geçişte karşılaşılan engeller.....	14
2.2.6 Türkiye’de cebir öğrenimindeki başarı durumu	15
2.3 Dijital Çağda Matematik Eğitimi ve Teknoloji Entegrasyonu	15
2.3.1 Teknolojinin matematik öğretimindeki rolü.....	15
2.3.2 Ulusal öğretim programlarında teknolojinin yeri	16
2.4 Teknoloji Destekli Cebir Öğretimi Yaklaşımları	17
2.4.1 Dinamik matematik yazılımları.....	18
2.4.2 Bilgisayar cebir sistemleri (BCS).....	18
2.4.3 Sanal manipülatifler ve dijital araçlar.....	19
2.5 Teknoloji Destekli Öğretimin Bilişsel ve Duyuşsal Çıktıları.....	20
2.5.1 Akademik başarıya etkisi	20

2.5.2 Tutuma etkisi	21
2.6 Teknoloji Destekli Matematik/Cebir Öğretimi Üzerine Yapılan Meta-Analiz Çalışmaları.....	22
2.6.1 Uluslararası meta-analiz çalışmaları	22
2.6.2 Türkiye’de yapılan meta-analiz çalışmaları	24
2.6.3 Cebir öğretiminde teknoloji kullanımına ilişkin meta-analiz çalışmaları	25
2.7 Alanyazın Taramasının Özeti	26
3 YÖNTEM	28
3.1 Araştırma Modeli.....	28
3.2 Veri Toplama Süreci	30
3.3 Meta Analizin Geçerlik ve Güvenirliği	35
3.3.1 Geçerlik	35
3.3.2 Güvenirlik.....	36
3.4 Verilerin Analizi (İstatistiksel Analizler).....	38
3.4.1 Etki büyüklüğü	38
3.4.2 Yayın yanlılığı.....	39
3.4.3 Heterojenlik analizi	40
3.4.4 Hassasiyet analizi:	41
3.4.5 Moderatör (Ara) değişkenlerin belirlenmesi	42
3.4.6 Araştırmanın etik boyutu.....	45
4 BULGULAR	46
4.1 Meta-Analiz 1: Teknoloji Destekli Öğretimin Cebir Başarısına Etkisi	46
4.1.1 Çalışmaların Genel (Betimsel) Özellikleri	46
4.1.2 Etki büyüklüğü analizi.....	48
4.1.3 Heterojenlik analizi	49
4.1.4 Hassasiyet analizi	52
4.1.5 Yayın yanlılığı.....	53
4.1.6 Moderatör analizleri	55
4.2 Meta Analiz 2’ye (Duyuşsal) Ait Bulgular	59
4.2.1 Çalışmaların genel (betimsel) özellikleri	59
4.2.2 Etki büyüklüğü analizi.....	60
4.2.3 Heterojenlik analizi	60
4.2.4 Hassasiyet analizi	62
4.2.5 Yayın yanlılığı.....	63
4.2.6 Moderatör analizleri	65

4.3 Bulguların Özeti	68
5 TARTIŞMA ve SONUÇ	70
5.1 Teknoloji Destekli Öğretimin Akademik Başarıya Etkisi.....	70
5.1.1 Yayın yanlılığı değerlendirmesi	72
5.1.2 Moderatör analizi	72
5.2 Teknoloji Destekli Öğretimin Tutuma Etkisi	77
5.2.1 Yayın yanlılığı değerlendirmesi	78
5.2.2 Moderatör analizi	79
5.3 Sonuç	82
5.4 Öneriler	84
5.5 Araştırmanın Sınırlılıkları	85
KAYNAKLAR.....	87
İNTİHAL RAPORU İLK SAYFASI	99

KISALTMA DİZİNİ

BCS	Bilgisayar Cebiri Sistemleri
BDMÖ	Bilgisayar Destekli Matematik Öğretimi
DMY	Dinamik Matematik Yazılımları
EBA	Eğitim Bilişim Ağı
FATİH	Fırsatları Artırma ve Teknolojiyi İyileştirme Hareketi
MEB	Milli Eğitim Bakanlığı
NCTM	Ulusal Matematik Öğretmenleri Konseyi
PRISMA	Sistematiik İncelemeler ve Meta Analizler için Tercih Edilen Raporlama Öğeleri
TDÖ	Teknoloji Destekli Öğretim
TIMSS	Uluslararası Matematik ve Fen Eğilimleri Araştırması
TPAB	Teknolojik Pedagojik Alan Bilgisi
TYMM	Türkiye Yüzyılı Maarif Modeli
YÖK	Yükseköğretim Kurulu

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 3.1 Meta analiz çalışmasında takip edilecek işlem basamakları	29
Şekil 3.2 Kodlama formu	31
Şekil 3.3 Birincil çalışmaların elde edilme sürecini gösteren PRISMA akış şeması (PRISMA; Page vd., 2021).....	34
Şekil 3.4 Başarı ve tutum için uyulama süresi moderatörünün doğrusallık analizi	43
Şekil 3.5 Başarı ve tutum için örneklem büyüklüğü moderatörünün doğrusallık analizi	44
Şekil 4.1 Başarı için orman grafiği.....	51
Şekil 4.2 Başarı için huni grafiği	53
Şekil 4.3 Başarı için düzeltilmiş huni grafiği	54
Şekil 4.4 Tutum için orman grafiği	61
Şekil 4.5 Tutum için huni grafiği.....	63
Şekil 4.6 Tutum için düzeltilmiş huni grafiği.....	64

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1 Araştırma Soruları	4
Tablo 1 Araştırma Soruları	4
Tablo 2 Veri tabanları ve çalışma sonuçları	32
Tablo 3 Çalışmaların dâhil edilme ölçütleri	33
Tablo 4 Cohen'in (1988) ve Thalheimer ve Cook'un (2002) etki büyüklüğü sınıflandırması	39
Tablo 5 Meta-Analiz 1'e dâhil edilen çalışmaların özellikleri	46
Tablo 6 Genel etki büyüklüğü sonuçları.....	48
Tablo 7 Bağımlı değişken başarı için heterojenlik testi sonuçları.....	49
Tablo 8 Uç değer analizi.....	52
Tablo 9 Kes ve ekle parametre tahminleri.....	55
Tablo 10 Başarı için moderatör değişkenlere ait basit meta regresyon sonuçları	56
Tablo 11 Araştırmaya dâhil edilen çalışmaların genel özellikleri.....	59
Tablo 12 Genel etki büyüklüğü sonuçları.....	60
Tablo 13. Bağımlı değişken tutum için heterojenlik testi sonuçları	60
Tablo 14 Uç değer analizi.....	62
Tablo 15 Kes ve ekle parametre tahminleri.....	64
Tablo 16 Tutum için moderatör değişkenlere ait basit meta regresyon sonuçları.....	65
Tablo 17 İki meta analizin karşılaştırmalı özeti	68

CEBİR ÖĞRENME ALANINDA TEKNOLOJİ DESTEKLİ ÖĞRETİMİN BİLİŞSEL VE DUYUŞSAL ÖĞRENME ÇIKTILARINA ETKİSİ: BİR META-ANALİZ ÇALIŞMASI

Rabiha KILIÇ

Dijital çağ, matematik öğretimini yalnızca işlem pratiğine dayalı bir etkinlik olmaktan çıkararak, kavramsal anlama, modelleme, temsil dönüşümleri ve akıl yürütme süreçlerini önceleyen bir yapıya dönüştürmüştür. Bu dönüşüm bağlamında teknoloji; öğretim sürecinin pasif bir sunum aracı olmaktan ziyade, öğrencinin bilişsel süreçlerini destekleyen, anlık geri bildirim sağlayan ve soyut matematiksel kavramların çoklu temsillerle yapılandırılmasını kolaylaştıran etkili bir öğrenme bileşeni olarak değerlendirilmektedir. Bu çalışmada, cebir öğrenme alanında teknoloji destekli öğretimin, mevcut öğretim yöntemlerine kıyasla öğrencilerin bilişsel (akademik başarı) ve duyuşsal (tutum) öğrenme çıktıları üzerindeki etkisi incelenmiştir. Araştırma kapsamında paralel iki meta-analiz yürütülerek başarı ve tutuma ilişkin genel etki büyüklükleri hesaplanmış; ek olarak çeşitli değişkenlerin etkiyi anlamlı ölçüde farklılaştırıp farklılaşmadığını belirlemek amacıyla moderatör analizleri gerçekleştirilmiştir. Veriler, YÖK Ulusal Tez Merkezi, TR Dizin, Dergi Park, Google Akademik, Web of Science ve Scopus veri tabanlarında yapılan kapsamlı literatür taramasıyla elde edilmiştir. Tarama sürecinin açık, tekrarlanabilir ve şeffaf biçimde sunulabilmesi için süreç PRISMA akış şeması üzerinden raporlanmıştır. Dâhil etme ölçütlerini karşılayan çalışmalar arasından başarıya yönelik meta-analize 53 çalışma (67 etki büyüklüğü), tutuma yönelik meta-analize ise 29 çalışma (30 etki büyüklüğü) dâhil edilmiştir. Etki büyüklükleri Hedges g düzeltmeli etki büyüklüğü formülü kullanılarak hesaplanmış; tüm analizler JASP 0.95.4.0 yazılımında rastgele etkiler modeline göre yürütülmüştür.

Başarıya ilişkin meta-analizde genel etki büyüklüğü $g = 0,940$ (%95 GA [0,781–1,100]; $k=67$; $p<0,001$) olarak hesaplanmıştır. Bu bulgu, teknoloji destekli öğretimin cebir öğrenme alanında akademik başarı üzerinde yüksek düzeyde pozitif bir etki yarattığını göstermektedir. Moderasyon analizleri, öğretim kademesi ve örneklem büyüklüğünün başarı üzerindeki etkiyi anlamlı şekilde farklılaştırdığını ortaya koymuştur. Diğer moderatörlerde alt gruplar arasında farklılıklar gözlenirse de bu farklılıklar istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır. Tutuma yönelik meta-analizde genel etki büyüklüğü $g = 0,260$ (%95 GA [0,105–0,415]; $k=30$; $p<0,001$) olup teknoloji destekli öğretimin öğrencilerin cebire/matematiğe yönelik tutumları üzerinde küçük fakat anlamlı ve olumlu bir etki yarattığı belirlenmiştir. Moderatör analizine göre alt gruplar arasında farklılıklar olsa da yalnızca örneklem büyüklüğü değişkeni anlamlı bulunmuştur.

Sonuç olarak, bu araştırma teknoloji destekli öğretimin cebir öğrenme alanında hem akademik başarıyı artıran hem de öğrenci tutumlarını olumlu yönde destekleyen etkili ve güçlü bir öğretim yaklaşımı olduğunu ortaya koymaktadır. Araştırmacılar, program geliştiriciler ve öğretmenler için önemli içgörüler sunmakta ve teknoloji entegrasyonunun cebir öğretiminde kritik bir bileşen olduğunu vurgulamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Akademik Başarı, Cebir, Matematik Öğrenimi, Meta-Analiz, Teknoloji Destekli Öğretim, Tutum.

ABSTRACT

THE EFFECT OF TECHNOLOGY-SUPPORTED INSTRUCTION ON COGNITIVE AND AFFECTIVE LEARNING OUTCOMES IN THE ALGEBRA LEARNING: A META-ANALYSIS STUDY

Rabiha KILIÇ

The digital age has transformed mathematics education from a practice-based activity into a structure that prioritizes conceptual understanding, modeling, representational flexibility, and reasoning processes. Within this transformation, technology is regarded not merely as a presentation tool but as an effective learning component that supports students' cognitive processes, provides immediate feedback, and facilitates the construction of abstract mathematical concepts through multiple representations. This study examines the extent to which technology-supported instruction in the algebra learning domain influences students' cognitive (academic achievement) and affective (attitude) learning outcomes compared to traditional instructional methods. To this end, two parallel meta-analyses were conducted to compute the overall effect sizes for achievement and attitude, and moderator analyses were performed to determine whether these effects varied significantly across different conditions. Data were obtained through a comprehensive literature search in the Council of Higher Education Thesis Center (YÖK), TR Dizin, Dergi Park, Google Scholar, Web of Science, and Scopus databases. To ensure transparency, reproducibility, and clarity of the review process, all procedures were documented using the PRISMA flow diagram. Based on the inclusion criteria, 53 primary studies (67 effect sizes) were included in the achievement meta-analysis, and 29 primary studies (30 effect sizes) were included in the attitude meta-analysis. Effect sizes were calculated using the Hedges g adjusted effect size formula, and all analyses were conducted using the random-effects model in JASP 0.95.4.0 software. The overall effect size for academic achievement was $g = 0.940$ (95% CI [0.781–1.100]; $k=67$; $p < .001$), indicating a high and positive effect of technology-supported instruction on students'

algebra achievement. Moderator analyses revealed that educational level and sample size significantly influenced the effect on achievement, whereas other moderators showed non-significant differences between subgroups despite descriptive variability. For attitude, the overall effect size was $g = 0.260$ (95% CI [0.105–0.415]; $k=30$; $p < .001$), demonstrating a small yet significant positive effect of technology-supported instruction on students' attitudes toward algebra/mathematics. Moderator analyses indicated subgroup differences; however, only sample size emerged as a statistically significant moderator.

In conclusion, this study reveals that technology-supported instruction is an effective and robust teaching approach in the field of algebra learning, enhancing both academic achievement and positively supporting students' attitudes. The researchers offer important insights for program developers and teachers, highlighting that technology integration is a critical component in algebra instruction.

Keywords: Academic Achievement, Algebra, Mathematics Learning, Meta-Analysis, Technology-Supported Instruction, Attitude.

Günümüzde teknolojinin hızla gelişmesi ve internet ağlarına her ortamda rahatça erişilmesi, teknolojinin birçok alana entegre edilmesini sağlamıştır. Tıp, mühendislik, iş sektörleri, finans ve eğitim gibi her alanda teknolojiden yararlanıldığı görülmektedir. Özellikle eğitim alanında, teknolojinin entegrasyonu ülkelerin eğitim politikalarında köklü değişimlere yol açmıştır. Türkiye’de de teknoloji destekli eğitim sisteminin temelleri, 2010 yılında hayata geçirilen Fırsatları Artırma ve Teknolojiyi İyileştirme Hareketi (FATİH) projesi ile atılmıştır. Dijital araçların, etkileşimli yazılımların, mobil öğrenme ortamlarının ve sanal uygulamaların öğretim sürecine entegrasyonu, öğrenme ortamlarının işleyişini çağa uygun hale getirmiştir. Bu dönüşüm, özellikle matematik eğitimi alanında kritik bir öneme sahiptir. Matematik öğretiminde teknoloji kullanımı, soyut kavramların somutlaştırılmasını kolaylaştırarak öğrenmeyi destekler. Ayrıca bu kullanım, öğrencilerin başarı ve tutum düzeylerinde olumlu değişimlere zemin hazırlayabilir (Higgins, Huscroft-D’Angelo ve Crawford, 2019; Taşpınar-Şener, 2023).

Matematiğin temel alt alanlarından biri olan cebir, öğrencilerin sembolik düşünme, ilişkiler kurma ve problem çözme becerilerinin gelişiminde merkezi bir role sahiptir. Ancak araştırmalar, öğrencilerin cebirsel ifadeleri anlamada, sembolik işlem yapmada, değişken ve denklem ilişkilerini kavramada önemli zorluklar yaşadığını göstermektedir (Booth ve Newton, 2012; Dede ve Argün, 2003; Kaput, 2008). Özellikle bilinmeyen (değişken) kavramı, öğrencilerde matematiğe karşı önyargı ve olumsuz tutum gelişimine sebep olmaktadır (İlhan, Aslaner ve Doğan, 2022). Bu zorlukların üstesinden gelmek için, cebir öğrenme sürecinin yalnızca prosedürel işlemlerden öte, kavramsal anlayış gerektirdiği ve bu nedenle öğretim tasarımlarının öğrenci merkezli, etkileşimi artıran ve teknolojiyi destekleyen şekilde kurgulanması gerektiği açıktır. Bu bağlamda, teknoloji destekli öğretim uygulamaları (örneğin GeoGebra, Desmos, Cabri vb.), öğrencilerin cebir kavramlarını dinamik olarak görselleştirmelerine, etkileşimli biçimde işlem yapmalarına

ve kendi öğrenme süreçlerini aktif biçimde yönlendirmelerine olanak tanımaktadır (Hohenwarter ve Preiner, 2007).

Teknoloji destekli öğretimin etkisi yalnızca bilişsel alanla sınırlı değildir. Öğrencilerin matematiğe yönelik tutumları üzerinde de önemli etkiler yarattığı görülmektedir. Tutum, bireylerin öğrenmeye yönelik duygusal eğilimlerini, inançlarını ve motivasyonlarını belirleyen önemli bir değişkendir. Olumlu tutuma sahip öğrencilerin matematik dersine karşı daha yüksek öz yeterlilik ve katılım sergiledikleri, dolayısıyla başarı düzeylerinin de arttığı bilinmektedir (Middleton ve Spanias, 1999). Teknoloji destekli öğrenme ortamları, öğrencilerin matematiği daha anlamlı, eğlenceli ve etkileşimli biçimde deneyimlemelerine olanak tanıdığı için tutum üzerinde pozitif bir etki oluşturabilmektedir (Baydaş ve Göktaş, 2017). Alanyazın incelendiğinde, teknoloji destekli öğretimin öğrencilerin matematik başarısı üzerinde olumlu etkiler yarattığını gösteren çok sayıda araştırma bulunmaktadır (Cheung ve Slavin, 2013; Yıldız ve Tatar, 2019; Zhang vd., 2023). Bununla birlikte, bazı çalışmalarda bu etkinin farklı düzeylerde gerçekleştiği, bazen anlamlı, bazen sınırlı olduğu raporlanmıştır (Bayrak ve Altun, 2017; Li ve Ma, 2010). Benzer şekilde, teknoloji destekli öğretimin matematiğe yönelik tutum üzerindeki etkisine ilişkin araştırmalarda da çeşitli sonuçlar elde edilmiştir. Bu durum, farklı örneklemeler, öğretim süreleri, teknoloji türleri ve uygulama biçimlerinin etkisinin sistematik biçimde değerlendirilmesini gerekli kılmaktadır.

1.1 Problem Durumu

Dijital çağ, matematik öğretimini yalnızca işlem pratiğine dayalı bir etkinlik olmaktan çıkararak kavramsal anlama, modelleme ve çoklu temsillerle akıl yürütme doğrultusunda yeniden konumlandırmıştır. Bu dönüşümde teknoloji, öğretim sürecinde yalnızca bir sunum aracı değil; öğrencinin düşünme süreçlerini destekleyen, anlık geri bildirim sağlayan ve temsil dönüşümlerini kolaylaştıran bir öğrenme bileşeni olarak görülmektedir (Mayer, 2009; NCTM, 2000). Cebir öğrenme alanı bu bağlamda kritik bir konumdadır: Değişken, eşitlik, fonksiyon ve genelleme gibi kavramların soyut yapısı öğrencilerin bilişsel yükünü artırmakta; sembolik dil ile sözel ve görsel temsiller arasında akıcı geçişler kurmaları zorlayıcı olabilmektedir (Kieran, 1992; Sfard, 1995; Usiskin, 1997).

Türkiye bağlamında, uluslararası göstergeler cebirle ilişkili alt boyutlarda gelişim olmakla birlikte hedeflenen düzeyin istikrarlı biçimde yakalanamadığını işaret etmektedir. Uluslararası Matematik ve Fen Eğilimleri Araştırması (TIMSS) 2019

raporları, Türkiye'nin önceki döngülere göre performans artışı sağladığını bildirirken, içerik ve bilişsel alanlarda özellikle üst düzey akıl yürütme becerilerinde gelişimin sürdürülebilirliğine odaklanması gerektiğini göstermektedir (MEB, 2020). Ulusal düzeyde yapılan araştırmalar da öğrencilerin değişken kavramını anlamlandırmada, eşitliği denge olarak algılamada ve sembolik-sözel temsiller arası geçişlerde güçlük yaşadığını ortaya koymaktadır (Akkan, Baki ve Çakıroğlu, 2019; Dede ve Argün, 2003; Erbaş, Çetinkaya ve Alacacı, 2009). Millî Eğitim Bakanlığının (MEB) 2018 programı ve 2024 Türkiye Yüzyılı Maarif Modeli (TYMM), cebirsel düşünmeyi erken yaşlardan itibaren sarmal yapıda ele almayı ve teknoloji entegrasyonunu güçlendirmeyi öngörmektedir (MEB, 2018, 2024). FATİH Projesi ve Eğitim Bilişim Ağı (EBA) platformu bu hedefin altyapısını oluşturmaktadır (MEB, 2013). Bununla birlikte, sınıf içi uygulamalarda “hangi teknoloji türü, hangi süre ve yoğunlukta, hangi cebir alt konularında, hangi öğrenci özellikleri altında daha etkilidir?” soruları ampirik olarak netleşmemiştir.

Birincil çalışmalar genellikle teknoloji lehine sonuçlar bildirirse de, etki büyüklükleri ve etkililik koşulları anlamlı biçimde değişmektedir. Uluslararası ve ulusal meta-analiz kanıtları, eğitim teknolojilerinin matematik başarısı üzerindeki etkisinin genel olarak olumlu ve küçük-orta aralığında olduğunu (Cheung ve Slavin, 2013; Li ve Ma, 2010; Özdemir, Aslaner ve Açıkgül, 2020); ancak uygulama tasarımı, içerik alanı, sınıf düzeyi ve öğretim süresi gibi değişkenlerin etkide belirleyici rol oynadığını göstermektedir. Türkiye bağlamında, cebir öğrenme alanına özgü, bilişsel (akademik başarı, kavramsal anlama) ve duyuşsal (tutum) çıktıları birlikte ele alan, moderatör analizleri ile etkiyi koşullara bağlayan kapsamlı bir sentez eksiktir. Bu nedenle, cebirde teknoloji destekli öğretimin bilişsel ve duyuşsal çıktılar üzerindeki etkisini Türkiye verileri üzerinden sistematik ve nicel bir yaklaşımla incelemek gereklidir; meta-analiz bu gereksinimi karşılayan en uygun yöntemsel çerçevedir (Lipsey ve Wilson, 2001; Smith ve Glass, 1977).

Yukarıda belirtilen ihtiyaçlar doğrultusunda, bu çalışma Türkiye’de cebir öğrenme alanında teknoloji destekli öğretimin etkililiğini sistematik olarak değerlendirmeyi ve hangi koşullarda daha etkili olduğunu belirlemeyi amaçlamaktadır.

1.2 Çalışmanın Amacı

Yukarıda tanımlanan problem durumu çerçevesinde, bu çalışmanın temel amacı, Türkiye’de cebir öğrenme alanında yürütülen deneysel ve yarı-deneysel araştırmaları sistematik olarak derleyip meta-analiz yoluyla birleştirerek, teknoloji destekli öğretimin öğrencilerin cebir başarısı ve cebire/matematiğe yönelik tutumu üzerindeki etkisini, mevcut öğretime kıyasla ortaya koymaktır. Çalışma, etki büyüklüklerindeki farklılaşmayı açıklamak üzere öğretim düzeyi, teknoloji türü, uygulama süresi, ölçek geliştirici, uygulayıcı ve cebir alt öğrenme alanı gibi moderatörleri de incelemektedir. Bu amaç doğrultusunda, çalışma kapsamında iki bağımsız meta-analiz yürütülmüştür:

- Meta-Analiz 1 (Bilişsel): Akademik başarıya ilişkin etki büyüklüklerinin genel düzeyi, heterojenlik ve moderatör farklılıkları
- Meta-Analiz 2 (Duyuşsal): Tutuma ilişkin etki büyüklüklerinin genel düzeyi, heterojenlik ve moderatör farklılıkları

Bu amaç, hem ulusal program öncelikleriyle (MEB, 2024) hem de uluslararası alan yazındaki kanıt boşluklarıyla uyumludur. Çalışma, politika, program ve sınıf içi uygulamalara kanıta dayalı öneriler üretmeyi hedeflemektedir.

1.3 Araştırma Soruları

Bu araştırma, teknoloji destekli öğretimin mevcut öğretim yöntemine kıyasla cebir öğrenme alanında bilişsel ve duyuşsal öğrenme çıktılarına etkisinin ne derece olduğunu belirlemek amacıyla yapılmıştır. Bu amaç doğrultusunda belirlenen alt amaçlar aşağıda yer almaktadır. Bu çalışmada paralel iki meta-analiz çalışması yürütülmüştür. Her iki meta analiz çalışmasına ait araştırma soruları Tablo 1’de sunulmuştur.

Tablo 1 Araştırma Soruları

Soru	Meta analiz 1 (bilişsel)	Meta analiz 2 (duyuşsal)
1	Teknoloji destekli öğretimin mevcut öğretim yöntemine kıyasla cebir başarısı üzerindeki genel etki büyüklüğü nedir?	Teknoloji destekli öğretimin mevcut öğretim yöntemine kıyasla cebire/matematiğe yönelik tutum üzerindeki genel etki büyüklüğü nedir?
2	Yayın yılına (erken dönem, orta dönem, yeni dönem) göre etki büyüklüğü farklılaşmakta mıdır?	Yayın yılına (erken dönem, orta dönem, yeni dönem) göre etki büyüklüğü farklılaşmakta mıdır?
3	Öğretim kademesine (ilköğretim, ortaöğretim, yükseköğretim) göre etki büyüklüğü farklılaşmakta mıdır?	Öğretim kademesine (ilköğretim, ortaöğretim, yükseköğretim) göre etki büyüklüğü farklılaşmakta mıdır?

etki büyüklüğü farklılaşmakta mıdır?

Tablo 1 (devamı)

4	Cebir alt alanına (cebirsal düşünme, denklemler ve eşitsizlikler, fonksiyonlar ve grafikler, ileri cebir) göre etki büyüklüğü farklılaşmakta mıdır?	Cebir alt alanına (cebirsal düşünme, denklemler ve eşitsizlikler, fonksiyonlar ve grafikler, ileri cebir) göre etki büyüklüğü farklılaşmakta mıdır?
5	Kullanılan teknoloji türüne (dinamik geometri yazılımları, bilgisayar cebiri sistemleri, dijital içerik platformları vb.) göre etki büyüklüğü farklılaşmakta mıdır?	Kullanılan teknoloji türüne (dinamik geometri yazılımları, bilgisayar cebiri sistemleri, dijital içerik platformları vb.) göre etki büyüklüğü farklılaşmakta mıdır?
6	Uygulama süresine (kısa süreli, orta süreli, uzun süreli) göre etki büyüklüğü farklılaşmakta mıdır?	Uygulama süresine (kısa süreli, orta süreli, uzun süreli) göre etki büyüklüğü farklılaşmakta mıdır?
7	Örneklem büyüklüğüne (küçük, orta, büyük) göre etki büyüklüğü farklılaşmakta mıdır?	Örneklem büyüklüğüne (küçük, orta, büyük) göre etki büyüklüğü farklılaşmakta mıdır?
8	Uygulayıcıya (öğretmen/araştırmacı) göre etki büyüklüğü farklılaşmakta mıdır?	Uygulayıcıya (öğretmen/araştırmacı) göre etki büyüklüğü farklılaşmakta mıdır?
9	Ölçek geliştirici (araştırmacının geliştirmesi/hazır) değişkenine göre etki büyüklüğü farklılaşmakta mıdır?	Ölçek geliştirici (araştırmacının geliştirmesi/hazır) değişkenine göre etki büyüklüğü farklılaşmakta mıdır?

Bu araştırma soruları, genel etkiyi belirlemekle kalmayıp etkililiğin koşula bağlı doğasını da açığa çıkarmayı amaçlamaktadır. Böylece bulgular yalnızca “etkili mi?” sorusuna değil, “hangi moderatör değişkenlere göre daha etkili?” sorusuna da yanıt üretmektedir.

1.4 Çalışmanın Önemi

Cebirin matematiksel düşünmedeki merkezi rolü göz önüne alındığında (Sfard, 1995; Usiskin, 1997), mevcut literatürdeki bulguları sistematik bir sentezle birleştirmek esastır. Bu çalışma, genel matematik meta-analizlerinin ötesine geçerek cebirsel ifadeler, denklemler, eşitsizlikler, fonksiyonlar, örüntüler ve özdeşlikler gibi alt alanları ayrı ayrı inceleyerek, konu-özel etkililik örüntülerini ortaya koymaktadır. Bilişsel ve duyuşsal çıktıları iki bağımsız meta-analizle (akademik başarı ve tutum) ele alarak, teknoloji entegrasyonunun çok boyutlu etkilerini karşılaştırmalı biçimde değerlendirmektedir. Bulgular, yapılandırmacı ve çoklu ortam öğrenme kuramlarının cebirdeki öngörülerini

ampirik olarak test ederken (Mayer, 2009), 2018 programı ile 2024 Türkiye Yüzyılı Maarif Modeli'nin teknoloji vurgularıyla uyum sağlamak ve politika-kanıt ilişkisini güçlendirmektedir (MEB, 2024).

Yöntemsel olarak, çalışma Sistematik İncelemeler ve Meta-Analizler için Tercih Edilen Raporlama Öğeleri (PRISMA) tabanlı şeffaf tarama süreçleri, standart kodlama protokolü, küçük örneklem yanlılığını düzelten Hedges'in g ile etki standartlaştırması ve rastgele etkiler modeli altında heterojenlik raporlaması (Q , I^2 , τ^2) ile tekrarlanabilir bir çerçeve oluşturmaktadır. Tahmin aralıkları kullanılarak genellenebilirlik sınırları belirlenirken, sekiz moderatörün (yayın yılı, öğretim düzeyi, örneklem büyüklüğü, teknoloji türü, uygulama süresi, ölçme aracı, uygulayıcı, cebir alt alanı) eşzamanlı modellenmesi, “hangi koşullarda daha etkilidir?” sorusuna yanıt üretmektedir. Yayın yanlılığının huni grafiği, Egger regresyonu, trim-and-fill ve fail-safe N ile çoklu yöntemle değerlendirilmesi ise bulguların güvenilirliğini artırmaktadır.

Uygulama ve politika bağlamında, bulgular öğretmenlerin teknoloji-cebir etkileşimlerine dayalı ders planlamasını, okul yöneticilerinin maliyet-etki odaklı yatırımlarını ve hizmet içi eğitimlerini, politika yapıcılarının 2024 vizyonu ile saha kanıtlarını hizalamalarını, FATİH ile EBA gibi yatırımların etkililiğini ve ulusal teknoloji stratejilerinin gözden geçirilmesini desteklemektedir. Geliştiriciler temsil ve etkileşim biçimlerini pedagojik tasarımlara entegre edebilirken; araştırmacılar ise heterojen alt alanlar için yeni gündemler belirleyebilmektedir.

Alanyazında teknoloji destekli genel matematik öğretiminin etkilerini inceleyen çok sayıda meta-analiz bulunsada, cebir öğrenme alanına özgü sistematik sentezler sınırlıdır. Türkiye bağlamında yapılan güncel meta-analizler, teknoloji destekli öğretimin (Demir vd., 2024), mobil öğrenme uygulamalarının (Güler vd., 2022) ve GeoGebra gibi dinamik yazılımların (Kaya ve Öçal, 2018) matematik başarısı üzerinde orta ile yüksek düzeyde pozitif etki yarattığını kanıtlamıştır. Bununla birlikte, bu değerli çalışmalar ya genel matematik başarısına odaklanmakta ya da spesifik bir teknoloji türünü (mobil, GeoGebra) incelemektedir. Cebir alanına odaklanan çalışmalar ise ya uluslararası alanda bilgisayar cebir sistemlerini niteliksel olarak incelemiştir (Kieran ve Drijvers, 2006) ya da Türkiye özelinde bibliyometrik analiz (Kaya ve Keşan, 2022) veya yükseköğretim (lineer cebir) düzeyinde meta-sentez (Şimşek ve Turanlı, 2023) ile sınırlı kalmıştır.

Dolayısıyla, Türkiye özelinde cebirsel deneysel bulguları nicel sentezleyen, bilişsel-duyuşsal çıktıları paralel inceleyen, moderatörleri modelleyen ve güncel müfredatla ilişkilendiren bir çalışma eksikliği vardır. Bu çalışma, önceki meta-analizlerden; cebir odağını daraltması, bağımlı değişkenleri (başarı ve tutum) birlikte ele alması, moderatörleri artırması, zaman aralığını güncellemesi (2000-2025), PRISMA 2021 uyumuyla şeffaflığı yükseltmesi ve güncel programlarla (2018, 2024) ilişki kurması bakımından ayrışarak alanyazındaki boşluğu doldurmaktadır.

Böylece, “teknoloji kullanılmalı mı?” sorusunu aşarak “hangi teknoloji, hangi koşul, hangi cebir konusu ve hangi düzeyde daha etkili?” sorusuna ölçülebilir, aktarılabilir yanıtlar üretmekte; kuram, yöntem ve Türk eğitim sistemine doğrudan katkı sağlamaktadır.

1.5 Tanımlar

Bu bölüm, çalışmada kullanılan temel kavramların kavramsal ve operasyonel (işlemsel) çerçevesini özetlemektedir.

Cebir Öğrenme Alanı: Değişken, eşitlik/eşitsizlik, cebirsel ifadeler, özdeşlikler, örüntüler ve fonksiyonlar, limit, türev, integral, soyut cebir gibi kavramların yer aldığı; genelleme ve formalizasyon süreçlerinin öne çıktığı alan (Usiskin, 1997). Operasyonel olarak MEB (2018; 2024) programındaki ilgili kazanımları kapsar.

Teknoloji Destekli Öğretim (TDÖ): Dinamik matematik yazılımları (GeoGebra, Desmos, Cabri), bilgisayar cebir sistemleri (Mathematica, Maple, TI-Nspire CAS), sanal manipülatifler, eğitim yazılımları, web tabanlı öğrenme platformları (EBA) ve mobil uygulamaların öğrenmenin aktif bileşeni olarak planlı ve pedagojik amaçlı entegrasyonudur (Anohina, 2005; Dikmen ve Tuncer, 2018). Sadece öğretmen sunumu için kullanılan teknolojiler kapsam dışıdır.

Mevcut Öğretim: Öğretmen merkezli anlatım, ders kitabı odaklı etkinlikler ve kâğıt-kalem alıştırmaları ile yürütülen; teknoloji kullanımının olmadığı veya yalnızca öğretmen sunumu için kullanıldığı uygulamalardır.

Akademik Başarı: Cebirsel kavram, ilke ve problem çözme yeterliklerini ölçen geçerlik-güvenilirlik başarı testlerinden (araştırmacı tarafından geliştirilen veya standardize edilmiş testler) elde edilen puanlardır.

Tutum: Cebire veya matematiğe yönelik duygu, inanç ve davranış eğilimleridir. Operasyonel olarak geçerli ve güvenilir Likert tipi tutum ölçeklerinden elde edilen puanlardır.

Meta-Analiz: Aynı konuda yapılmış bağımsız çalışmaların nicel bulgularını standartlaştırılmış etki büyüklüğü ölçüleriyle birleştirerek genel eğilimleri ve moderatör etkilerini istatistiksel olarak ortaya koyan ikinci düzey araştırma yöntemidir (Lipsey ve Wilson, 2001; Smith ve Glass, 1977).

Etki Büyüklüğü: Müdahale grubunun kontrol grubuna göre performansındaki farkın, standartlaştırılmış bir birimle ifade edilmesidir. Bu çalışmada Hedges'in g kullanılmıştır.

Moderatör Değişken: Bağımsız değişken (teknoloji destekli öğretim) ile bağımlı değişken (başarı/tutum) arasındaki ilişkinin gücünü veya yönünü etkileyen üçüncü değişkenlerdir (öğretim düzeyi, teknoloji türü, vb.).

1.6 Varsayımlar

1. Dâhil edilen çalışmalarda rapor edilen istatistiksel bilgilerin (ortalama, standart sapma, örneklem büyüklüğü) doğru olduğu varsayılmıştır.
2. Çalışmalarda kullanılan ölçme araçlarının (başarı testleri, tutum ölçekleri) ilgili yapıları geçerli ve güvenilir biçimde ölçtüğü varsayılmıştır.
3. Deney ve kontrol gruplarının oluşturulmasında ciddi sistematik yanlılıkların (seçim yanlılığı) olmadığı varsayılmıştır.
4. Birincil çalışmalarda rapor edilmeyen ancak meta-analize dâhil edilmeyen çalışmaların, genel etki büyüklüğünü sistematik olarak değiştirmeyeceği varsayılmıştır (yayın yanlılığı testleriyle kontrol edilmiştir).

1.7 Sınırlılıklar

Araştırma bulgularının yorumlanması şu sınırlar içinde yapılmalıdır:

1. **Kapsam:** Yalnızca Türkiye’de yürütülmüş, cebir öğrenme alanına odaklı, deneysel/yarı-deneysel ve kontrol grubunda mevcut öğretim bulunan çalışmalar dâhil edilmiştir.

2. **Dil ve Dönem:** Türkçe ve İngilizce yayımlanmış çalışmalar; 2000–2025 aralığı ile sınırlıdır. Eski teknolojilerle (diskli programlar, ilk nesil öğretim yazılımları) yürütülen çalışmalar dışlanmıştır.
3. **Veri Kaynakları:** TR Dizin, Ulusal Tez Merkezi, Dergi Park, Web of Science, Scopus ve Google Akademik ile sınırlı tarama, erişilemeyen bazı çalışmaları kapsam dışı bırakmış olabilir.
4. **Bağımlı Değişkenler:** Akademik başarı ve tutum ile sınırlandırılmıştır. Diğer duyuşsal çıktılar (motivasyon, kaygı, kalıcılık) ve bilişsel süreçler (problem çözme stratejileri, üst biliş) kapsam dışıdır.
5. **Moderatör Kümesi:** Öğrenci özellikleri (ön bilgi, sosyoekonomik düzey), öğretmen özellikleri (teknoloji yeterliği, deneyim) ve sınıf özellikleri (mevcut teknik altyapı) birincil çalışmalarda yeterince raporlanmadığından analiz edilememiştir.
6. **Kalite ve Heterojenlik:** Birincil çalışmaların metodolojik çeşitliliği (randomizasyon, örneklem büyüklüğü, müdahale süresi) ve ölçme araçları arasındaki farklılıklar heterojenliği artırabilir; yorumlar rastgele etkiler yaklaşımıyla ve dikkatli biçimde yapılacaktır.
7. **Yayın Yanlılığı:** Çeşitli testlerle değerlendirilmiş olmakla birlikte, özellikle anlamlı olmayan sonuçların yayımlanmama eğilimi tam olarak ortadan kaldırılamamaktadır.
8. **Çift Yayın Riski:** Tez-makale eşleşmeleri titizlikle denetlenmiş ancak aynı veri setinin farklı formatlarda yayımlanma riski tamamen engellenememektedir.
9. **Uygulama Bağlamı:** Öğretmen yeterliği, sınıf kültürü, öğrenci-teknoloji etkileşim kalitesi, teknik sorunlar gibi bağlamsal faktörler çoğu çalışmada detaylı raporlanmadığından, sonuçların genellenebilirliği sınırlıdır ve bulguların yorumlanmasında dikkatli olunmalıdır.

2 LİTERATÜR TARAMASI

Bu bölümde, teknoloji destekli cebir öğretiminin kuramsal temelleri ve ampirik kanıtları sistematik biçimde ele alınmaktadır. İlk olarak, öğrenme kuramları çerçevesinde teknolojinin cebir öğretimindeki rolü tartışılacak; ardından cebirsel düşünmenin doğası ve öğrencilerin karşılaştığı zorluklar incelenecektir. Daha sonra, dijital çağda matematik eğitiminde teknoloji entegrasyonunun gelişimi ve Türkiye’deki politika çerçevesi ele alınacak; bunu takiben teknoloji destekli cebir öğretimi yaklaşımları (dinamik yazılımlar, bilgisayar cebir sistemleri, sanal manipülatifler) detaylandırılacaktır. Beşinci alt bölümde, teknoloji destekli öğretimin bilişsel (akademik başarı) ve duyuşsal (tutum) çıktıları üzerindeki etkileri sentezlenecek; son olarak ulusal ve uluslararası meta-analiz çalışmaları gözden geçirilerek Türkiye bağlamında cebir odaklı araştırma boşluğu somutlaştırılacaktır.

2.1 Kuramsal Çerçeve

Teknoloji destekli cebir öğretimi, öğrenmenin bireysel inşasını, sosyal etkileşimi ve temsiller arası dönüşümleri merkeze alan bir dizi kuramsal yaklaşımın kesişiminde yer almaktadır. Yapılandırmacı bakış, bilginin dışarıdan aktarılan hazır bir içerik değil, öğrenenin önceki bilgileri ve deneyimleriyle etkin biçimde kurduğu bir anlam ağı olduğunu savunmaktadır (Von Glasersfeld, 1995). Bu hattın sosyal boyutu, Vygotsky’nin (1978) yakınsal gelişim alanı kavramıyla netleşmektedir: Uygun destek verildiğinde bireyin kendi başına ulaşamayacağı bir düzeye ilerleyebildiği bu aralık, sınıfta teknolojinin pedagojik bir dayanak olarak kullanılmasının gerekçesini oluşturmaktadır. Dijital araçlar, öğrencinin eylemlerine anında geri bildirim sağlayarak, çoklu temsillerle (sembolik, grafik, sayısal) çalışmayı mümkün kılmakta ve deneme-yanılmaya açık keşif süreçlerini zenginleştirmektedir (Hoyles ve Noss, 1996).

Bilişsel tasarım cephesinde Mayer’in çoklu ortam öğrenme kuramı, iki kanallı işleme, sınırlı kapasite ve etkin işleme varsayımlarına dayanarak teknoloji tabanlı materyallerin

nasıl düzenlenmesi gerektiğine ilişkin ilkeler sunmaktadır (Mayer, 2009). Uzamsal bitişiklik, gereksizlik ve modalite gibi ilkeler, cebir öğretiminde temsil yükünü azaltmaktadır; örneğin fonksiyon denklemi ile grafiğin eşzamanlı ve yakın konumlandırılması, öğrencinin bilişsel kaynaklarını gereksiz arama-meşgalesinden kavramsal ilişkilere yönlendirmektedir. Çoklu temsiller kuramı (Ainsworth, 2006) bu tasarımı üç mekanizma üzerinden gerekçelendirmektedir: temsillerin birbirini tamamlaması, yanlış yorumları sınırlayan kısıtların devreye girmesi ve bir temsildeki değişimin diğerine anlık yansımalarıyla kurulan çeviri süreçleri. Cebirsel yapıların soyut doğası düşünüldüğünde, bu üçlü mekanizma özellikle değişken, eşitlik ve fonksiyon kavramlarının kavranmasında kritik rol oynamaktadır.

Teknolojinin öğrenme aracı olmaktan çıkıp düşünmeyi örgütleyen bir “enstrüman”a dönüşümü, enstrümantal yaklaşımın kavramsal çerçevesiyle açıklanmaktadır (Vérillon ve Rabardel, 1995). Bu dönüşüm çift yönlü işlemektedir: Bir yanda aracın özellikleri kullanıcı eylemlerini biçimlendirmekte (enstrümantalizasyon), diğer yanda kullanıcı aracı amaçları doğrultusunda uyarlayarak kişisel kullanım şemaları geliştirmektedir (enstrümantasyon). Cebir öğretiminde bilgisayar cebir sistemleri ve dinamik yazılımlar, “enstrümantal zenginleşme”yi mümkün kılarken, bu araçların matematiksel anlam üretimine hizmet etmesini güvenceye alan şey öğretmenin “pedagojik/enstrümantal orkestrasyonu”dur (Drijvers ve Gravemeijer, 2005). Başka bir ifadeyle, teknoloji seçimi tek başına yeterli değildir; araçla hedeflenen matematiksel süreç arasındaki didaktik köprü, öğretmenin kurduğu görev tasarımları ve sınıf içi düzeneklerle inşa edilmektedir.

Bu bütün, Teknolojik Pedagoji Alan Bilgisi (TPAB) modeliyle (Mishra ve Koehler, 2006) öğretmen yeterliklerine bağlanmaktadır. İçerik bilgisi (cebirin kavramsal dokusu), pedagojik bilgi (öğretim stratejileri) ve teknolojik bilgi (araçların olanak ve sınırlılıkları) kesiştiğinde etkili entegrasyon ortaya çıkmaktadır. Model, örneğin GeoGebra ile fonksiyon ailesi incelemesinde yalnızca yazılım kullanımını değil, hangi öğrenme hedefi için nasıl bir görev dizisi, hangi temsiller arası geçiş ve hangi geri bildirim stratejisinin seçileceğini birlikte düşünmeyi gerektirmektedir.

Sonuç olarak, yapılandırmacı öğrenme anlayışı, çoklu ortam ilkeleri, temsiller arası ilişkilendirme ve enstrümantal/orkestral yönetim, teknolojinin cebirde kavramsal anlama ve akıl yürütmeyi desteklemesini sağlayan bütünleşik bir çerçeve oluşturmaktadır. Bu kuramsal hat, izleyen bölümlerde cebir öğrenme alanındaki zorlukların analizine ve teknoloji destekli yaklaşımların tasarım ilkelerine doğrudan zemin teşkil etmektedir.

2.2 Cebir Öğrenme Alanının Doğası ve Öğrenme Zorlukları

Yukarıda sunulan kuramsal çerçeve, teknolojinin öğrenmeyi nasıl desteklediğini açıklarken; bu bölümde cebirsel düşünmenin kendine özgü doğası ve öğrencilerin karşılaştığı sistematik zorluklar ele alınacaktır. Cebir, matematik eğitiminde aritmetikten soyutlamaya geçişi temsil eden kritik bir öğrenme alanıdır. Kieran (2007), cebiri “genelleme, değişken, eşitlik, denklem ve fonksiyon kavramları etrafında şekillenen; sembolik temsillerin kullanımını ve matematiksel ilişkilerin yapısal analizini içeren düşünme biçimi” olarak tanımlamıştır.

2.2.1 Cebirsel düşünme

Usiskin (1988), cebirin dört temel kullanım bağlamını belirlemiştir:

1. **Genelleştirilmiş aritmetik:** Sayılar yerine harflerle çalışma (örn: $a + b = b + a$)
2. **Problemleri modelleme:** Gerçek durumları matematiksel olarak temsil etme
3. **İlişkileri inceleme:** Fonksiyonlar ve değişkenler arası bağlantıları anlama
4. **Yapısal işlemler:** Matematiksel sistemleri ve özelliklerini inceleme

2.2.2 Operasyonel ve yapısal düşünme

Cebirsel düşünmenin temelinde operasyonel düşünmeden yapısal düşünmeye geçiş bulunmaktadır (Sfard, 1995). Bu geçiş, cebir öğrenimindeki en temel ve en zorlayıcı dönüşümü temsil etmektedir:

Operasyonel Düşünme: Matematiksel ifadeleri gerçekleştirecek işlemler dizisi olarak görme. Örneğin, “ $3x + 5$ ” ifadesini x ’i 3 ile çarp, sonra 5 ekle” şeklinde anlama.

Yapısal Düşünme: Matematiksel ifadeleri üzerinde dönüşümler yapılabilen, manipüle edilebilen nesneler olarak algılama. Örneğin, “ $3x + 5$ ” ifadesini tek bir matematiksel varlık olarak görme ve bunu başka ifadelerle karşılaştırma, eşitleme veya dönüştürme.

Tall ve arkadaşları (2001), bu geçişi “süreci nesneye dönüştürme” (procept) olarak kavramsallaştırmışlardır. Öğrenciler, önce cebirsel ifadeleri süreç olarak anlamakta (yapılacak işlemler), daha sonra bu ifadeleri nesne olarak kavramaya başlamaktadırlar (üzerinde işlem yapılabilen matematiksel varlıklar).

2.2.3 Değişken kavramı ve öğrenme zorlukları

Değişken kavramı, cebirsel düşünmenin temel yapı taşlarından biridir. Küchemann'ın (1978) 13-15 yaş arası öğrencilerle yaptığı kapsamlı araştırma, öğrencilerin harfleri ve sembolleri nasıl anladıklarını altı düzeyli bir hiyerarşi ile ortaya koymuştur:

1. Harfi değerlendirme: Deneme-yanılma yoluyla sayısal değer bulma
2. Harfi görmezden gelme: Sembolü dikkate almama
3. Harf somut nesne olarak: Harfi nesnelerin kısaltması olarak görme (a = armut, e = elma)
4. Harf belirli bilinmeyen olarak: Tek bir değeri temsil etme
5. Harf genelleştirilmiş sayı olarak: Birden fazla değeri temsil edebilme
6. Harf değişken olarak: Sistematiik değişimi ve kovaryasyonu fark etme

Küchemann'ın bulguları, öğrencilerin çoğunun harfleri somut nesneler veya belirli bilinmeyenler olarak değerlendirdiğini; genelleştirilmiş sayı ve değişken olarak kullanmada ciddi zorluklar yaşadıklarını göstermiştir.

Philipp (1992), değişkenin farklı bağlamlarda farklı roller üstlenebileceğini vurgulamıştır:

- Bilinmeyen: $3x + 5 = 14$ 'teki x (tek değer)
- Değişen nicelik: $y = 2x + 3$ 'teki x ve y (sistematiik değişim)
- Genelleştirilmiş sayı: $a + b = b + a$ 'daki a ve b (herhangi bir sayı)
- Parametre: $y = mx + b$ 'deki m ve b (sabit ama değişebilen)

Türkiye'de yapılan araştırmalar da benzer zorlukları ortaya koymuştur. Sarımanoğlu (2019), ortaokul öğrencilerinin %67'sinin değişkeni "bilinmeyen sabit bir sayı" olarak algıladığını, yalnızca %23'ünün değişkenin farklı değerler alabileceğini kavrayabildiğini bulmuştur.

2.2.4 Eşitlik kavramı ve yaygın kavram yanlışları

Eşitlik kavramı, cebirsel düşünmenin bir diğer temel unsurudur. Knuth ve arkadaşları (2006), öğrencilerin eşitlik işaretini nasıl anladıklarını, denklem çözme başarılarını doğrudan etkilediğini göstermişlerdir.

Eşitlik işaretine ilişkin iki temel anlayış biçimi bulunmaktadır:

İşlemsel Anlayış: Eşittir işaretini “cevabın geleceği yer”, “ne eder?”, “toplam” olarak görme. Bu anlayışa sahip öğrenciler, $3 + 4 = ___ + 5$ gibi denklemlerde ciddi zorluk yaşamaktadırlar.

İlişkisel Anlayış: Eşittir işaretini “her iki taraf da aynı değer” anlamında görme. Bu anlayış, denklem çözümü ve cebirsel manipülasyon için gereklidir.

Akkan ve Baki (2016), Türkiye’de farklı sınıf düzeylerindeki öğrencilerin eşitlik anlayışlarını incelemişler; öğrencilerin çoğunun eşittir işaretini işlemsel olarak algıladıklarını; ilişkisel anlama oranının sınıf düzeyine göre %7-19 arasında değiştiğini bulmuşlardır. Matthews ve Fuchs (2018), uzunlamasına bir çalışmada ikinci sınıftaki eşitlik bilgisinin, dördüncü sınıftaki cebir yeterliliğini anlamlı şekilde yordadığını ortaya koymuşlardır. Kır ve Karadeniz (2018) ise, Türk öğrencilerin çoğunun eşitlik işaretini “işlemin bittiği yer” veya “cevabın geleceği nokta” şeklinde işlemsel olarak tanımladıklarını; ilişkisel eşitlik anlayışına sahip öğrenci oranının ilköğretimde %12, ortaöğretimde %28 olduğunu tespit etmişlerdir.

2.2.5 Aritmetikten cebire geçişte karşılaşılan engeller

Aritmetikten cebire geçiş, matematik eğitiminde kritik bir aşama oluşturmaktadır (Kieran, 2007). McNeil (2014), “değişim direnci” kavramını kullanarak, öğrencilerin aritmetikten cebire geçişte yaşadıkları zorlukları açıklamıştır. Öğrenciler, aritmetikte edindikleri işlem odaklı alışkanlıkları cebire transfer ettiklerinde, semboller arasındaki yapısal ilişkileri görmekte zorlanabilirler.

Herscovics ve Linchevski (1994), 12 yaşındaki öğrencilerin cebirsel problemleri çözerken genellikle aritmetik stratejiler kullandıklarını; ancak bilinmeyenin birden fazla olduğu problemlerde (örn: $7n - n = 108$) bu yaklaşımların başarısız olduğunu tespit etmişlerdir.

Akkan, Baki ve Çakıroğlu (2011), aritmetik ve cebir arasındaki temel farklılıkları şu şekilde özetlemişlerdir:

- Sözdizimsel farklılıklar (sembol kullanımı)
- Eşitlik anlayışı (sonuç vs. denge)
- Problem çözme yaklaşımları (geriye doğru vs. yapısal)
- Soyutlama düzeyi (somut sayılar vs. değişkenler)

2.2.6 Türkiye’de cebir öğrenimindeki başarı durumu

TIMSS 2019 sonuçlarına göre, Türkiye’nin cebir alt boyutundaki performansı, uluslararası ortalamanın altında kalmıştır (MEB, 2020). Bu durum, öğrencilerin cebirsel kavramları anlamada ve bu kavramları problem çözme süreçlerinde kullanmada yaşadıkları zorlukları işaret etmektedir.

Aydın-Güç ve Aygün (2021), 8. sınıf öğrencilerinin cebirsel ifadelerde yaptıkları hataları sistematik olarak incelemişler ve şu temel yanlış kategorilerini belirlemişlerdir:

1. Değişken algısında yanlışlar: Harfleri somut nesnelerin kısaltmaları olarak görme
2. İşlem önceliğinde hatalar: Parantez kullanımını göz ardı etme
3. Terim birleştirmede yanlışlar: Farklı üslü terimleri toplama ($2x + 3x^2 = 5x^3$)
4. Dağılma özelliğinde hatalar: $a(b + c)$ ifadesini yanlış dağıtma

Bu bulgular, cebir öğretiminde etkili pedagojik yaklaşımların ve destekleyici araçların önemini ortaya koymaktadır. Özellikle, soyut cebirsel kavramları somutlaştırma, çoklu temsiller sunma ve öğrencilere anında geri bildirim verme potansiyeli ile teknoloji, bu zorlukların aşılmasında kritik bir rol oynayabilir. Bu bağlamda, dijital çağda matematik eğitiminin nasıl dönüştüğü ve teknoloji entegrasyonunun hangi ilkelerle gerçekleştiği, bir sonraki bölümde ele alınacaktır.

2.3 Dijital Çağda Matematik Eğitimi ve Teknoloji Entegrasyonu

2.3.1 Teknolojinin matematik öğretimindeki rolü

Önceki bölümde cebirsel düşünmenin doğası ve öğrencilerin karşılaştığı zorluklar incelenmişti. Bu zorlukların üstesinden gelmek için, dijital teknolojilerin eğitime entegrasyonu, matematik öğretiminde köklü bir paradigma değişimine yol açmıştır. Geleneksel yaklaşımda teknoloji, öğretmenin anlatımını destekleyen bir sunum aracı olarak konumlandırılırken; çağdaş anlayışta öğrencinin aktif olarak anlam kurma, keşfetme ve problem çözme süreçlerine entegre edilmiş bir öğrenme bileşeni haline gelmiştir (Drijvers, 2018). Bu dönüşüm, birkaç temel ilkeye dayanmaktadır:

Çoklu Temsil İlkesi: Mayer (2009), matematiksel kavramların sözel, sembolik, grafik ve sayısal olmak üzere farklı temsil biçimleri arasında bağlantılar kurulmasının kavramsal anlamayı desteklediğini vurgulamaktadır. Dijital ortamlar, bu temsiller arasında dinamik

ve etkileşimli geçişler sağlayarak öğrencilerin matematiksel yapıları daha derin anlayabilmelerini mümkün kılar.

Anında Geri Bildirim İlkesi: Öğrencilerin eylemlerinin sonuçlarını hemen görmelerini ve düşünme süreçlerini düzenleyebilmelerini sağlar (Pierce ve Stacey, 2010). Bu özellik, öğrencilerin kendi öğrenmelerini izlemelerine ve gerektiğinde stratejilerini değiştirmelerine olanak tanır.

Etkileşimli Keşif İlkesi: Öğrencilerin matematiksel ilişkileri aktif olarak araştırmalarına ve kendi genellemelerini oluşturmalarına olanak tanır. Bu süreç, yapılandırmacı öğrenme kuramının temel ilkesiyle uyumludur.

Ancak, teknolojinin etkili kullanımı salt araç seçimiyle değil, Drijvers'ın (2018) ifade ettiği “pedagojik orkestrasyon” ile ilgilidir. Öğretmenin bu araçları öğrenme hedefleriyle uyumlu şekilde nasıl yapılandığı ve yönettiği kritik önem taşımaktadır. Araştırmalar, aynı teknolojinin farklı pedagojik yaklaşımlarla kullanıldığında çok farklı öğrenme çıktıları üretebileceğini göstermektedir.

2.3.2 Ulusal öğretim programlarında teknolojinin yeri

Türkiye’de matematik öğretiminde teknoloji kullanımı, ulusal müfredat politikalarıyla şekillenmiştir. 2018 Matematik Dersi Öğretim Programı, teknoloji kullanımını destekleyici bir çerçeve sunmuş; öğrenme alanlarını sarmal bir anlayışla yapılandırmıştır (MEB, 2018). Programda, teknolojinin kavramları görselleştirme, farklı temsiller arasında bağlantı kurma ve matematiksel süreçleri hızlandırma açısından potansiyeli vurgulanmıştır.

2024 Türkiye Yüzyılı Maarif Modeli (TYMM): Bu vizyonu güncelleyerek dijital çağın gereksinimlerine uygun bir çerçeveye kavuşturmuştur (MEB, 2024). TYMM, farklılaştırılmış öğretim ilkesini merkeze alarak; teknolojinin öğrencilerin bireysel hızlarına, öğrenme stillerine ve hazırbulunuşluk düzeylerine uygun öğrenme deneyimleri tasarlamada nasıl kullanılabileceğini detaylandırmıştır. Bu yaklaşımın en dikkat çekici yönlerinden biri, teknoloji ile matematiksel öğrenme alanlarının özellikle de cebir alanının güçlü bir şekilde ilişkilendirilmesidir. Modelde cebir öğrenme alanı, örüntü ve ilişkilerden fonksiyonel modellere kadar geniş bir yelpazede ele alınır. Bu sürecin her aşamasında teknolojinin sağlayabileceği görselleştirme, simülasyon, grafik oluşturma ve dinamik yapılandırma olanaklarının kullanılmasına vurgu yapılmaktadır. Cebirin doğası gereği soyut kavramlarla ilişkili olması, öğrencilerin zihinsel temsiller geliştirmesini kimi

zaman güçleştirebilmektedir. Maarif Modeli, bu sorunu teknolojinin sunduğu dinamik matematik yazılımları, bilgisayar cebiri sistemleri ve etkileşimli öğrenme araçları ile aşmayı hedeflemektedir. Böylece öğrenciler, değişken kavramını, cebirsel ifadelerin dönüşümlerini, denklem ve fonksiyon ilişkilerini ekranda anlık olarak görselleştirip manipüle edebilmekte ve soyut yapıların altında yatan matematiksel ilişkilere sezgisel olarak ulaşabilmektedir.

Programın kazanımlarında doğrudan “dijital araçlar kullanılarak”, “dinamik yazılımlardan yararlanarak” ve “grafik çizim teknolojileriyle inceleyerek” gibi ifadelerin yer alması, teknoloji–cebir ilişkisinin program bütününe sistematik biçimde işlendiğini göstermektedir. Özellikle fonksiyonlar, doğrusal ilişkiler ve değişim oranı gibi konularda teknoloji, öğrencinin gözlem yapmasını, parametre değişimlerini denemesini ve sonucunda cebirsel modelleri anlamlandırmasını destekleyen bir “matematik laboratuvarı” görevi görmektedir.

Bu programların operasyonel zemini, FATİH Projesi altyapısı ve EBA platformu ile oluşturulmaya çalışılmıştır (MEB, 2013). EBA, etkileşimli içerikler, dijital manipülatifler ve değerlendirme araçları sunarak öğretmenlerin teknoloji destekli öğretim tasarımlarını kolaylaştırmayı hedeflemektedir.

Ulusal programlardaki bu gelişmelere rağmen, “hangi teknoloji türü, hangi cebir alt konusunda, hangi öğretim düzeyinde ve ne kadar süreyle kullanıldığında daha etkili olmaktadır?” sorularına yanıt veren sistematik kanıtlar sınırlıdır. Bu soruları yanıtlamak için, öncelikle cebir öğretiminde kullanılan teknoloji türlerini ve bunların pedagojik potansiyellerini detaylı olarak incelemek gerekmektedir. Bir sonraki bölümde, dinamik matematik yazılımları, bilgisayar cebir sistemleri, sanal manipülatifler ve mobil uygulamalar gibi farklı teknoloji türlerinin cebir öğretimindeki rolleri ele alınacaktır.

2.4 Teknoloji Destekli Cebir Öğretimi Yaklaşımları

Önceki bölümlerde, teknoloji entegrasyonunun kuramsal temelleri ve ulusal politika çerçevesi tartışılmıştı. Bu bölümde ise, cebir öğretiminde kullanılan spesifik teknoloji türleri ve bunların pedagojik özellikleri detaylı olarak incelenecektir. Her teknoloji türü, farklı öğrenme hedeflerine hizmet eden kendine özgü potansiyeller ve sınırlılıklar taşımaktadır.

2.4.1 Dinamik matematik yazılımları

Dinamik matematik yazılımları (DMY), sembolik, sayısal ve grafik temsiller arasında eşzamanlı ve etkileşimli bağlantılar kurarak cebirsel kavramların görselleştirilmesini ve keşfedilmesini sağlayan güçlü araçlardır.

GeoGebra: Hohenwarter ve Hohenwarter (2009), GeoGebra'nın üç temel özelliğini vurgulamışlardır: (1) cebir ve geometri pencerelerinin eşzamanlı güncellemesi, (2) sürükle-bırak özelliğiyle parametrik değişikliklerin anlık gözlemlenmesi, (3) kullanıcı dostu arayüzü. Preiner (2008), GeoGebra'nın özellikle fonksiyon kavramı ve dönüşümlerinde etkili olduğunu göstermiştir. Öğrenciler, $y = ax^2 + bx + c$ şeklindeki bir parabolde a , b ve c parametrelerini sürgülerle değiştirirken, grafiğin şeklinin ve konumunun nasıl değiştiğini anlık olarak gözlemleyebilir; böylece parametreler ile grafik arasındaki ilişkiyi daha derin kavrayabilirler.

Desmos: Web tabanlı bir grafik hesap makinesi ve etkileşimli öğrenme platformudur. Desmos'un güçlü yanı, öğretmenlere hazır görev tasarımları (activities) sunması ve öğrenci yanıtlarını gerçek zamanlı olarak izleme imkânı vermesidir. Roschelle ve arkadaşları (2010), Desmos gibi araçların fonksiyonel ilişkileri keşfetme ve dönüşüm ailelerini yapılandırmada öne çıktığını belirtmişlerdir.

Gurmu ve Tesfaye (2024), GeoGebra destekli öğretimin kavramsal anlama üzerindeki etkilerini deneysel olarak incelemişler; kontrol grubuna göre deney grubunun cebirsel kavramları anlama ve transfer etme becerilerinde anlamlı düzeyde daha başarılı olduğunu bulmuşlardır. Zhang ve arkadaşları (2023), GeoGebra ile yapılan 20 yıllık araştırmaları meta-analitik olarak sentezlemişler; dinamik görselleştirmenin matematik öğrenimine orta-yüksek düzeyde pozitif etki ($g \approx 0.65$) yaptığını bulmuşlardır.

2.4.2 Bilgisayar cebir sistemleri (BCS)

Bilgisayar Cebir Sistemleri (BCS), sembolik manipülasyonları (türev alma, integral hesaplama, denklem çözme, sadeleştirme vb.) otomatik olarak gerçekleştiren yazılımlardır. Bu kategoride Mathematica, Maple, TI-Nspire CAS ve Maxima gibi araçlar bulunmaktadır.

Kieran ve Drijvers (2006), BCS'ın cebir öğrenimindeki rolünü kapsamlı olarak incelemişler ve iki temel potansiyel vurgulamışlardır:

1. Bilişsel Kaynakların Yeniden Yönlendirilmesi: BCS rutin hesaplamaları otomatikleştirerek öğrencilerin bilişsel kaynaklarını kavramsal düşünme, strateji geliştirme ve gerekçelendirme gibi üst düzey süreçlere yönlendirebilir.
2. Çözüm Stratejilerinin Karşılaştırılması: BCS öğrencilerin farklı çözüm stratejilerini hızlıca denemelerine ve karşılaştırmalarına olanak tanır.

Pierce ve Stacey (2010), “siyah kutu” (black box) riskinden bahsetmişlerdir: Öğrenciler, BCS’ın nasıl çalıştığını anlamadan sadece sonuçları kullanmaya yönelebilirler. Bu nedenle, BCS kullanımında pedagojik orkestrasyon kritik önem taşımaktadır. Öğretmenin, öğrencileri BCS’ın verdiği sonuçları sorgulamaya, yorumlamaya ve gerekçelendirmeye teşvik etmesi gerekmektedir.

2.4.3 Sanal manipülatifler ve dijital araçlar

Sanal manipülatifler, somut materyallerin dijital ortamdaki karşılıklarıdır ve özellikle soyut kavramların somutlaştırılmasında etkilidir. Cebir öğretiminde yaygın kullanılan sanal manipülatifler:

Sanal Denge Terazileri: Denklemleri dengeyi koruyarak çözme sürecini görselleştirir; eşitliğin ilişkisel anlamını vurgular. Bir tarafta yapılan işlemin diğer tarafta da yapılması gerektiğini somut olarak gösterir.

Dijital Cebir Karoları: Cebirsel ifadelerin geometrik temsillerini sunar; toplama, çıkarma, çarpma işlemlerini ve çarpanlara ayırmayı somutlaştırır. Fiziksel materyallerin sınırlılıklarını (kaybolma, yetersiz sayıda olma) ortadan kaldırırken, anında geri bildirim ve otomatik kontrol gibi ek avantajlar sunar.

Sayı Doğrusu Modelleri: Değişkenlerin alabileceği değer aralıklarını ve eşitsizlik çözümlerini görsel olarak temsil eder.

EBA Platformu: Türkiye’de Eğitim Bilişim Ağı (EBA) platformu, video dersler, etkileşimli etkinlikler, testler ve dijital manipülatifler sunarak cebir öğretimine entegre edilebilen kapsamlı bir dijital ekosistem oluşturmaktadır.

Mobil Uygulamalar: Akıllı telefon ve tabletlerin yaygınlaşmasıyla birlikte, matematik öğretiminde mobil uygulamalar da önem kazanmıştır. Photomath, Khan Academy, Wolfram Alpha gibi uygulamalar, öğrencilere her an her yerde öğrenme fırsatı sunmaktadır. Bu uygulamalar genellikle adım adım çözüm gösterme, görsel açıklamalar ve pratik yapma imkânları sağlamaktadır.

Yukarıda incelenen teknoloji türleri (dinamik yazılımlar, bilgisayar cebir sistemleri, sanal manipülatifler ve mobil uygulamalar), cebir öğretiminde farklı pedagojik potansiyeller sunmaktadır. Ancak, bu teknolojilerin gerçek etkisini anlamak için, öğrencilerin bilişsel ve duyuşsal öğrenme çıktıları üzerindeki etkilerini ampirik olarak incelemek gerekmektedir. Bir sonraki bölümde, teknoloji destekli öğretimin akademik başarı ve tutum üzerindeki etkileri, ulusal ve uluslararası araştırma bulguları ışığında sentezlenecektir.

2.5 Teknoloji Destekli Öğretimin Bilişsel ve Duyuşsal Çıktıları

Önceki bölümde cebir öğretiminde kullanılan teknoloji türleri ve pedagojik özellikleri incelenmişti. Bu bölümde ise, bu teknolojilerin öğrencilerin öğrenme çıktıları üzerindeki etkileri ele alınacaktır. İki temel çıktı boyutu incelenecektir: bilişsel alan (akademik başarı) ve duyuşsal alan (tutum).

2.5.1 Akademik başarıya etkisi

Akademik başarı, öğrencilerin belirli bir alandaki bilgi, beceri ve yeterliklerini yansıtan temel bir bilişsel çıktıdır. Cebir bağlamında başarı, sembolik manipülasyon becerilerinin ötesinde kavramsal anlama, problem çözme ve matematiksel akıl yürütmeyi içermektedir.

Hiebert ve Lefevre (1986), matematiksel bilgiyi işlemsel (prosedürel) ve kavramsal olmak üzere iki kategoride ele almıştır. İşlemsel bilgi, algoritmaların ve sembollerin kullanımını içerirken; kavramsal bilgi, matematiksel fikirlerin zengin bir ilişkiler ağı içinde anlaşılmasıdır. Star (2005), bu iki bilgi türünün birbirini desteklediğini; teknoloji destekli öğretimin her ikisini de geliştirebileceğini göstermiştir.

Li ve Ma (2010), 46 çalışmayı kapsayan meta-analizlerinde, bilgisayar teknolojisinin K-12 düzeyinde matematik başarısı üzerinde küçük-orta düzeyde pozitif etki ($d = 0.23$) ürettiğini bulmuşlardır. Etki büyüklüklerinin teknoloji türüne (tutorial programlar ve simülasyonlar daha yüksek), konu alanına (geometri ve cebirde daha yüksek) ve öğretim düzeyine (ilkokulda daha yüksek) göre farklılaştığı görülmüştür.

Cheung ve Slavin (2013), 74 çalışmayı içeren meta-analizlerinde, eğitim teknolojisi uygulamalarının matematik başarısı üzerindeki genel etkisinin $g = 0.15$ olduğunu; öğretici (tutorial) programlar ($g = 0.20$) ve takviye programları ($g = 0.18$) için daha yüksek olduğunu raporlamışlardır.

Ran ve arkadaşları (2024), dinamik matematik yazılımlarının K-12 düzeyindeki etkililiğini inceleyen kapsamlı bir meta-analiz gerçekleştirmişler; bu yazılımların matematik öğrenimine orta düzeyde pozitif etki ($g \approx 0.52$) yaptığını bulmuşlardır. Çalışma, etkilerin konu alanına (geometri ve cebirde daha yüksek), öğretim düzeyine ve uygulama süresine (8-12 hafta optimal) göre anlamlı biçimde değiştiğini göstermiştir.

Demir ve arkadaşları (2024) tarafından yapılan ikinci düzey meta-analiz, teknoloji tabanlı matematik öğretiminin Türk öğrencilerin başarısına orta düzeyde pozitif etki ($g = 0.68$) yaptığını göstermiştir.

Kaya ve Öçal (2018), GeoGebra uygulamalarının matematik başarısına etkisini inceleyen meta-analizlerinde, yüksek düzeyde etki büyüklüğü ($g = 0.899$) rapor etmişlerdir. Çalışma, GeoGebra'nın özellikle geometri ve fonksiyonlar konularında güçlü etkiler ürettiğini göstermiştir.

Güler ve arkadaşları (2022), mobil öğrenme uygulamalarının matematik başarısına etkisini 22 çalışma ile incelemişler; orta düzeyde pozitif etki ($g = 0.476$) tespit etmişlerdir.

2.5.2 Tutuma etkisi

Tutum, bireyin bir nesne, olay veya kavrama yönelik olumlu veya olumsuz değerlendirme eğilimidir. McLeod (1992), matematik eğitiminde duyuşsal alanı inançlar, tutumlar ve duygular olarak üçlü bir yapıda ele almıştır. Tutumlar, bilişsel, duyuşsal ve davranışsal bileşenlerden oluşur; matematik başarısını ve matematik öğrenmeye devam etme isteğini doğrudan etkiler.

Ma ve Kishor (1997), meta-analiz çalışmalarında matematik tutumu ile matematik başarısı arasında pozitif ve karşılıklı bir ilişki olduğunu bulmuşlardır (ortalama $r = 0.30$). Olumlu tutumlar başarıyı artırırken, başarı deneyimleri de tutumları olumlu yönde etkiler. Hannula (2002), tutumların uzun vadede gelişen ve değişmesi zor yapılar olduğunu; ancak olumlu öğrenme deneyimlerinin tutum değişiminde etkili olabileceğini belirtmiştir.

Teknoloji destekli öğretimin tutum üzerindeki etkisi, motivasyonel ve bilişsel mekanizmalar aracılığıyla gerçekleşir. Pierce, Stacey ve Barkatsas (2007), etkileşimli ve görsel zenginlikteki öğrenme ortamlarının öğrencilerin ilgisini çektiğini ve matematikle olumlu deneyimler yaşamalarını sağladığını bulmuşlardır. Teknolojinin sağladığı anında geri bildirim ve başarı deneyimleri, öz-yeterlik inancını güçlendirerek tutumları olumlu etkiler (Bandura, 1997). Özellikle cebir gibi soyut kavramların yoğun olduğu alanlarda,

dinamik yazılımlar ve sanal manipülatifler öğrencilerin kavramları görselleştirmelerine yardımcı olarak, matematiğe karşı olumsuz tutumları azaltabilir.

Bununla birlikte, teknolojinin tutum üzerindeki etkisi her zaman pozitif olmayabilir. Eğer teknoloji öğrencilerin bilişsel yükünü aşırı artırır, teknik sorunlar yaşanır veya pedagojik olarak uygun kullanılmazsa, hayal kırıklığı ve olumsuz tutumlar ortaya çıkabilir (Pierce ve Stacey, 2010). Bu nedenle, teknoloji entegrasyonunda kullanım kolaylığı, teknik destek ve pedagojik uygunluk kritik önem taşımaktadır.

Sonuç olarak, teknoloji destekli öğretimin hem bilişsel (başarı) hem de duyuşsal (tutum) çıktıları üzerinde olumlu etkiler yaratabileceği görülmektedir. Bununla birlikte, bu etkilerin büyüklüğü ve yönü, teknoloji türü, uygulama süresi, öğretim düzeyi ve pedagojik yaklaşım gibi birçok faktöre bağlı olarak değişmektedir. Bu değişkenliği sistematik olarak anlamak için, bireysel çalışmaların bulgularını nicel olarak birleştiren meta-analiz çalışmalarına ihtiyaç vardır. Bir sonraki bölümde, teknoloji destekli matematik ve cebir öğretimi üzerine yapılan ulusal ve uluslararası meta-analiz çalışmaları gözden geçirilecek; mevcut bilgi birikimi ve araştırma boşlukları belirlenecektir.

2.6 Teknoloji Destekli Matematik/Cebir Öğretimi Üzerine Yapılan Meta-Analiz Çalışmaları

Önceki bölümlerde, teknoloji destekli cebir öğretiminin kuramsal temelleri, öğrenme zorlukları, teknoloji türleri ve bireysel çalışmalardaki etkileri incelenmişti. Bu bölümde ise, belirli bir konuda yapılmış birden fazla deneysel araştırmanın bulgularını istatistiksel olarak birleştirerek genel eğilimleri ve moderatör değişkenlerin etkilerini ortaya koyan meta-analiz çalışmaları ele alınacaktır.

Meta-analiz çalışmaları, bireysel araştırmaların sınırlılıklarını aşarak daha güvenilir ve genellenebilir sonuçlar üretir. Bu bölüm üç alt başlıkta organize edilmiştir: (1) uluslararası meta-analiz çalışmaları, (2) Türkiye’de yapılan meta-analiz çalışmaları, (3) cebir öğretimine özgü meta-analiz çalışmaları.

2.6.1 Uluslararası meta-analiz çalışmaları

Uluslararası alanyazında, teknoloji destekli matematik öğretiminin etkililiğini inceleyen çok sayıda meta-analiz bulunmaktadır. Bu çalışmalar, genel olarak teknolojinin matematik başarısı üzerinde pozitif etkiler yarattığını göstermekle birlikte, etki büyüklüklerinin çalışmalar arasında önemli farklılıklar gösterdiğini ortaya koymaktadır.

Li ve Ma (2010), K-12 düzeyinde bilgisayar teknolojisinin matematik başarısına etkisini inceleyen 46 çalışmayı kapsayan meta-analizlerinde, genel olarak küçük-orta düzeyde pozitif etki ($d = 0.23$) bulmuşlardır. Çalışmanın önemli bulgularından biri, etki büyüklüklerinin teknoloji türüne göre farklılaşmasıdır: tutorial programlar ve simülasyonlar daha yüksek etkiler üretirken, alıştırma-pratik yazılımları daha düşük etkiler göstermiştir. Ayrıca, etkilerin konu alanına (geometri ve cebirde daha yüksek) ve öğretim düzeyine (ilkokulda daha yüksek) göre değiştiği görülmüştür. Benzer şekilde, Cheung ve Slavin (2013), 74 çalışmayı içeren meta-analizlerinde, eğitim teknolojisi uygulamalarının matematik başarısı üzerindeki genel etkisinin $g = 0.15$ olduğunu raporlamışlardır. Araştırmacılar, teknoloji kullanımının en etkili olduğu durumların: (1) öğretmen yönetimindeki öğretimi desteklediğinde, (2) tutorial programlar kullanıldığında, (3) uygulama süresinin yeterli olduğunda (8 hafta ve üzeri) gerçekleştiğini belirtmişlerdir.

Daha güncel çalışmalarda, Ran, Yuan ve Kiliçman (2024), dinamik matematik yazılımlarının K-12 düzeyindeki etkililiğini inceleyen kapsamlı bir meta-analiz gerçekleştirmişlerdir. 68 çalışmanın analizinde, dinamik matematik yazılımlarının öğrenci başarısına orta-yüksek düzeyde pozitif etki ($g = 0.52$) yaptığı bulunmuştur. Moderatör analizleri, etkilerin konu alanı (cebir ve geometride daha yüksek), öğretim düzeyi (ortaöğretimde daha yüksek), uygulama süresi (8-12 hafta optimal) ve teknoloji türü (GeoGebra en yüksek etki) gibi faktörlere göre anlamlı biçimde değiştiğini göstermiştir.

GeoGebra'ya özgü çalışmalarda, Juandi ve arkadaşları (2021), GeoGebra'nın matematik öğrenimine etkisini inceleyen 20 yıllık araştırmaları (2002-2022) sentezlemişler; yüksek düzeyde pozitif etki ($g \approx 0.65$) bulmuşlardır. Çalışma, GeoGebra'nın özellikle fonksiyon kavramı, dönüşümler ve geometrik ispatlamada etkili olduğunu göstermiştir. Paralel olarak, Zhang ve arkadaşları (2023), GeoGebra ile dinamik görselleştirmenin matematik öğrenimine etkisini meta-analitik olarak incelemişler; orta-yüksek düzeyde pozitif etki ($g \approx 0.65$) tespit etmişlerdir. Araştırmacılar, dinamik görselleştirmenin özellikle kavramsal anlama ve transfer becerilerinde güçlü etkiler ürettiğini vurgulamışlardır.

Görselleştirme temelli öğrenme üzerine, Schoenherr ve arkadaşları (2024), görselleştirme temelli öğrenmenin genel etkililiğini inceleyen kapsamlı meta-analizlerinde, görselleştirmenin öğrenme çıktılarına orta düzeyde pozitif etki yaptığını bulmuşlardır. Bununla birlikte, bu etkinin görselleştirme türüne (statik vs. dinamik), etkileşim düzeyine

ve öğrenme alanına göre önemli ölçüde değiştiği görülmüştür. Dinamik ve etkileşimli görselleştirmeler, statik görselleştirmelere göre daha yüksek etkiler üretmiştir. Eşitlik bağlamında, Di Pietro (2025), teknolojinin dezavantajlı öğrencilerin başarısına etkisini inceleyen meta-analiz, teknoloji destekli öğretimin sosyoekonomik açıdan dezavantajlı öğrenciler için de pozitif etkiler ürettiğini; ancak bu etkilerin öğretmen desteği, teknik altyapı ve içerik kalitesi gibi bağlamsal koşullara büyük ölçüde bağlı olduğunu göstermiştir. Bu uluslararası çalışmalar, teknoloji destekli matematik öğretiminin genel olarak etkili olduğunu; ancak etkilerin teknoloji türü, konu alanı, öğretim düzeyi ve uygulama koşullarına göre önemli ölçüde değiştiğini ortaya koymaktadır.

2.6.2 Türkiye’de yapılan meta-analiz çalışmaları

Uluslararası alanyazındaki bu birikime paralel olarak, Türkiye’de teknoloji destekli matematik öğretiminin etkililiğini inceleyen meta-analiz çalışmaları son yıllarda artış göstermiştir. Bu çalışmalar, Türk eğitim bağlamına özgü bulgular sunmaktadır.

Demir ve arkadaşları (2024), teknoloji tabanlı matematik öğretiminin etkisini inceleyen ikinci düzey bir meta-analiz yürütmüşlerdir. Türkiye’de yapılmış meta-analiz çalışmalarını sentezleyen bu araştırma, 22 çalışmadan elde edilen genel etki büyüklüğünün orta düzeyde ($g = 0.68$) olduğunu bulmuştur. Çalışma, teknoloji destekli öğretimin Türkiye’de de etkili olduğunu; ancak etkilerin uygulama kalitesi, öğretmen yeterliliği ve teknik altyapıya göre değiştiğini göstermiştir.

Mobil öğrenme bağlamında, Güler ve arkadaşları (2022), mobil öğrenme uygulamalarının matematik başarısına etkisini 22 çalışma ile incelemişler; orta düzeyde pozitif etki ($g = 0.476$) tespit etmişlerdir. Moderatör analizleri, mobil uygulamaların özellikle takviye ve pratik yapma amaçlı kullanıldığında daha etkili olduğunu göstermiştir.

GeoGebra’ya özgü olarak, Kaya ve Öçal (2018), GeoGebra uygulamalarının matematik başarısına etkisini inceleyen meta-analizlerinde, yüksek düzeyde etki büyüklüğü ($g = 0.899$) belirlemişlerdir. Çalışma, GeoGebra’nın Türk öğrencilerin matematik başarısını artırmada etkili olduğunu; özellikle geometri ve fonksiyonlar konularında güçlü etkiler ürettiğini göstermiştir.

Tutum bağlamında, Türkiye’de bilgisayar destekli matematik öğretimi (BDMÖ) ile matematik tutumu arasındaki ilişkiye odaklanan meta-analizde (Özdemir, Aslaner ve Açıkgül, 2020) rastgele etkiler modeliyle hesaplanan genel etki $g = 0.539$ bulunmuş;

heterojenlik orta düzeyde belirlenmiş ve alt grup analizlerinde sınıf düzeyi, yayın türü, örneklem büyüklüğü, uygulama süresi ve yıl aralığına göre anlamlı farklara rastlanmamıştır.

Türkiye odaklı bu çalışmalar, teknoloji destekli öğretimin Türk öğrencilerin matematik başarıları ve tutumu üzerinde genel olarak pozitif etkiler yarattığını göstermektedir. Bununla birlikte, bu çalışmaların çoğu genel matematik öğretimine odaklanmakta; cebir öğrenme alanına özgü sistematik sentezler sınırlı kalmaktadır.

2.6.3 Cebir öğretiminde teknoloji kullanımına ilişkin meta-analiz çalışmaları

Genel matematik öğretiminde teknoloji kullanımına ilişkin çok sayıda meta-analiz bulunmasına rağmen, cebir öğretiminde teknoloji kullanımına özgü sentez çalışmaları sınırlıdır.

Kieran ve Drijvers (2006), bilgisayar cebir sistemlerinin (BCS) cebir öğrenimindeki rolünü niteliksel olarak gözden geçirmişler; bu araçların sembolik manipülasyonları otomatikleştirerek öğrencilerin kavramsal düşünmeye odaklanmalarını sağladığını belirtmişlerdir. Ancak bu çalışma sistematik bir meta-analiz değildir; derleme (review) niteliğindedir.

Türkiye bağlamında, Kaya ve Keşan (2022), 2011-2021 yılları arasında Türkiye’de cebir öğrenme alanında yapılmış lisansüstü tezlerin bibliyometrik analizini yapmışlar; 87 tez incelemişlerdir. Bulgular, çalışmaların çoğunun nicel desenli ve başarı odaklı olduğunu; tutum ve motivasyon gibi duyuşsal çıktılarını inceleyen çalışmaların sınırlı olduğunu göstermiştir. Ayrıca, teknoloji destekli öğretimi konu alan çalışmaların oranının düşük olduğu (%23) belirlenmiştir. Bu çalışma betimsel bir analiz olup, deneysel bulguları nicel olarak sentezlememiştir.

Yükseköğretim düzeyinde, Şimşek ve Turanlı (2023), Türkiye’de lineer cebir eğitimi üzerine yapılmış çalışmaları meta-sentez yöntemiyle incelemişler; teknolojik araçların lineer cebir öğretimine katkılarını vurgulamışlardır. Ancak bu çalışma, ortaöğretim cebir öğretiminden ziyade yükseköğretim düzeyine odaklanmıştır ve nitel bulguları sentezlemiştir.

Dolayısıyla, Türkiye özelinde cebirsel deneysel bulguları nicel sentezleyen, bilişsel-duyuşsal çıktılarını paralel inceleyen, moderatörleri modelleyen ve güncel müfredatla ilişkilendiren bir çalışma eksikliği vardır. Bu boşluk, mevcut araştırmanın temel gerekçesini oluşturmaktadır.

2.7 Alanyazın Taramasının Özeti

Alanyazın taraması, teknoloji destekli cebir öğretiminin kuramsal temelleri ve ampirik kanıtları hakkında kapsamlı bir bakış açısı sunmaktadır. Taramadan ortaya çıkan temel bulgular şunlardır:

Yapılandırmacı öğrenme kuramı, çoklu ortam öğrenme kuramı, çoklu temsiller kuramı, enstrümantal yaklaşım ve TPAB modeli, teknoloji destekli cebir öğretiminin teorik zeminini oluşturmaktadır. Bu kuramlar, teknolojinin öğrenmeyi nasıl desteklediğini ve etkili entegrasyonun koşullarını açıklamaktadır.

Cebir, operasyonel düşünmeden yapısal düşünmeye geçişi gerektirir. Değişken ve eşitlik kavramları, cebirsel yeterliliğin temel taşlarıdır. Türk öğrencilerin bu kavramlarda yaşadıkları sistematik güçlükler (değişkeni somut nesne olarak görme, eşitliği işlemsel algılama), etkili öğretim yaklaşımlarına duyulan ihtiyacı göstermektedir.

Dinamik matematik yazılımları (GeoGebra, Desmos), bilgisayar cebir sistemleri, sanal manipülatifler (terazi, cebir karoları), mobil uygulamalar ve dijital platformlar (EBA), cebir öğretimi için farklı potansiyeller ve sınırlılıklar sunmaktadır.

Uluslararası ve ulusal meta-analizler, teknoloji destekli öğretimin matematik başarısına küçük-orta-yüksek düzeyde pozitif etkiler yaptığını göstermektedir (etki büyüklükleri $d/g = 0.15 - 0.90$ arasında). Ancak, etki büyüklükleri çalışmalar arasında önemli heterojenlik göstermektedir.

Matematik tutumu ve başarısı karşılıklı ilişkilidir ($r \approx 0.30$). Teknoloji, olumlu öğrenme deneyimleri yaratarak tutumları iyileştirebilir; ancak bu etki pedagojik uygunluk, kullanım kolaylığı ve teknik kaliteye bağlıdır.

Teknoloji türü, uygulama süresi, öğretim düzeyi, konu alanı, pedagojik yaklaşım ve uygulama kalitesi, etki büyüklüklerini önemli ölçüde etkilemektedir. Bu bulgular, “hangi koşullarda daha etkili?” sorusunun kritik önemini vurgulamaktadır.

Türkiye’de genel matematik öğretiminde teknoloji kullanımına ilişkin meta-analizler bulunmakla birlikte, aşağıdaki özelliklere sahip bir çalışma bulunmamaktadır:

1. Cebir öğrenme alanına özgü odaklanma
2. Deneysel bulguları nicel olarak birleştirme (etki büyüklüğü hesaplama)
3. Bilişsel (başarı) ve duyuşsal (tutum) çıktıları paralel meta-analizlerle inceleme

4. Moderatör değişkenleri sistematik olarak modelleme
5. 2018 ve 2024 güncel programlarıyla ilişkilendirme
6. PRISMA 2021 şeffaflık standartlarına uyum

Bu alışma, yukarıdaki boşluğu doldurmayı hedeflemektedir. Türkiye’de yapılan deneysel araştırmaların bulgularını cebir öğrenme alanına odaklanarak nicel olarak sentezleyecek; teknoloji destekli cebir öğretiminin hangi koşullarda (hangi teknoloji türü, hangi ğretim düzeyi, ne kadar süreyle, hangi cebir alt konusunda) daha etkili olduğunu belirleyecek; hem bilişsel (akademik başarı) hem de duyuşsal (tutum) ıktılar açısından kanıt sunacaktır. Bulgular, ğretmen, yönetici, politika yapıcı ve araştırmacılara kanıt dayalı rehberlik edecektir. Bir sonraki bölümde, bu amaçları gerçekleştirmek için kullanılan meta-analiz yöntemi detaylı olarak açıklanacaktır.

3

YÖNTEM

Bu bölümde araştırmanın modeli, veri toplama süreci, dâhil etme kriterleri, kodlama işlemi, etki büyüklüğü hesaplama yöntemi, meta-analizin geçerlik ve güvenirliği, istatistiksel analizler ve kullanılan yazılımlar hakkında ayrıntılı açıklamalar yer almaktadır.

3.1 Araştırma Modeli

Bu çalışmada, Türkiye’de cebir öğrenme alanında yürütülen deneysel ve yarı-deneysel araştırmaları sistematik olarak derleyip, teknoloji destekli öğretimin mevcut öğretime kıyasla öğrencilerin akademik başarısı ve cebire/matematiğe yönelik tutumu üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla meta-analiz yöntemi kullanılmıştır.

Meta-analiz, “birbirinden bağımsız, belirli bir konuyu araştıran birçok çalışmanın nicel sonuçlarını birleştirerek elde edilen bulguların istatistiksel analizini yaparak genel bir sonuca ulaşma yöntemi” olarak tanımlanmaktadır (Lipsey ve Wilson, 2001; Smith ve Glass, 1977). Meta-analiz, bir konuya ilişkin yapılmış bağımsız araştırmaların sonuçlarını istatistiksel olarak birleştiren, genel eğilimleri ve genel etki büyüklüğünü ortaya koyan güçlü bir yöntem olmakla birlikte, analizlerin analizi olarak da ifade edilmektedir (Glass, 1976).

Eğitim alanında meta-analiz, belirli bir öğretim yaklaşımının, stratejinin ya da programın farklı örneklemdeki etkililiğini belirleyerek alana ilişkin daha güvenilir ve genellenebilir sonuçlar üretmektedir. Ayrıca meta-analiz çalışmaları, literatürdeki çelişkili bulguların nedenlerini açıklamada ve moderatör analizleri yoluyla etkililik koşullarını belirlemede önemli bir role sahiptir (Bakioğlu ve Göktaş, 2018). Meta-analiz, bilgi birikimini sistematik biçimde sentezleyerek karar verme sürecinde kanıta dayalı güçlü bir temel oluşturmaktadır (Üstün ve Eryılmaz, 2014). Bu bağlamda yapılan bu çalışmada iki bağımsız meta-analiz çalışması yürütülmüştür:

Meta-Analiz 1 (Bilişsel Çıktı): Akademik başarıya ilişkin etki büyüklüklerinin sentezi, heterojenlik analizi ve moderatör değişkenlerin incelenmesi

Meta-Analiz 2 (Duyuşsal Çıktı): Cebire/matematiğe yönelik tutuma ilişkin etki büyüklüklerinin sentezi, heterojenlik analizi ve moderatör değişkenlerin incelenmesi

Meta-Analizde İşlem Basamakları:

Meta-analizin önemli özelliklerinden biri sistematik oluşudur. Bu nedenle meta-analiz çalışması yapılırken belirli basamakların takip edilmesi oldukça önemlidir. Şekil 3. 1’de bir meta-analiz çalışmasında takip edilecek işlem basamakları kısaca açıklanmıştır.



Şekil 3.1 Meta analiz çalışmasında takip edilecek işlem basamakları

Bu araştırma Şekil 3. 1’deki işlem basamakları takip edilerek yürütülmüştür. Öncelikle araştırma sorusu belirlenmiştir: “Teknoloji destekli öğretimin mevcut öğretime kıyasla cebir öğrenme alanında bilişsel ve duyuşsal öğrenme çıktılarına etkisi nedir?” Belirlenen araştırma sorusuna uygun literatür taraması detaylı bir şekilde yapılmıştır. Literatür taraması yapılırken, MEB ve Yükseköğretim Kurulu (YÖK)’nun matematik programları

dikkate alınarak anahtar kelimeler tespit edilmiştir. Uygun anahtar kelimelerle ulusal ve uluslararası veri tabanlarından veriler toplanmıştır. Veriler toplandıktan sonra dâhil etme kriterleri belirlenmiştir. Dâhil etme kriterlerine göre çalışmalar incelenmiş ve meta-analiz çalışmalarına dâhil edilecek birincil çalışmalar belirlenmiştir.

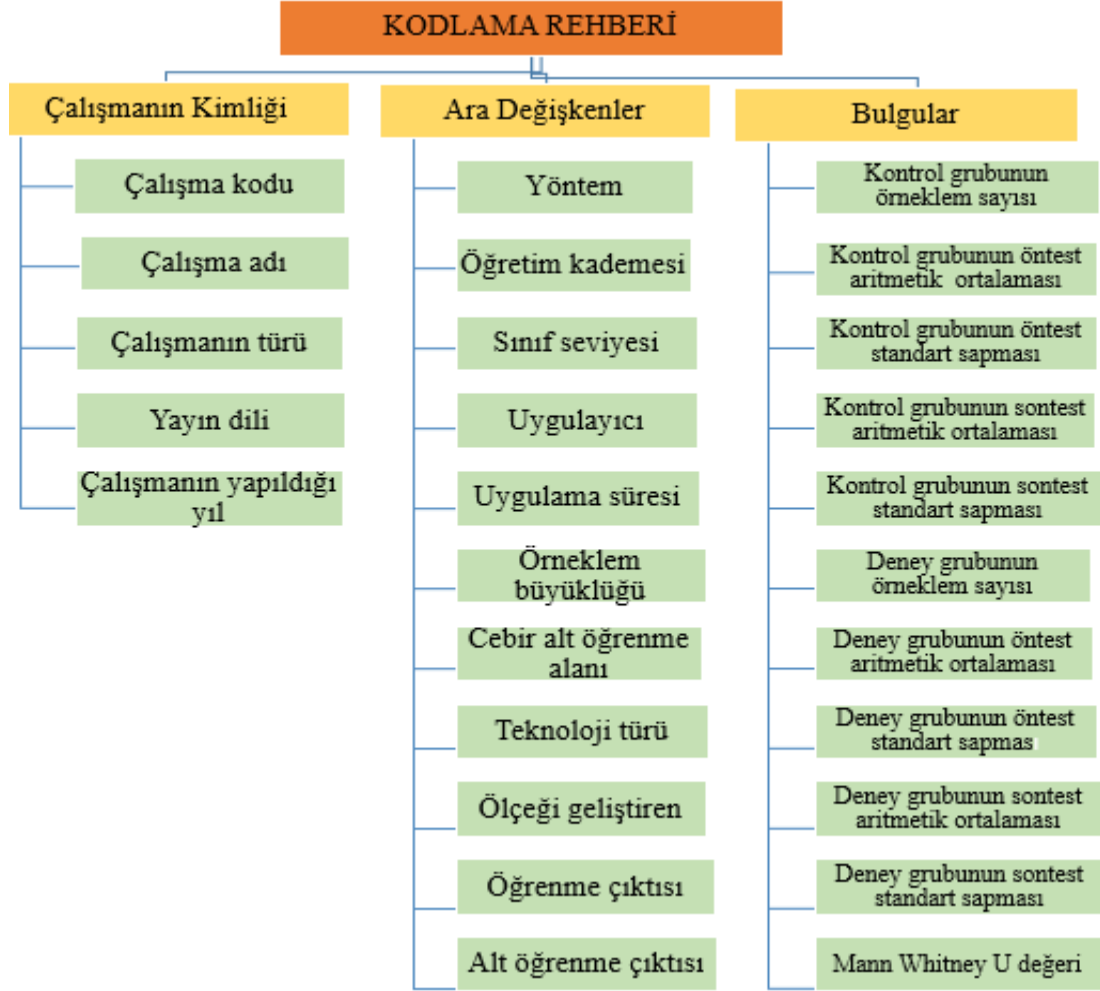
Belirlenen çalışmaların verilerinin kaydedilmesi için kodlama çizelgesi geliştirilmiştir. Kodlama çizelgesi iki uzman görüşüne başvurularak geliştirilmiştir. Meta-analizlere dâhil edilecek birincil çalışmalar kodlama çizelgesine kaydedilmiştir. Kodlama işlemi tamamlandıktan sonra her bir çalışmanın etki büyüklüğü ve standart hata değeri hesaplanmıştır. Daha sonra tüm bu veriler JASP 0.95.4.0 yazılımına kaydedilip veri analizi yapılmıştır. Çalışmaların genel etki büyüklüğü, heterojenlik analizi, yayın yanlılığı, hassasiyet analizi ve moderatör değişkenlerin analizi yapılarak bulgular kısmında raporlanmıştır. Son olarak elde edilen bulgular yorumlanarak sunulmuştur. Bu işlem adımları Meta-Analiz 1 ve Meta-Analiz 2 için aynı şekilde takip edilmiştir.

3.2 Veri Toplama Süreci

Veri toplama süreci üç aşamada gerçekleşmiştir. Öncelikle literatür taraması yapılmıştır. Bu meta-analiz çalışmasında, YÖK Ulusal Tez Merkezi, TR Dizin, DergiPark, Google Akademik, Web of Science ve Scopus veri tabanlarında literatür taraması yapılmıştır. Arama stratejileri, Millî Eğitim Bakanlığı'nın ortaöğretim ve ilköğretim matematik öğretim programı ve YÖK'ün matematik programı çerçevesinde belirlenen cebir öğrenme alanına ilişkin anahtar kelimelerle oluşturulmuştur. Birincil çalışmaların gözden kaçırılmamasına özen gösterilmiştir. Bu sebeple hem ulusal hem de uluslararası veri tabanlarında literatür taraması yapılmıştır.

İkinci aşamada, çalışmanın amacına uygun belirlenen dâhil etme ölçütlerine göre analize dâhil edilecek çalışmalar belirlenmiştir. Üçüncü aşamada ise araştırmaya dâhil edilecek çalışmalar Microsoft Excel 2016'da hazırlanan kodlama formuna kaydedilmiştir. Meta-analize dâhil edilen çalışmaların özelliklerini sistematik olarak kaydetmek için kapsamlı bir kodlama formu geliştirilmiştir. Form geliştirme sürecinde ilgili meta-analiz çalışmaları incelenmiştir (Kul vd., 2018; Usta-Taban, 2023; Üstün, 2012). Beş çalışma kodlanarak pilot uygulama yapılmıştır. İki uzman tarafından görüş alınarak form revize edilip son hali verilmiştir.

Teknoloji destekli öğretimin mevcut öğretime kıyasla öğrencilerin akademik başarısı ve cebire/matematiğe yönelik tutumuna etkisinin incelendiği bu araştırmada, geliştirilen kodlama formu word sayfasına dönüştürülüp ana başlıkları şekil 3. 2’de sunulmuştur.



Şekil 3.2 Kodlama formu

Şekil 3. 2 incelendiğinde kodlama formunun;

- **Çalışmanın kimliği:** çalışmanın kodu, yazarı, türü, yılı, dili
- **Ara değişkenler:** Çalışmanın deseni, öğretim düzeyi, sınıf düzeyi, uygulama süresi, çalışmayı uygulayan kişi, ölçeği geliştiren kişi, kullanılan teknolojik materyal, cebir öğrenme alanı alt konuları, örneklem büyüklüğü
- **Bulgular:** deney ve kontrol gruplarına ait betimsel değerler ve istatistiksel bulgular bölümlerinden oluştuğu görülmektedir.

Tüm bu sürecin şeffaf bir şekilde ilerlemesi için veriler, PRISMA akış şemasına kaydedilmiştir. Tablo 2’de literatür taramasının yapıldığı veri tabanları, anahtar

kelimelerle oluşturulmuş arama kombinasyonları, arama tarihi ve ulaşılan sonuç sayıları sunulmuştur.

Tablo 2 Veri tabanları ve çalışma sonuçları

Veri tabanı	Boolean İşlemleri İle Kombinasyonlar	Sonuç sayısı	Tarih
YÖK Ulusal Tez Merkezi	Başlık:(“cebiri” veya “cebirsel ifade” veya “değişken” veya “eşitlik” veya “denklem” veya “örüntü” veya “fonksiyon” veya “eşitsizlik” veya “özdeşlik”) ve “matematik”	888	30.09.2025
TR Dizin	(abstract : (“matematik” AND (“cebir” OR “örüntü” OR “denklem” OR “değişken” OR “eşitlik” OR “eşitsizlik” OR “özdeşlik” OR “fonksiyon”))))	384	01.10.2025
Dergi Park	title:(TEKNOLOJİ DESTEKLİ) AND title:(cebir) OR title:(denklem) OR title:(CEBİRSEL) OR title:(fonksiyon) OR title:(özdeşlik) OR title:(örüntü) OR year:[2000 TO 2025]	107	02.10.2025
Scopus	BAŞLIK-ABS-ANAHTAR (cebir) VE (SINIR (ALT DÖNEM , “SOCI “)) VE (SINIR (BELGE TÜRÜ , “ar”)) VE (SINIR (DİL , “İngilizce “) VEYA SINIR (DİL, “Türkçe “)) VE (SINIR (BAĞLI ÜLKE ,”Türkiye”))	146	09.10.2025
Web of Science	Cebir (Konu) ve İngilizce veya Türkçe (Diller) ve TÜRKİYE (Ülkeler/Bölgeler) ve Matematik veya Eğitim Araştırmaları veya Psikoloji (Araştırma Alanları)	256	10.10.2025
Google Akademik	CEBİR OR DENKLEM OR EŞİTLİK OR EŞİTSİZLİK OR FONKSİYON OR TÜREV OR İNTEGRAL OR ÖRÜNTÜ “TEKNOLOJİ DESTEKLİ ÖĞRETİM”	276	11.10.2025
Toplam		2057	

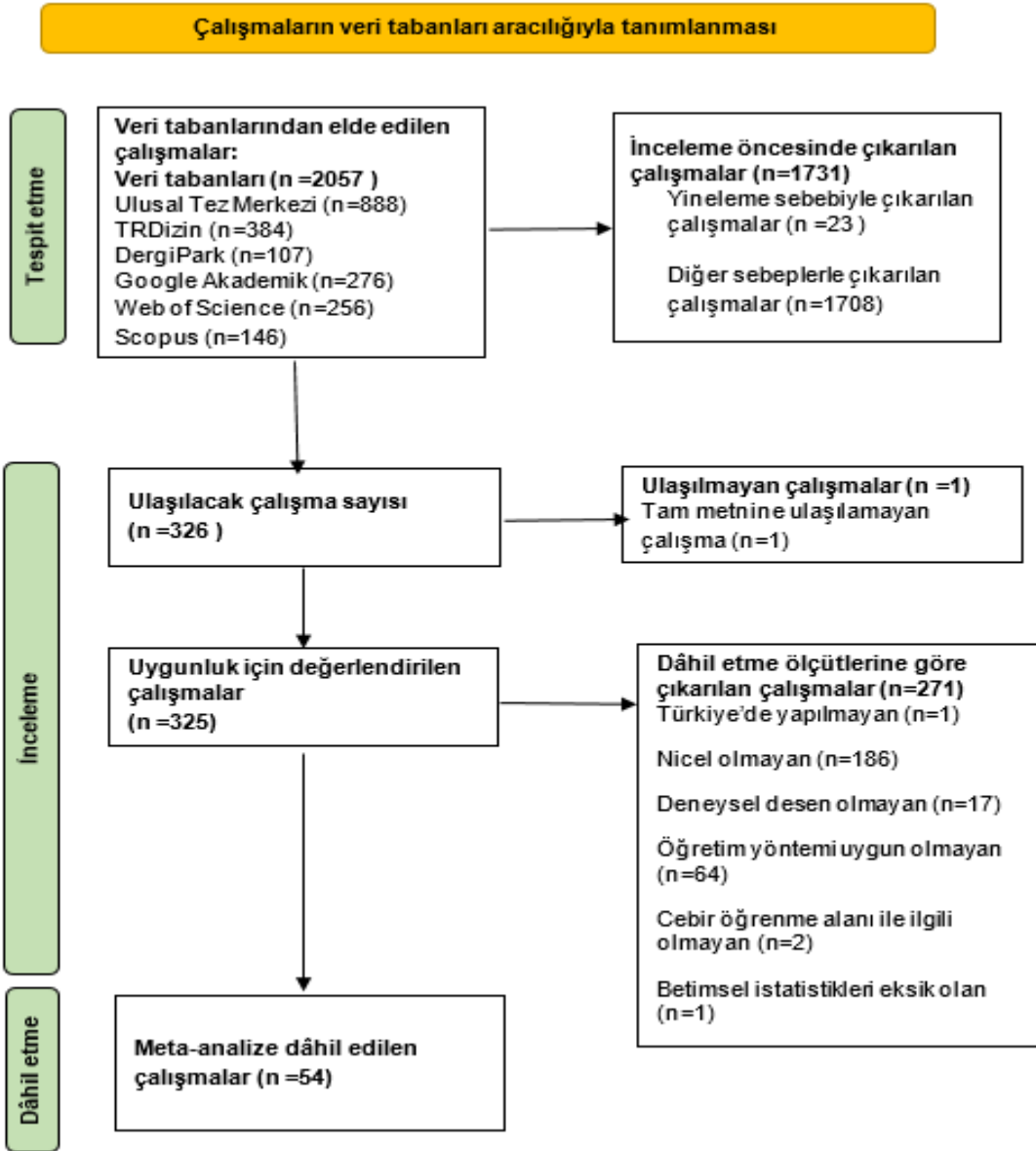
Tablo 2’de görüldüğü gibi, YÖK Ulusal Tez Merkezi veri tabanından 888, TR Dizin veri tabanından 384, DergiPark veri tabanından 107, Scopus veri tabanından 146, Web of Science veri tabanından 256 ve Google Akademik arama motorundan 276 olmak üzere toplam 2057 çalışmaya ulaşılmıştır. Arama sonucunda meta-analiz çalışmasına dâhil edilen birincil çalışmalar Tablo 3’te belirtilen dâhil etme ölçütlerine göre detaylı incelenerek belirlenmiştir.

Dâhil Etme Ölçütleri

Tablo 3 Çalışmaların dâhil edilme ölçütleri

ÖLÇÜTLER	AÇIKLAMA
Çalışmanın yapıldığı yer	Türkiye’de yapılmış olması
Çalışmanın türü	Ulusal ve uluslararası veri tabanlarından ulaşılabilir çalışma olması (tez, makale)
Çalışmanın dili	Türkçe ve İngilizce olması
Çalışmanın içeriği	Cebir öğrenme alanında teknoloji destekli öğretim
Çalışmanın örneklem grubu	İlköğretim, ortaöğretim ve yükseköğretimde uygulanan çalışma olması
Çalışmanın yöntemi	Nicel çalışması olması
Çalışmanın deseni	Deneysel desen olması Deney grubu: Teknoloji destekli öğretim Kontrol grubu: Mevcut öğretim yöntemi
Çalışmanın bağımlı değişkeni	Akademik başarı ve tutumun incelenmesi
Çalışmanın betimsel istatistik bilgileri	Örneklem sayısı, ortalama, standart sapma vb. istatistik bilgilerinin raporlanmış olması

Tablo 3’teki dâhil etme ölçütlerine göre birincil çalışmalar incelenerek meta-analize dâhil edilecek çalışmalar belirlenmiştir. Belirlenen dâhil edilme ölçütleri doğrultusunda, bu ölçütlerden en az birini karşılamayan çalışmalar meta analiz kapsamı dışında bırakılmıştır. Türkiye dışında yürütülen, cebir öğrenme alanı ile doğrudan ilişkili olmayan, teknoloji destekli öğretimi içermeyen, nicel ve deneysel desen taşımayan ya da etki büyüklüğünün hesaplanmasına olanak verecek betimsel istatistik bilgilerini raporlamayan çalışmalar dışlanmıştır. Bu süreç, meta-analizin amacına uygun, karşılaştırılabilir ve güvenilir bulgular elde edilmesini sağlamak amacıyla yürütülmüştür. Ayıracı veri toplama sürecinin şeffaf bir şekilde ilerlemesi için verilerin elde edilişi Şekil 3. 3’te PRISMA akış şemasıyla gösterilmiştir.



Şekil 3. 3 Birincil çalışmaların elde edilme sürecini gösteren PRISMA akış şeması (PRISMA; Page vd., 2021)

Şekil 3. 3'te görüldüğü gibi literatür taraması sonucunda toplam 2057 çalışmaya ulaşılmıştır. Daha sonra Tablo 3'te belirtilen ölçütlere göre çalışmalar incelenmiştir. Detaylı inceleme öncesinde, yineleme ve diğer sebeplerle 1731 çalışma çıkarılıp 326 çalışma detaylı incelemeye alınmıştır. Bir çalışmanın tam metnine ulaşılamamıştır. İncelemeye alınan 325 çalışmadan, Türkiye'de yapılmayan (n=1), nicel olmayan (n=186), deneysel desen olmayan (n=17), öğretim yöntemi uygun olmayan (n=64), cebir öğrenme alanı ile ilgili olmayan (n=2) ve betimsel istatistikleri eksik olan (n=1) sebeplerle 271 çalışma çıkarılmıştır. Sonuç olarak uygunluğuna karar verilen 54 birincil çalışma araştırmaya dâhil edilmiştir.

54 çalışmanın bir tanesi sadece duyuşsal becerileri incelemiştir. Meta-Analiz 1 (başarı) için dâhil edilen 53 birincil çalışmanın dört tanesinde ikişer deney grubu, birinde üç deney grubu, birinde ise dokuz deney grubu bulunduğundan toplamda 67 etki büyüklüğü elde edilmiştir. Meta-Analiz 2 (tutum) için dâhil edilen 29 birincil çalışmadan birinin iki etki büyüklüğü olmak üzere toplam 30 etki büyüklüğü değeri elde edilmiştir. Bu çalışmada moderatör değişkenler olarak örneklem sayısı, uygulama süresi, öğretim düzeyi, çalışmayı uygulayan kişi, ölçeği geliştiren kişi, teknoloji türü ve cebir öğrenme alanının alt alanı belirlenmiştir.

3.3 Meta Analizin Geçerlik ve Güvenirliği

Bilimsel araştırmaların tamamında olduğu gibi meta-analiz yönteminde de geçerlik ve güvenirliliğin sağlanması kritik öneme sahiptir. Bu meta-analiz çalışmasında geçerlik ve güvenirlilik, elde edilen sonuçların bilimsel açıdan tutarlı, güvenilir ve genellenebilir olmasını sağlamak amacıyla sistematik biçimde ele alınmıştır. Birincil çalışmaların bir araya getirildiği bu yöntemde, kaliteli ve amaca hizmet eden çalışmaların derlenmesi araştırmanın geçerliliğini yakından etkilemektedir (Cooper vd., 2009). Bu bölümde meta-analizin geçerlik ve güvenirlilik boyutları sistematik olarak incelenmektedir.

3.3.1 Geçerlik

Araştırmada geçerlik, çalışmaya dâhil edilen araştırmaların amaca uygunluğu ve ölçülen değişkenlerin (matematik başarıları ve tutum) aynı yapıyı temsil etmesi üzerinden değerlendirilmiştir. İçerik geçerliliğini sağlamak amacıyla öncelikle araştırmaya dâhil edilme ölçütleri açık biçimde tanımlanmıştır (Tablo 3). Analize yalnızca teknoloji destekli öğretimin cebir öğrenme alanındaki etkisini inceleyen çalışmalar dâhil edilmiştir. Matematğin farklı alanlarına (geometri, istatistik, olasılık, ölçme vb.) veya teknoloji dışı öğretim yaklaşımlarına odaklanan araştırmalar kapsam dışı bırakılmıştır. Akademik başarı, cebirsel kavram, ilke ve problem çözme yeterliklerini ölçen geçerli ve güvenilir başarı testlerinden elde edilen puanlar olarak; tutum ise cebire veya matematiğe yönelik duygu, inanç ve davranış eğilimleri olarak tanımlanmış ve yalnızca geçerlik-güvenirlilik çalışması yapılmış ölçme araçları kullanan çalışmalar dâhil edilmiştir (Borenstein, Hedges, Higgins vd., 2011).

Yapı geçerliği, araştırmanın kuramsal çerçevesiyle uyum sağlanarak desteklenmiştir (Shadish, Cook ve Campbell, 2002). Moderatör değişkenler (öğretim düzeyi, teknoloji türü, uygulama süresi, ölçek geliştirici, uygulayıcı, cebir alt alanı, örneklem büyüklüğü,

yayın yılı), alanyazındaki kuramsal ve ampirik gerekçelere dayanarak seçilmiştir (Lipsey ve Wilson, 2001). Hedges'in g etki büyüklüğü ölçüsü, küçük örneklem yanlılığını düzelter ve meta-analiz çalışmalarında yaygın olarak kullanılan standartlaştırılmış bir ölçü olarak tercih edilmiştir (Hedges ve Olkin, 1985).

Dışsal geçerlik, elde edilen bulguların farklı örneklem ve bağlamlara genellenebilirliğini ifade eder (Büyüköztürk vd., 2013). Araştırmaya dâhil edilen çalışmaların farklı eğitim kademelerinde (ilköğretim, ortaöğretim, yükseköğretim), farklı yaş gruplarında ve çeşitli teknolojik araçlarla (dinamik matematik yazılımları, bilgisayar cebir sistemleri, dijital içerik platformları, mobil uygulamalar, sanal manipülatifler) yürütülmüş olması, bulguların geniş bir öğrenci kitlesine uyarlanabilir olmasını sağlamıştır. Meta-Analiz 1 (Başarı) için 53 birincil çalışmadan elde edilen 67 etki büyüklüğü, Meta-Analiz 2 (Tutum) için 29 birincil çalışmadan elde edilen 30 etki büyüklüğü farklı eğitim kademelerinden dengeli dağılım göstermektedir. Çalışmaların 2000-2025 yılları arasında yürütülmüş olması, bulguların zamana göre genellenebilirliğini desteklemektedir. Tüm çalışmalar Türkiye'de yürütülmüş olup, bulgular Türk eğitim sistemine özgü bağlamsal faktörleri yansıtmaktadır.

İç geçerlik, gözlenen etkilerin gerçekten bağımsız değişkenden (teknoloji destekli öğretim) kaynaklandığını güvence altına almak için sağlanmıştır (Shadish vd., 2002). Yalnızca deneysel veya yarı-deneysel desene sahip çalışmalar meta-analize dâhil edilmiş ve tüm çalışmalarda kontrol grubu “mevcut öğretim yöntemi” olarak standardize edilmiştir. Yayın yanlılığı, istatistiksel olarak anlamlı sonuçların daha yüksek olasılıkla yayımlanması nedeniyle meta-analizin iç geçerliğini tehdit eden önemli bir faktördür (Rothstein vd., 2005). Bu araştırmada yayın yanlılığı çoklu yöntemle değerlendirilmiştir: huni grafiği ile görsel inceleme, Egger'in doğrusal regresyon testi, Rosenthal'ın güvenli N (fail-safe N) ve Duval ve Tweedie'nin Kes ve Ekle (Trim and Fill) yöntemi. Ayrıca, aynı veri setinin farklı formatlarda (tez ve makale) yayımlanması riski sistematik olarak kontrol edilmiş; yalnızca bir versiyonu meta-analize dâhil edilmiştir.

3.3.2 Güvenirlik

Güvenirlik, verilerin doğru biçimde kodlanması, analiz edilmesi ve yorumlanması süreçlerinin tutarlılığını ifade etmektedir. **Kodlama güvenirliliği,** kodlayıcı güvenirliliği (aynı kodlayıcının zaman içindeki tutarlılığı) ve kodlayıcılar-arası güvenirlilik (farklı

kodlayıcılar arasındaki tutarlılık) olmak üzere iki düzeyde ele alınmıştır. Kodlama güvenilirliği Orwin ve Vevea'nın (2009) formülüne göre hesaplanmıştır:

$$AR = \frac{\text{Üzerinde uzlaşılan görüş sayısı}}{\text{Toplam görüş sayısı}}$$

Kodlama, 27 sütundan oluşan standart form üzerinden yürütülmüştür. Toplam 54 çalışma kodlanmış; bunlardan 53 çalışma başarı meta-analizine (67 etki büyüklüğü), 29 çalışma tutum meta-analizine (30 etki büyüklüğü) katkı sağlamıştır. Birincil kodlama asıl araştırmacı ve alan uzmanı tarafından uzlaşıyla tamamlanmış, bağımsız doğrulama amacıyla ikinci bir araştırmacı başarı alt setinden 22, tutum alt setinden 10 çalışmayı tekrar kodlamıştır. Başarı alt setinden 22 çalışma ve tutum alt setinden 10 çalışma rastgele seçilmiş ve veri setindeki çalışma sayısının yarısına yakın bir kısmı tekrar kodlanıp karşılaştırılmıştır. Meta-analizlerde kodlama güvenilirliğini sağlamak için literatürde yaygın kabul gören yaklaşım, çalışmaların en az %20–30'unun ikinci bir kodlayıcı tarafından bağımsız olarak tekrar kodlanmasıdır. Nitekim, Lipsey ve Wilson (2001), kodlama güvenilirliğinin değerlendirilebilmesi için örneklemin en az beşte birinin yeniden kodlanmasını önermektedir. Başarı alt setinde 22×27=594 hücre karşılaştırılmış, 4 hücrede eksik/hatalı kod belirlenmiştir. Uzlaşma oranı AR=590/594=0.993 olup %95 güven aralığı [0.9828; 0.9974] olarak hesaplanmıştır. Tutum alt setinde 10×27=270 hücre karşılaştırılmış, 3 hücrede hata/uyuşmazlık saptanmıştır; AR=267/270=0.989 ve %95 güven aralığı [0.9678; 0.9962]'dir. Tüm uyuşmazlıklar kod kitabındaki karar kuralları izlenerek uzlaşıyla giderilmiş, uzlaşma sonrası nihai veri setinde %100 mutabakat sağlanmıştır. Lipsey ve Wilson'a (2001) göre, 0.80 ve üzeri uzlaşma oranları kabul edilebilir düzeydedir. Bu araştırmada her iki meta-analiz için de 0.98'in üzerinde uzlaşma oranı elde edilmiştir.

Analiz güvenilirliği, güvenilir ve yaygın olarak kullanılan yazılımlarla sağlanmıştır. Microsoft Excel 2016 programı etki büyüklüğü ve standart hata hesaplamaları için (Dr. Öğretim Üyesi Ulaş Üstün'ün hesap cetveli), JASP 0.95.4.0 programı ise meta-analiz, heterojenlik analizi, moderatör analizi, hassasiyet analizi ve yayın yanlılığı testleri için kullanılmıştır. Tüm hesaplamalar çift kontrol edilmiş ve sonuçlar raporlanmıştır. Raporlama güvenilirliği, PRISMA 2021 rehberine uygun olarak şeffaf biçimde sağlanmıştır (Page vd., 2021). PRISMA akış şeması (Şekil 3. 3), çalışmaların seçim sürecini adım adım göstermektedir.

Sonuç olarak, bu meta-analiz çalışmasında geçerlik ve güvenilirlik, sistematik bir yaklaşımla sağlanmıştır. Araştırmaların seçimi, kodlanması ve analizinde bilimsel ölçütlere uyulmuş; yayın yanlılığı kontrol edilmiş ve hesaplamalar güvenilir yazılımlar aracılığıyla yürütülmüştür. Bu süreçlerin tümü, teknoloji destekli öğretimin cebir öğrenme alanında matematik başarısı ve tutum üzerindeki etkilerine ilişkin elde edilen sonuçların geçerli, güvenilir ve genellenebilir olduğunu göstermektedir.

3.4 Verilerin Analizi (İstatistiksel Analizler)

Bu başlık altında etki büyüklüğünün incelenmesi, yayın yanlılığı, heterojenlik analizi, hassasiyet analizi ve ara değişken analizi hakkında bilgi verilmiştir. Tüm bu analizler ve hesaplamalar Microsoft Excel 2016 ve JASP 0.95.4.0 programıyla yapılmıştır.

3.4.1 Etki büyüklüğü

Meta-analiz çalışmalarında temel amaç, farklı araştırmalarda elde edilen bulguları ortak bir ölçüt altında birleştirerek değişkenler arasındaki ilişkinin gücünü veya uygulamaların etkisini ortaya koymaktır. Bu ortak ölçüt etki büyüklüğü (effect size) olarak adlandırılır. Etki büyüklüğü, bir çalışmada gözlenen etkinin büyüklüğünü ve yönünü ifade eden standartlaştırılmış bir istatistiksel değerdir (Cohen, 1988). Başka bir deyişle etki büyüklüğü, iki grup arasındaki farkın veya bir değişkenin diğerini ne ölçüde etkilediğinin nicel göstergesidir (Borenstein vd., 2011).

Literatürde yaygın olarak etki büyüklüğü değerini hesaplamada Hedges'in g ve Cohen'in d formülleri kullanılmaktadır. Cohen d etki büyüklüğü ölçüsü, küçük örneklem gruplarında bir miktar yanlılığa sahip olabilmektedir (Üstün ve Eryılmaz, 2014). Bu sebeple, bu meta-analiz çalışmasında küçük örneklemli çalışmalarda ortaya çıkabilecek yanlılıkları azaltarak daha güvenilir sonuçlar sağlayan Hedges'in g değeri kullanılmıştır. Ayrıca, her etki büyüklüğü için %95 güven aralıkları hesaplanmış ve bu değerler rastgele etkiler modeli (random effects model) kapsamında birleştirilmiştir.

Rastgele etkiler modeli, her çalışmanın kendi örnekleme ve koşulları içinde farklı bir gerçek etki büyüklüğüne sahip olabileceğini kabul eder (Borenstein vd. 2011). Bu modelde, hem örnekleme hatasından hem de çalışmalar arasındaki gerçek farklılıklardan kaynaklanan varyans hesaba katılır. Eğitim bilimleri alanında yürütülen araştırmalarda, yöntemsel çeşitlilik ve uygulama koşullarındaki farklar genellikle yüksektir. Bu nedenle, bu çalışma kapsamında rastgele etkiler modeli tercih edilmiştir.

Bu araştırmada her bir çalışmanın Hedges'in g etki byklėđ değeri ile standart hata değeri, Dr. Öğretim yesi Ulaş stn tarafından Microsoft Excel ortamında hazırlanmış hesap cetveli aracılığıyla hesaplanmıştır.

Etki byklėđ değerlerinin yorumlanmasında farklı sınıflamalar mevcuttur. Daha ok Cohen (1988) ve Thalheimer ve Cook (2002) etki byklėđ sınıflandırmaları kullanılmaktadır. Cohen'in (1988) sınıflandırması ve Thalheimer ve Cook'un (2002) sınıflandırması Tablo 4'te yer almaktadır.

Tablo 4 Cohen'in (1988) ve Thalheimer ve Cook'un (2002) etki byklėđ sınıflandırması

	Etki Byklėđ(g)	Düzeyi
Cohen(1988)	$0.20 \leq g < 0.50$	Küçük
	$0.50 \leq g < 0.80$	Orta
	$0.80 \leq g$	Yüksek
Thalheimer ve Cook (2002)	$-0.15 \leq g < 0.15$	önemsiz
	$0.15 \leq g < 0.40$	Küçük
	$0.40 \leq g < 0.75$	Orta
	$0.75 \leq g < 1.10$	Yüksek
	$1.10 \leq g < 1.45$	çok yüksek
	$1.45 \leq g$	Mkemmek

Tablo 4'te sunulan etki büyüklükleri sınıflandırmaları göz önünde bulundurularak, bu araştırmada etki byklėđ yorumlamasında daha kapsamlı olan Thalheimer ve Cook'a (2002) ait sınıflandırma tercih edilmiştir.

3.4.2 Yayın yanlılığı

Meta-analiz çalışmalarında, elde edilen sonuçların doğruluğunu ve genellenebilirliğini etkileyen temel tehditlerden biri yayın yanlılığıdır (Bennett vd., 2004; Borenstein vd., 2009; Rothstein vd., 2005). Yayın yanlılığı, istatistiksel olarak anlamlı veya beklenen yönde sonuçlar veren çalışmaların, anlamsız veya olumsuz sonuçlara sahip araştırmalara kıyasla daha yüksek olasılıkla yayımlanması durumunda ortaya çıkar (Dinçer, 2013). Bu durum, meta-analize dâhil edilen çalışmaların bütün literatürü tam olarak temsil etmemesine ve dolayısıyla genel etki byklėđnn olduğundan farklı görünmesine yol açabilir (Schork, 2003).

Borenstein ve diğerleri (2009), yayınlanmayan çalışmaların meta-analize dâhil edilememesi nedeniyle elde edilecek etki büyüklüğü değerinin olması gereken değerden daha fazla çıkacağını belirtmişlerdir. Bir meta-analiz çalışmasında yayın yanlılığını tespit etmek ve gidermek için birçok yöntem bulunmaktadır. Huni grafiği, Egger'in doğrusal regresyon yöntemi, orman grafiği, Rosenthal'ın güvenli N (fail-safe N-FSN) yöntemi, Orwin'in güvenli N yöntemi ve Duval ve Tweedie'nin Kes ve Ekle (Trim and Fill) yöntemleri sıkça kullanılan yöntemlerden bazılarıdır (Üstün ve Eryılmaz, 2014). Bu meta-analiz çalışmasında yayın yanlılığı analizinde orman grafiği, huni grafiği, Egger'in doğrusal regresyon testi, Rosenthal'ın güvenli N (fail-safe N-FSN) yöntemi ve Duval ve Tweedie'nin Kes ve Ekle (Trim and Fill) yöntemleri kullanılmıştır.

3.4.3 Heterojenlik analizi

Meta-analiz çalışmalarında, dâhil edilen araştırmalarda elde edilen etki büyüklüklerinin birbirine ne ölçüde benzediğini ya da farklılaştığını belirlemek önemlidir. Bu farklılık düzeyini ortaya koymak amacıyla heterojenlik analizi yapılır (Deliktaş vd., 2016). Heterojenlik, çalışmalar arasında gözlenen etki büyüklüklerinin yalnızca örnekleme hatasından mı yoksa gerçek yöntemsel ve içeriksel farklılıklardan mı kaynaklandığını gösterir (Higgins vd., 2003). Heterojenlik analizi, sadece ara değişkenlerin tespiti için değil aynı zamanda model seçimi için de oldukça önemlidir. Heterojenlik tespit edildiği takdirde meta-analiz çalışmasında rastgele etkiler modeli tercih edilmelidir (Borenstein vd., 2009). Bu araştırmada heterojenlik düzeyini belirlemek için Q testi, I^2 ve τ^2 istatistiklerinden yararlanılmıştır.

Q istatistiği, her bir çalışmanın etki büyüklüğünün genel ortalamadan sapmalarının kareleri üzerinden hesaplanır ve çalışmalar arasındaki farklılığın istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığını değerlendirir (Hedges ve Olkin, 1985). Elde edilen Q değeri için anlamlılık düzeyi ($p < 0.05$) esas alınır. Q testinin anlamlı çıkması, çalışmalar arasında heterojenlik bulunduğunu gösterir. Ancak Q testi örneklem büyüklüğüne duyarlı olduğundan, heterojenliğin büyüklüğünü değerlendirmek için I^2 istatistiği de hesaplanmıştır.

I^2 değeri, toplam varyansın yüzde kaçının gerçek farklılıklardan kaynaklandığını gösterir (Higgins vd., 2003). Buna göre: %25 civarındaki I^2 değeri düşük heterojenlik, %50 civarındaki değer orta düzey heterojenlik, %75 ve üzeri değer yüksek heterojenlik olarak

yorumlanmaktadır. Dolayısıyla I^2 değeri %100'e yaklaştıkça heterojenliğin arttığı söylenebilmektedir.

τ^2 değeri, etki büyüklüklerinin varyansına ilişkin bir tahmin olup, rastgele etkiler modelinde çalışmaların ağırlıklandırılmasında kullanılmaktadır (Borenstein vd., 2011).

Bu araştırmada, teknoloji destekli öğretimin cebir öğrenme alanında öğrencilerin matematik başarısı ve tutumları üzerindeki etkisine ilişkin çalışmaların doğası gereği yöntemsel ve örneklem farklılıklarının bulunması beklenmektedir. Bu nedenle, heterojenlik düzeyinin belirlenmesi çalışmanın önemli bir adımıdır. Analizler JASP 0.95.4.0 programı kullanılarak gerçekleştirilmiş; elde edilen Q , I^2 ve τ^2 değerleri meta-analiz sonuçlarının yorumlanmasında temel ölçüt olarak kullanılmıştır.

Bu analizler sonucunda yüksek düzeyde heterojenlik tespit edilmesi, çalışmaların farklı örneklem grupları, öğretim düzeyleri, uygulayıcı, ölçeği geliştiren kişi, alt öğrenme konusu, teknoloji türleri, yayın yılı veya uygulama sürelerinden kaynaklanabileceğini göstermektedir. Bu durumda, değişkenler arasındaki farklılıkları incelemek amacıyla moderatör analizleri yapılmıştır. Böylece, teknoloji destekli öğretimin etkisini farklı koşullar altında daha ayrıntılı biçimde açıklamak amaçlanmıştır.

3.4.4 Hassasiyet analizi:

Meta-analiz çalışmalarında hassasiyet analizi, elde edilen genel etki büyüklüğünün belirli çalışmalara karşı ne ölçüde duyarlı olduğunu ve sonuçların güvenilirliğini değerlendirmek için kullanılan önemli bir tekniktir. Bu analiz, meta-analiz sonuçlarının tek bir çalışmanın aşırı etkisine bağlı olup olmadığını test ederek bulguların sağlamlığını ortaya koyar (Borenstein vd., 2009; Dinçer, 2014).

Bu araştırmada hassasiyet analizi JASP yazılımında birini çıkar (leave-one-out) yöntemiyle gerçekleştirilmiştir. Çalışmalara ilişkin standartlaştırılmış kalıntı, DFFITS ve Cook mesafesi ölçütleri incelenmiş Bu kapsamda her bir çalışma meta analizden tek tek çıkarılıp genel etki büyüklüğü yeniden hesaplanmış ve önemli bir değişiklik olup olmadığı gözlenmiştir. Eğer herhangi bir çalışmanın çıkarılması etki büyüklüğünde dikkate değer farklılık oluşturmuşsa bu çalışma uç değer olarak değerlendirilmiştir (Karadağ, 2019).

3.4.5 Moderatör (Ara) değişkenlerin belirlenmesi

Meta analiz çalışmalarında heterojenlik düzeyinin yüksek bulunması, etki büyüklüklerinin yalnızca örnekleme hatasından değil, aynı zamanda çalışmaların yapısal veya içeriksel farklılıklarından kaynaklandığını göstermektedir. Bu durumda, farklılıkların hangi değişkenlerden kaynaklandığını belirlemek amacıyla moderatör analizleri yapılmaktadır (Lipsey ve Wilson, 2001). Moderatör analizi, çalışmaların belirli özelliklere göre gruplandırılarak her bir grup için ayrı etki büyüklüklerinin hesaplanması sürecidir. Bu analizler, belirli bir değişkenin (örneğin öğretim düzeyi, teknoloji türü, öğrenme alanı, uygulama süresi gibi) etki büyüklüğü üzerinde anlamlı farklılık oluşturup oluşturmadığını ortaya koyar (Borenstein vd., 2011). Böylece, teknoloji destekli öğretimin cebir öğrenme alanında etkisinin hangi koşullarda daha güçlü veya zayıf olduğu belirlenebilir. Bu bağlamda bu araştırmada moderatör değişkenler aşağıdaki gibi belirlenmiştir.

Eğitim – öğretim yılı (çalışmanın yapıldığı yıl): Sung vd. (2016), teknoloji entegrasyonunun zaman içinde değişen etkilerini incelemiş ve teknolojik gelişmelerin öğrenme çıktılarını etkilediğini göstermiştir. Hattie (2009), meta-analizlerde kronolojik moderatör analizinin önemini vurgular. Dolayısıyla bu araştırmada, çalışmanın yapıldığı eğitim öğretim yılı (çalışmanın yılı) moderatör değişken olarak belirlenmiştir. Çalışma yılı 2000-2012 yılları erken dönem, 2013-2017 yılları orta dönem, 2018-2025 yeni dönem olmak üzere üç kategoriye ayrılmıştır. Erken dönem, Web 2.0 ve ilk tablet deneyimlerinin yaygınlaşmaya başladığı dönem, orta dönem tabletlerin yaygınlaşması ve FATİH Projesinin uygulanmaya başlandığı dönem, yeni dönem ise mobil öğrenmenin olgunlaşması ve COVID-19 sonrası olarak ele alınmıştır.

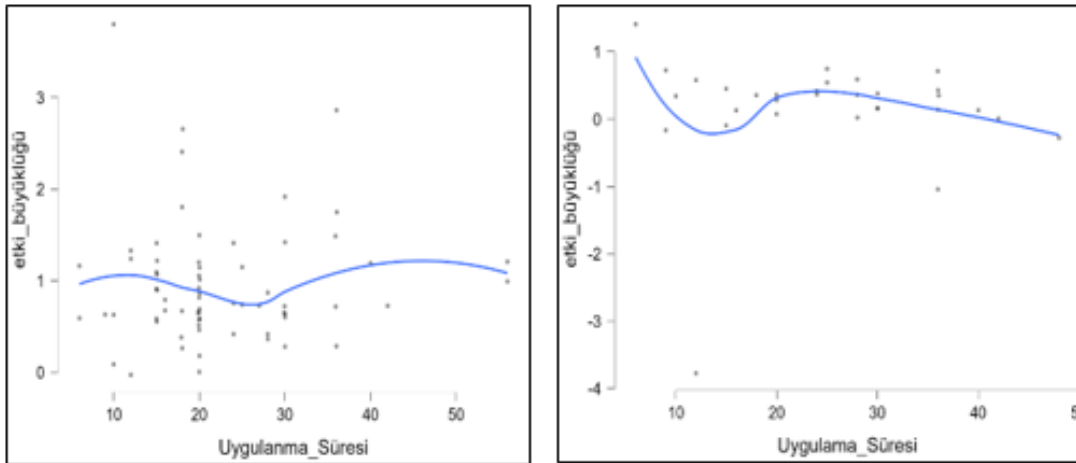
Öğretim kademesi: Tamim vd. (2011), eğitim seviyesinin teknoloji entegrasyonunda önemli bir moderatör olduğunu ve farklı yaş gruplarının teknolojiye farklı yanıtlar verdiğini göstermiştir. Piaget'nin bilişsel gelişim teorisi, farklı yaş gruplarının öğrenme kapasitelerinin değiştiğini destekler. Öğrenci gelişim basamakları ve müfredat farkları, teknoloji destekli cebir öğretiminde etkiyi değiştirebilir. Meta-analizlerde kademeye ve sınıf düzeyine göre anlamlı farklılıklar raporlanmıştır. Dolayısıyla bu araştırmada öğretim kademesi alt grupları ilköğretim, ortaöğretim ve yükseköğretim olarak belirlenmiştir.

Alt öğrenme Alanı: Hattie (2009), farklı disiplinlerin teknoloji entegrasyonuna farklı yanıtlar verdiğini belirtir. Li ve Ma (2010), matematik alt alanlarının teknoloji

kullanımında farklı etki büyüklükleri gösterdiğini bulmuştur. İçerik alanı, bilişsel zorluk ve görselleştirme olanakları farklı olduğundan teknoloji türleriyle etkileşime girer (ör. grafik/etkileşimli görselleştirme). İçerik-temelli moderatörler, matematik eğitimindeki teknoloji meta-analizlerinde raporlanmıştır. Bu bağlamda araştırmada cebir alt öğrenme alanı moderatör değişken olarak belirlenmiştir. Alt öğrenme alanı, cebirsel düşünme, denklemler ve eşitsizlikler, fonksiyon ve grafikler, ileri cebir olmak üzere dört kategoriye ayrılmıştır.

Öğretme Teknolojisi/Türü Rakes vd. (2010), farklı teknoloji türlerinin matematik öğretiminde farklı etkiler yarattığını göstermiştir. Zbiek vd. (2007), dinamik matematik yazılımlarının özellikle geometri ve cebirde güçlü etkileri olduğunu bulmuştur. Dolayısıyla bu araştırmada teknoloji türü moderatör değişken olarak belirlenmiştir. Teknoloji türü moderatörü, dinamik matematik yazılımları, dijital içerik platformları, web tabanlı teknolojiler olmak üzere üç kategoriye ayrılmıştır.

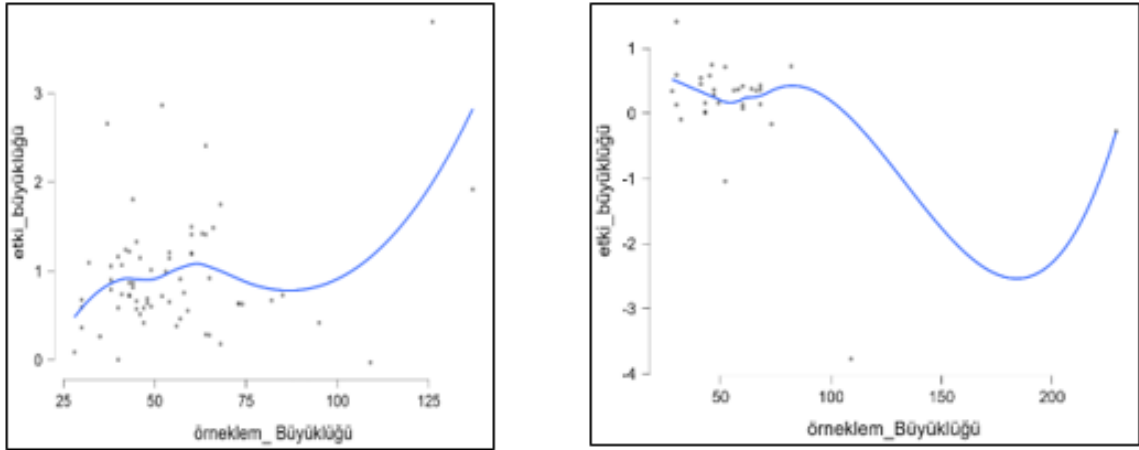
Uygulama Süresi: Cheung ve Slavin (2013), müdahale süresinin etki büyüklüğünde önemli bir rol oynadığını göstermiştir. Scheerens (2016), öğrenme süresi ile başarı arasındaki ilişkiyi meta-analitik olarak incelemiştir. Eğitim müdahalelerinde süre/dozaj etkiyi modere eden temel boyutlardan biridir; matematikte teknoloji destekli uygulamalarda daha uzun sürelerin daha tutarlı etkiler verdiği raporlanmıştır. Bu bağlamda bu araştırmada uygulama süresi moderatör değişken olarak belirlenmiştir. Uygulama süresi değişkeni, sürekli değişken olduğu için doğrusallık sayıltısı kontrol edilmiştir. Doğrusallık sayıltısı JASP yazılımında visual modeling kısmında meta analiz 1 (başarı) ve meta analiz 2 (tutum) için ayrı ayrı analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlar şekil 3. 4'te sunulmuştur.



Şekil 3. 4 Başarı ve tutum için uygulama süresi moderatörünün doğrusallık analizi

Şekil 3. 4'te görüldüğü gibi doğrusallık sayıltısı sağlanamadığı için uygulama süresi kategorik değişkene dönüştürülmüştür. Uygulama süresi 0-10 ders saati kısa süreli, 11-20 ders saati orta süreli, 21 ve üzeri uzun süreli olmak üzere üç kategoriye ayrılmıştır (Chauhan, 2017; Rosen ve Beck-Hill, 2012; Tamim, Bernard ve Borokhovski, 2011).

Örneklem Büyüklüğü: Lipse ve Wilson (2001), örneklem büyüklüğünün meta-analizlerde önemli bir moderatör olduğunu ve küçük örneklemelerin etki büyüklüklerini şişirebildiğini belirtir. Küçük örneklemeler küçük-çalışma etkilerine duyarlı olabilir; güç ve kestirim kararlılığı açısından standart bir moderatördür. Dolayısıyla bu araştırmada örneklem büyüklüğü moderatör değişken olarak belirlenmiştir. Örneklem büyüklüğü sürekli değişken olduğu için doğrusallık sayıltısı kontrol edilmiştir. Doğrusallık sayıltısı JASP yazılımında visual modeling kısmında Meta-Analiz 1 (başarı) ve Meta-Analiz 2 (tutum) için ayrı ayrı analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlar şekil 3. 5'te sunulmuştur.



Şekil 3. 5 Başarı ve tutum için örneklem büyüklüğü moderatörünün doğrusallık analizi

Şekil 3. 5'te görüldüğü gibi doğrusallık sayıltısı sağlanamadığı için örneklem büyüklüğü kategorik değişkene dönüştürülmüştür. Örneklem büyüklüğü 50'den az olanlar küçük, 50'den 100'e kadar olanlar orta ve 100 ve üzeri olanlar büyük olarak belirlenip üç kategoriye ayrılmıştır.

Çalışmayı Uygulayan: Means vd. (2013), öğretim yönteminin teknoloji entegrasyonundaki başarıyı önemli ölçüde etkilediğini göstermiştir. Hmelo-Silver vd. (2007), rehberli keşfedici öğrenmenin öğrenci başarısında etkili olduğunu bulmuştur. Bu bağlamda çalışmayı uygulayan kişi moderatör değişken olarak belirlenmiştir. Çalışmayı uygulayan değişkeni öğretmen ve araştırmacı olmak üzere iki alt gruba ayrılmıştır.

Ölçüm Aracı: Lipsey ve Wilson (2001), ölçüm araçlarının güvenilirliğinin etki büyüklüklerini etkilediğini göstermiştir. Ölçüt tipinin psikometrik özellikleri ve duyarlılığı farklıdır; meta-analizlerde ölçme düzeyi önemli bir moderatördür. Bu bağlamda ölçüm aracı moderatör değişken olarak belirlenmiştir. Ölçüm aracı araştırmacı tarafından geliştirilen ölçek ve hazır ölçek olmak üzere iki alt gruba ayrılmıştır.

Sonuç olarak bu araştırmada, teknoloji destekli öğretimin mevcut öğretim yöntemine kıyasla, cebir öğrenme alanında matematik başarısı ve tutuma etkisi üzerine yapılan çalışmalarda gözlenen heterojenliğin olası nedenlerini incelemek için ara değişken analizlerinden yararlanılmıştır. Bu araştırmada moderatör değişkenler çalışmanın yılı, öğretim kademesi, cebir alt öğrenme alanı, teknoloji türü, uygulama süresi, örneklem büyüklüğü, çalışmayı uygulayan kişi, ölçüm aracı olarak belirlenmiştir. Moderatör analizleri yapılırken literatürde önerilen kategorilere göre alt gruplar oluşturulmuştur. Doğrusallık sayılıtısını sağlamayan sürekli değişkenler de kategorik değişkenlere dönüştürülerek alt gruplara ait ortalama etki büyüklüğü hesaplanmıştır. Analizler JASP 0.95.4.0 programıyla yapılmıştır.

3.4.6 Araştırmanın etik boyutu

Bu araştırma mevcut yayınlanmış çalışmaların sistematik analizi olduğu için etik kurul onayı gerektirmemektedir. Bununla birlikte:

1. Tüm kaynak çalışmalar uygun şekilde atıf yapılarak kullanılmıştır.
2. Veri kodlama ve analiz süreci şeffaf biçimde raporlanmıştır.
3. PRISMA 2021 rehberine uygun raporlama yapılmıştır.
4. Çıkar çatışması bulunmamaktadır.
5. Araştırma verileri talep edildiğinde paylaşılabılır durumda saklanmaktadır.
6. Yayın yanlılığı sistematik olarak değerlendirilmiş ve raporlanmıştır

4 BULGULAR

Bu bölümde, Türkiye’de cebir öğrenme alanında teknoloji destekli öğretimin mevcut öğretime kıyasla öğrencilerin akademik başarısı ve cebire/matematiğe yönelik tutumu üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla yürütülen iki bağımsız meta-analizin bulguları sunulmaktadır. Birinci kısımda Meta-Analiz 1 (Bilişsel Çıktı: Akademik Başarı), ikinci kısımda ise Meta-Analiz 2 (Duyuşsal Çıktı: Tutum) sonuçları yer almaktadır. Her iki meta-analiz için sırasıyla dâhil edilen çalışmaların betimsel özellikleri, genel etki büyüklüğü, heterojenlik analizi, hassasiyet analizi, yayın yanlılığı değerlendirmesi ve moderatör analizleri raporlanmıştır.

4.1 Meta-Analiz 1: Teknoloji Destekli Öğretimin Cebir Başarısına Etkisi

Bu kısımda, teknoloji destekli öğretimin mevcut öğretime kıyasla cebir başarısı üzerindeki etkisini inceleyen Meta-Analiz 1’in bulguları sunulmaktadır.

4.1.1 Çalışmaların Genel (Betimsel) Özellikleri

Meta-Analiz 1 kapsamında, dâhil etme kriterlerini karşılayan 53 birincil çalışmadan toplam 67 etki büyüklüğü elde edilmiştir. Bazı çalışmalarda birden fazla deney grubu bulunması nedeniyle etki büyüklüğü sayısı çalışma sayısından fazladır. Tablo 5’te meta-analize dâhil edilen çalışmaların yazar, yıl, örneklem büyüklüğü, eğitim kademesi, çalışma türü vb. bilgileri sunulmaktadır.

Tablo 5 Meta-Analiz 1’e dâhil edilen çalışmaların özellikleri

Çalışmanın Kodu	Yayın Adı	Çalışma Türü	Eğitim öğretim Yılı	Eğitim Kademesi	Örneklem Büyüklüğü
1	AKÇAKIN(2015)	Doktora Tezi	2014	Ortaöğretim	58
2	YAZLIK(2015)	Doktora Tezi	2014	Ortaöğretim	137
3	BAYTURAN(2011)	Yüksek Lisans Tezi	2009	Ortaöğretim	60
4	BULUT(2009)	Doktora Tezi	2006	Yükseköğretim	43

Tablo 5 (devamı)

5	AKSOY(2007)	Doktora Tezi	2006	Yükseköğretim	43
6	AKTÜMEN(2007)	Doktora Tezi	2006	Yükseköğretim	47
7	ARDIÇ(2016)	Doktora Tezi	2014	Ortaöğretim	145
8	ALTINBAŞ(2021)	Doktora Tezi	2019	Yükseköğretim	52
9	AYAN(2023)	Yüksek Lisans Tezi	2023	İlköğretim	74
10	BACAK(2024)	Yüksek Lisans Tezi	2023	İlköğretim	41
11	BİLEN(2016)	Doktora Tezi	2015	Ortaöğretim	68
12	BUDİYAR(2018)	Yüksek Lisans Tezi	2018	İlköğretim	40
13	CANEVİ(2019)	Yüksek Lisans Tezi	2017	Ortaöğretim	52
14	CEYLAN(2003)	Doktora Tezi	2002	Ortaöğretim	64
15	IŞIK(2023)	Yüksek Lisans Tezi	2023	İlköğretim	46
16	İZGİOL(2014)	Yüksek Lisans Tezi	2013	Yükseköğretim	73
17	KABACA(2006)	Doktora Tezi	2005	Yükseköğretim	30
18	KARATAŞ(2021)	Yüksek Lisans Tezi	2019	İlköğretim	63
19	KAYA(2015)	Doktora Tezi	2014	İlköğretim	60
20	KELİSMAİL(2019)	Yüksek Lisans Tezi	2017	İlköğretim	65
21	KOÇ(2022)	Yüksek Lisans Tezi	2022	İlköğretim	43
22	MERCAN(2019)	Doktora Tezi	2017	İlköğretim	38
23	MERT(2024)	Yüksek Lisans Tezi	2022	İlköğretim	28
24	OKUDUCU(2020)	Yüksek Lisans Tezi	2020	İlköğretim	32
25	ÖNER(2009)	Yüksek Lisans Tezi	2008	İlköğretim	56
26	PEKTEKİN(2023)	Yüksek Lisans Tezi	2022	İlköğretim	49
27	POÇAN(2019)	Doktora Tezi	2018	İlköğretim	73
28	POLAT(2023)	Yüksek Lisans Tezi	2022	İlköğretim	41
29	ŞİMŞEK(2013)	Yüksek Lisans Tezi	2012	Ortaöğretim	68
30	ŞİMŞEK(2016)	Yüksek Lisans Tezi	2015	Yükseköğretim	43
31	TEMUR(2022)	Yüksek Lisans Tezi	2021	İlköğretim	60
32	TULUK(2007)	Doktora Tezi	2006	Yükseköğretim	30
33	TURĞUT(2010)	Doktora Tezi	2009	Yükseköğretim	85
34	TÜRKMEN(2019)	Yüksek Lisans Tezi	2018	İlköğretim	452
35	ZENGİN (2015)	Yüksek Lisans Tezi	2014	Ortaöğretim	35
36	ZENGİN D.(2019)	Yüksek Lisans Tezi	2017	İlköğretim	72
37	ÇETİN(2019)	Makale	2014	Ortaöğretim	44
38	YORGANCI(2019)	Makale	2019	Yükseköğretim	30
39	KALAFAT(2019)	Yüksek Lisans Tezi	2018	İlköğretim	54
40	ŞİMŞEK(2010)	Yüksek Lisans Tezi	2009	Yükseköğretim	79
41	AKCİĞER(2019)	Yüksek Lisans Tezi	2019	Ortaöğretim	126

Tablo 5 (devamı)

42	KEPÇEOĞLU(2010)	Yüksek Lisans Tezi	2010	Yükseköğretim	40
43	KUL(2020)	Yüksek Lisans Tezi	2019	Ortaöğretim	45
44	ÖZBEY ve KOPARAN(2020)	Makale	2019	İlköğretim	47
45	BAKAR(2018)	Yüksek Lisans Tezi	2017	Ortaöğretim	109
46	SEVGİ(2020)	Yüksek Lisans Tezi	2019	Ortaöğretim	42
47	TAŞDELEN(2022)	Yüksek Lisans Tezi	2021	Yükseköğretim	38
48	ÜNSAL(2020)	Makale	2016	Ortaöğretim	64
49	YENMEZ vd.(2024)	Makale	2020	Ortaöğretim	66
50	YORGANCI(2020)	Makale	2018	Yükseköğretim	95
51	OKUR(2006)	Doktora Tezi	2005	Yükseköğretim	79
52	ÇEKMEZ ve BAKİ(2019)	Makale	2019	Yükseköğretim	82
53	UZUN(2021)	Doktora Tezi	2019	İlköğretim	91

Tablo 5 incelendiğinde çalışmaların 17' si doktora tezi, 29' u yüksek lisans tezi, 7 tanesi ise makale türünde olup çalışmaların yüksek lisans türünde daha çok olduğu görülmektedir. Çalışmaların 21 tanesi ilköğretim, 16 tanesi ortaöğretim, 16 tanesi ise yükseköğretim düzeyindeki öğrencilerle yapılmıştır. Çalışmaların ilköğretim seviyesindeki öğrencilerle daha çok yapıldığı görülmektedir. Toplam örneklem büyüklüğü ise 3597 katılımcıdan oluşmaktadır.

4.1.2 Etki büyüklüğü analizi

Teknoloji destekli öğretimin cebir öğrenme alanında akademik başarıya etkisini tespit etmek amacıyla yürütülen bu meta analizde rastgele etkiler modeli kullanılarak genel etki büyüklüğü analizi JASP yazılımında hesaplanmıştır. Meta analize dâhil edilen 53 çalışmadan 67 etki büyüklüğü değeri elde edilmiştir. Genel etki büyüklüğü değerine ait analiz sonuçları tablo 6'da sunulmuştur.

Tablo 6 Genel etki büyüklüğü sonuçları

						%95 Güven Aralığı	
Etki büyüklüğü	Standart hata	t	df	p		Alt sınır	Üst sınır
	(SE)						
0,940	0,080	11,76	66	< ,001		0,781	1,100

Tablo 6’da görüldüğü gibi, 67 etki büyüklüğünün genel etki büyüklüğü değeri $g = 0,940$ standart hata değeri ise $SE = 0,080$ olarak hesaplanmıştır. Standart hata değerinin düşük olması, elde edilen genel etkinin güvenilirliğini desteklemektedir. Ayrıca t testi sonucunda $t(66) = 11.76$ ($p < ,001$) bulunmuş ve bu değer, genel etki büyüklüğünün istatistiksel olarak anlamlı olduğunu göstermiştir.

Etki büyüklüğüne ilişkin %95 güven aralığı 0.781 ile 1.100 arasında değişmektedir. Bu aralığın tamamının pozitif olması, teknoloji destekli öğretim uygulamalarının cebir öğrenme alanında öğrenci başarısını arttırdığı yönündeki bulguların istatistiksel olarak güçlü ve güvenilir olduğunu göstermektedir. Güven aralığının dar olması ise etki büyüklüğü tahmininin yüksek doğrulukla yapıldığını ve güvenilirliğini desteklemektedir.

Araştırmaya ait genel etki büyüklüğü değeri, Thalheimer ve Cook’un (2002) çalışmasındaki sınıflandırmaya göre yüksek düzeyde bir değer olduğu görülmektedir.

4.1.3 Heterojenlik analizi

Bu araştırmada heterojenlik düzeyini belirlemek için Q testi, I^2 , τ^2 ve τ istatistiklerinden yararlanılmıştır. Çalışmaların heterojenlik analizi sonuçları tablo 7’de sunulmuştur.

Tablo 7 Bağımlı değişken başarı için heterojenlik testi sonuçları

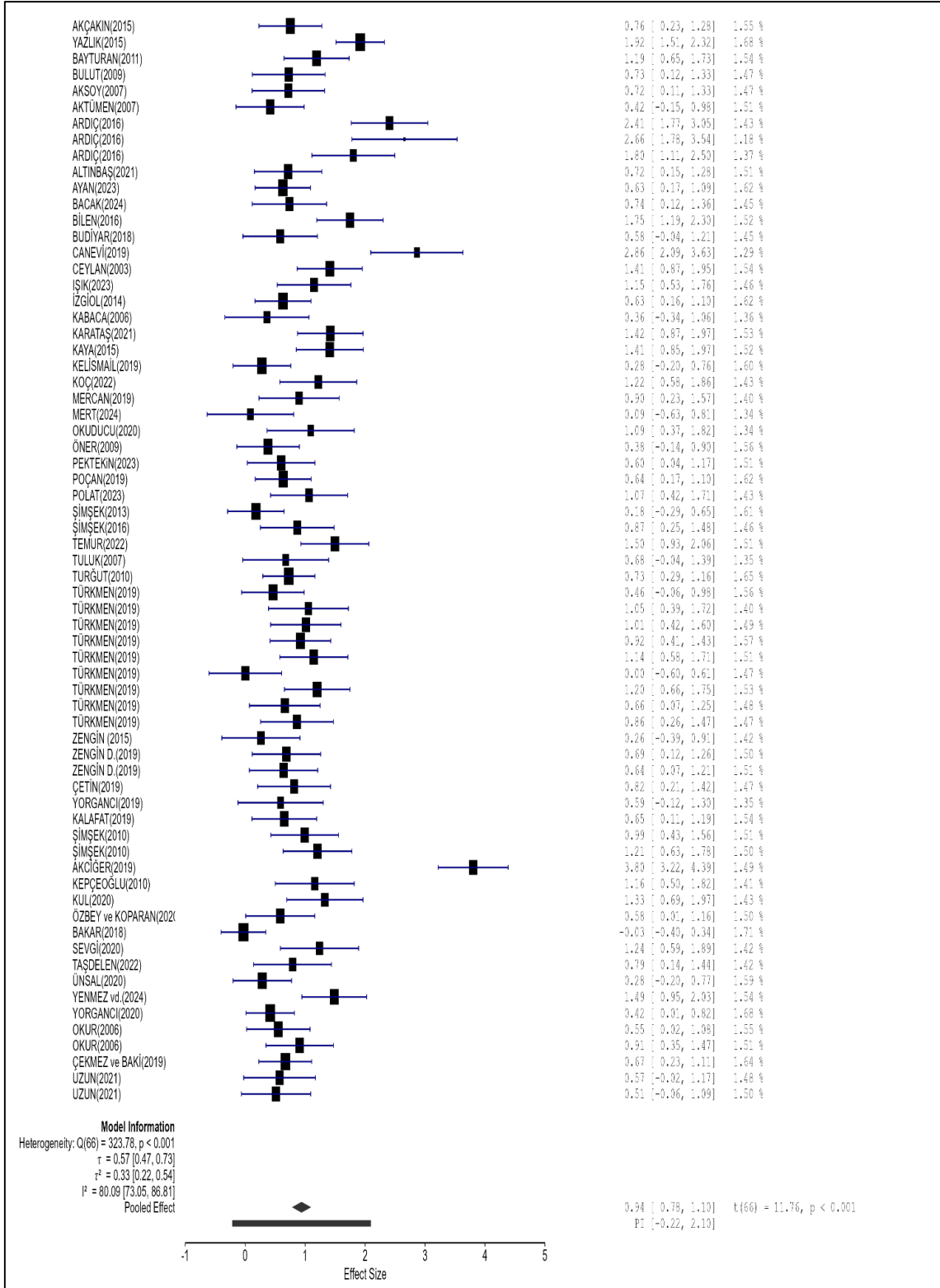
Bağımlı Değişken	Heterojenlik İstatistikleri						Tahmin Aralığı (%95)	
	Q-değeri	df(Q)	p	τ	τ^2	I^2	Alt Sınır	Üst Sınır
Başarı	323.78	66	<0.001	0.574	0.330	80.092	-0.217	2.098

Tablo 7 incelendiğinde, meta-analize dâhil edilen 67 etki büyüklüğü için hesaplanan heterojenlik testi sonuçları, $Q(66) = 323.78$, $p < .001$ bulunmuştur. Bu sonuç, etki büyüklükleri arasında anlamlı düzeyde farklılık olduğunu göstermektedir. Heterojenlik katsayıları da bunu desteklemektedir. Heterojenlik düzeyini gösteren I^2 değeri %80.09 olup, %75’in üzerinde bir değer olduğu için yüksek düzeyde heterojenliğin olduğu söylenebilir (Borenstein vd., 2009). Bu durum toplam varyansın büyük bir kısmının çalışmalardaki farklılıklardan kaynaklandığını göstermektedir (Cochran, 1954; Higgins ve Thompson, 2002). Tau-kare (τ^2) değeri 0.330 olup etki büyüklüğü dağılımında yüksek heterojenlik olduğunu göstermektedir. Tau (τ) değeri 0.574 olup etki büyüklüğü dağılımının oldukça geniş bir dağılım gösterdiği söylenebilir. Bu bulgular doğrultusunda,

meta-analiz için rastgele etkiler modeli kullanılması uygun görülmüştür. Bu meta analizde rastgele etkiler modeline göre %95 tahmin aralığında alt sınır -0.217 ve üst sınır 2.098 olarak hesaplanmıştır. Bu sonuç, gelecekte yapılacak benzer çalışmaların etki büyüklüğünün küçük düzeyde negatif bir etkiden çok yüksek düzeyde pozitif bir etkiye kadar geniş bir dağılım gösterebileceğini ortaya koymaktadır. Tahmin aralığının geniş olması, çalışmalar arasında yüksek düzeyde heterojenlik bulunduğunu ve etkinin bağlamsal değişkenlere göre önemli ölçüde farklılaşabileceğini göstermektedir.

Teknoloji destekli öğretimin cebir öğrenme alanında başarıya etkisini gösteren etki büyüklüğü değerlerinin dağılımını inceleyebilmek amacıyla orman grafiği çizdirilmiştir. Orman grafiği JASP programında oluşturulup şekil 4. 1’de sunulmuştur.





Şekil 4. 1 Başarı için orman grafiği

Şekil 4. 1'deki orman grafiği incelendiğinde, meta analize dâhil edilen çalışmaların büyük çoğunluğunun etki büyüklüklerinin pozitif yönde olduğu görülmektedir. Kare biçimindeki işaretler her bir çalışmanın etki büyüklüğünü göstermekte olup, karelerin

büyüklikleri çalışmaların meta analizdeki ağırlıklarını yansıtmaktadır. Karenin büyüklüğü ile çalışmanın ağırlıklandırılması doğru orantılıdır. Örneklem büyüklüğü daha yüksek olan çalışmaların kareleri daha büyük görünmektedir. Çalışmaların etrafındaki yatay çizgiler %95 güven aralıklarını temsil etmektedir. Grafikteki elmas şekli ise birleştirilmiş etki (pooled effect) değerini 0'a göre konumlandırmaktadır. Bu grafikte elmas şekli sıfırın sağında yer almaktadır. Bu bulgu, teknoloji destekli öğretimin cebir öğrenme alanındaki akademik başarı üzerinde genel olarak anlamlı ve pozitif bir etki yarattığını göstermektedir. Ayrıca orman grafiğinde görüldüğü gibi en büyük etki büyüklüğü değeri Akciğer (2019)'a ait olup, 3.80 (95% CI [3.22, 4.39]) olarak hesaplanmıştır. En düşük etki büyüklüğü değeri Bakar (2018)' e ait olup -0.03 (95% CI [-0.40, 0.34]) olarak hesaplanmıştır. Dolayısıyla orman grafiğinde de çalışmaların heterojenlik gösterdiği görülmektedir. Heterojenlik testi sonuçları ($Q(66) = 323.73$, $p < .001$) çalışmalar arasında anlamlı şekilde farklılıkların olduğunu göstermektedir.

Sonuç olarak orman grafiği, çalışmaların çoğunda pozitif etkinin görüldüğünü, birleştirilmiş etki büyüklüğünün anlamlı olduğunu ve teknoloji destekli öğretimin cebir öğrenme alanında başarıyı artırdığını göstermektedir.

4.1.4 Hassasiyet analizi

Bu araştırmada meta analiz sonuçlarının duyarlılığını değerlendirmek amacıyla, hassasiyet analizi yapılmıştır. Bu kapsamda JASP yazılımında birini çıkar (leave-one-out) yöntemi uygulanmıştır. Meta-analizde çalışmalara ilişkin standartlaştırılmış kalıntı, DFFITS ve Cook mesafesi ölçütleri incelenmiş ve analize dâhil edilen çalışmalardan Akciğer (2019) çalışması uç değer olarak belirlenmiştir. Çalışmaya ait istatistik bilgileri tablo 8' de sunulmuştur.

Tablo 8 Uç değer analizi

Çalışma adı	Standartlaştırılmış kalıntı	DFFITS	Cook mesafesi	Birini çıkar						
				Kovaryans oranı	τ	τ^2	Q_e	Hat	Weight	Uç değer
AKCİĞER (2019)	5.246	0.726	0.373	0.716	0.449	0.202	227.1	0.015	1.491	evet

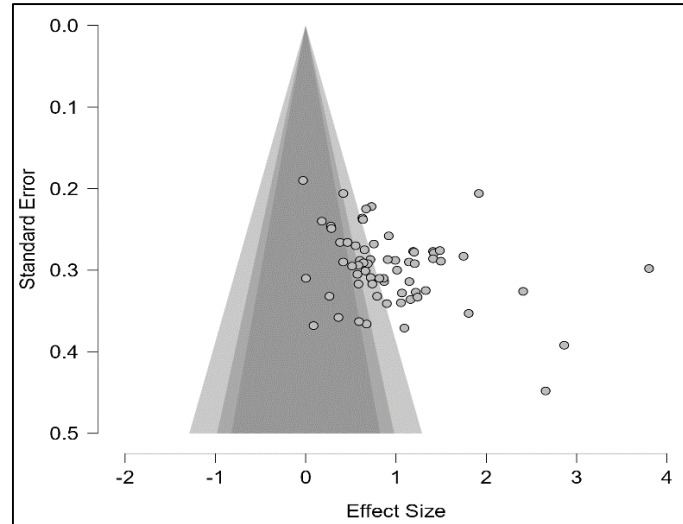
Tablo 8'deki bulgular incelendiğinde, Akciğer (2019) çalışması uç değer olarak tespit edilmiştir. Bu çalışma çıkarılarak analizler yeniden yapılmış ve meta analize etkisi değerlendirilmiştir. Çalışma analizde yer aldığı genel etki büyüklüğü $g = 0.940$, heterojenlik düzeyi ise $I^2 = 80.092$ (%80.092) olarak hesaplanmıştır. Akciğer (2019)

çalışması meta-analizden çıkarıldığında ise genel etki büyüklüğü $g = 0.891$ değerine; heterojenlik ise $I^2 = 71.111$ (%71.111) değerine düşmüştür. Q-değeri ise 323.78 değerinden 227.09 değerine düştüğü ve bir azalmanın meydana geldiği belirlenmiştir. Ancak literatürde yalnızca istatistiksel uç değer özelliklerinin bir çalışmanın meta analizden çıkarılması için yeterli olmadığı belirtilmektedir (Elvik, 2005; Mathur vd., 2020). Çalışmanın yöntemsel bir hatası bulunmaması ve çıkarılması durumunda genel etki ve heterojenlik değerlerinde anlamlı bir değişim gözlenmemesi nedeniyle, Akciğer (2019) çalışmasının meta analizde korunması uygun görülmüştür. Bu yaklaşım, uç değerlerin ancak ciddi metodolojik sorunlar taşıdığına dışlanması gerektiğini vurgulayan araştırmalarla uyumludur (Borenstein vd., 2009). Dolayısıyla Akciğer (2019) çalışması veri setine dâhil edilip analizlere devam edilmiştir.

4.1.5 Yayın yanlılığı

Bu araştırmada yayın yanlılığının analizinde huni grafiği, Egger'in doğrusal regresyon testi, Rosenthal'ın güvenli N (fail-safe N-FSN) yöntemi, ve Duval ve Tweedie'nin Kes ve Ekle (Trim and Fill) yöntemleri kullanılmıştır. Öncelikle JASP yazılımında Funnel Plot kısmından çalışmaların huni grafiğindeki dağılımı incelenmiştir. Huni grafiği şekil 4. 2'de sunulmuştur.

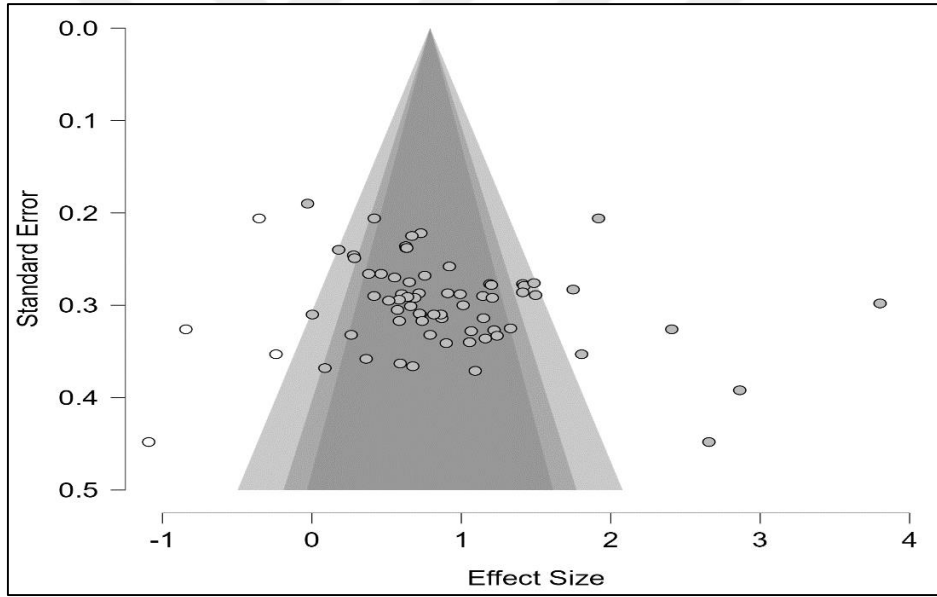
Huni grafiği (Funnel Plot)



Şekil 4. 2 Başarı için huni grafiği

Şekil 4. 2'deki huni grafiğinde yatay eksen etki büyüklüğü (effect size) değerini, dikey eksen ise standart hata (standart error) değerini belirtmektedir. Huni grafiği incelendiğinde etki büyüklüğü değerlerinin asimetric bir dağılım sergilediği

görülmektedir. Bu durum yayın yanlılığı olasılığına işaret etmektedir. Olası yayın yanlılığının istatistiksel olarak doğrulanması için Egger regresyon testleri uygulanmıştır. İlk olarak yapılan Huni Grafiği Asimetrisi için Meta-Regresyon Testi sonucunda asimetri katsayısı anlamlı bulunmuştur ($z = 2.677$, $p = .007$). Bu bulgu, huni grafiğinde gözlenen asimetrinin tesadüfi olmadığını ve yayın yanlılığı olabileceğini göstermektedir. Benzer şekilde, Huni Grafiği Asimetrisi için Ağırlıklı Regresyon Testi de anlamlı bir sonuç vermiştir ($t(65) = 2.570$, $p = .012$). Bu iki testte elde edilen anlamlı p değerleri, küçük örneklemli çalışmaların daha yüksek etki büyüklüğü bildirme eğiliminde olabileceğini ve veri setinde olası yayın yanlılığının bulunduğunu göstermektedir. Sonuç olarak, hem görsel inceleme hem de Egger testi sonuçları meta-analizde yayın yanlılığı ihtimalini desteklemektedir. Bu kapsamda yayın yanlılığı ihtimaline karşı ve yayın yanlılığını düzeltmek amacıyla Duval ve Tweedie'nin kırıp ve ekle yöntemi de kullanılmıştır. Düzeltilmiş etki büyüklüğüne ait huni grafiği şekil 4. 3'te sunulmuştur.



Şekil 4. 3 Başarı içi düzeltilmiş huni grafiği

Şekil 4. 3'te başarı değişkenine ilişkin meta-analiz çalışmasında yayın yanlılığını değerlendirmek amacıyla oluşturulan düzeltilmiş huni grafiği yer almaktadır. Grafik incelendiğinde çalışmaların huni içerisinde tam olarak simetrik dağılmadığı, özellikle küçük örneklemli çalışmaların sağ tarafa doğru yoğunlaştığı görülmektedir. kes ve ekle yöntemi uygulanarak eksik olduğu tahmin edilen çalışmalar grafiğe eklenmiş ve böylece olası yayın yanlılığı etkisi azaltılmıştır. Kes ve ekle yöntemi sonucunda oluşan tahminler tablo 9'da sunulmuştur.

Tablo 9 Kes ve ekle parametre tahminleri

Etki büyüklüğü sayısı	Eksik Tahminler	p	Düzeltilmiş etki büyüklüğü	Ayarlanmış Tahmin μ (%95)	
				Alt sınır	Üst sınır
67	6	0.008	0.791	0.599	0.983

Bu araştırmada meta-analize dâhil edilen 67 çalışmanın birleştirilmiş etki büyüklüğü 0,940 olarak hesaplanmıştır. Bu değer, teknoloji destekli öğretimin öğrencilerin akademik başarıları üzerinde yüksek düzeyde ve istatistiksel olarak anlamlı bir etki oluşturduğunu göstermektedir ($p < ,001$). Bununla birlikte Tablo 9 incelendiğinde kes ve ekle yöntemi sonucunda veri setinde 6 eksik çalışmanın bulunduğu belirlenmiş ve bu çalışmalar modele eklendiğinde düzeltilmiş etki büyüklüğü 0,791'e düşmüştür. Bu değer için %95 güven aralığı 0,599 ile 0,983 arasında değişmekte olup sonuç istatistiksel olarak anlamlıdır ($p < ,008$). Etki büyüklüğündeki bu azalma, yayın yanlılığının birleştirilmiş etki büyüklüğünü bir miktar artırmış olabileceğini göstermektedir. Ancak düzeltilmiş etki büyüklüğünün hâlâ anlamlı ve yüksek düzeyde olması, teknoloji destekli öğretimin cebir öğrenme alanında başarı üzerindeki olumlu etkisinin yayın yanlılığı hesaba katıldığında dahi geçerliliğini koruduğunu ortaya koymaktadır.

Son olarak olası yayın yanlılığına karşı Rosenthal'ın güvenli N (fail-safe N-FSN) yöntemi de kullanılmıştır. Meta-analize dâhil edilen çalışmalardan elde edilen 67 etki büyüklüğü sonucunun anlamlılığını ortadan kaldırabilmek için 16758 ek çalışmanın "etkisiz" sonuç vermesi gerektiği belirlenmiştir. Bu değer, meta-analiz bulgusunun oldukça güçlü olduğunu ve anlamlı etkiyi bozabilmek için çok yüksek sayıda etkisiz çalışmanın bulunması gerektiğini göstermektedir. Dolayısıyla meta-analizde olası yayın yanlılığına rağmen, elde edilen bulgunun dayanıklı olduğu ve sonuçların tesadüfi olarak oluşmadığı söylenebilir. Bu durum, teknoloji destekli öğretimin cebir öğrenme alanında başarı üzerindeki etkisinin güçlü biçimde desteklendiğini göstermektedir.

4.1.6 Moderatör analizleri

Bu araştırmada belirlenen her bir moderatör değişken için JASP yazılımında basit meta regresyon analizleri yapılmıştır. Öncelikle sürekli değişkenlerin (örneklem büyüklüğü, uygulama süresi) doğrusallık sayıltısını sağlayıp sağlamadığı kontrol edilmiştir. Doğrusallık sayıltısı kontrolü için Visual Modeling kısmında grafikler çizdirilmiştir. Bütün sürekli değişkenlerin doğrusallık sayıltısını sağlamadığı görülmüştür. Dolayısıyla sürekli değişkenler kategorik değişkenlere dönüştürülmüştür. Belirlenen moderatörler

literatüre uygun biçimde alt gruplara ayrılmıştır. Uygun gruplandırmalar yapıldıktan sonra JASP yazılımında Restricted ML yöntemiyle moderatör analizleri yapılmıştır. Moderatör değişkenlerin etki büyüklüğü farklılıklarının anlamlılığı F istatistiği, heterojenlik Q- değeri ve etki büyüklüğü değişkenliğinin miktarı yüzde olarak R^2 değeri ile hesaplanmıştır. R^2 değeri, Cohen'in (1988) R^2 etki büyüklüğü sınıflandırmasına göre yorumlanmıştır. R^2 değerinin yaklaşık %1'lik kısmı küçük, %9'u orta ve %25'i büyük etki olarak yorumlanmaktadır. Moderatörlere ait analiz sonuçları tablo 10'da sunulmuştur.

Tablo 10 Başarı için moderatör değişkenlere ait basit meta regresyon sonuçları

Güven aralığı (%95)											
Moderatör değişken	Alt gruplar	Çalışma sayısı	Etki büyüklüğü değeri	Standart hata	Alt sınır	Üst sınır	F	p	R^2 (%)	Q-değeri	p
Çalışmanın yapıldığı yıl	Erken dönem	15	0,773	0,168	0,437	1,109	1,16	0,321	0,00	318,72	<,001
	Orta dönem	18	1,116	0,228	0,808	1,423					
	Yeni dönem	34	0,922	0,202	0,698	1,146					
Öğretim kademesi	İlköğretim	31	0,794	0,107	0,579	1,008	7,39	0,001	18,36	283,69	<,001
	Ortaöğretim	18	1,400	0,177	1,118	1,682					
	Yükseköğretim	18	0,728	0,177	0,447	1,008					
Alt öğrenme Alanı	Cebirsel düşünme	15	0,805	0,167	0,471	1,139	1,49	0,225	1,08	312,64	<,001
	Denklemler ve eşitsizlikler	19	0,873	0,223	0,578	1,168					
	Fonksiyon ve grafikler	15	1,253	0,238	0,915	1,591					
	İleri cebir	18	0,871	0,226	0,568	1,174					
Öğretim teknolojisi türü	Dinamik matematik yazılımları	34	1,021	0,113	0,794	1,247	0,56	0,575	0,00	321,87	<,001
	Web tabanlı teknolojiler	27	0,877	0,170	0,624	1,130					
	Dijital içerik platformları	6	0,780	0,290	0,247	1,312					
Uygulama Süresi	Kısa süreli	6	1,162	0,271	0,620	1,704	0,45	0,637	0,00	316,10	<,001
	Orta süreli	36	0,889	0,293	0,668	1,110					
	Uzun süreli	25	0,961	0,301	0,700	1,222					
Örneklem büyüklüğü	Küçük	34	0,824	0,364	0,604	1,044	3,71	0,030	8,77	305,15	<,001
	Orta	30	0,968	0,365	0,743	1,193					
	Büyük	3	1,806	0,347	1,114	2,499					
Çalışmayı Uygulayan	Öğretmen	33	1,065	0,158	0,840	1,290	2,42	0,125	2,37	311,89	<,001
	Araştırmacı	34	0,819	0,111	0,597	1,041					
Ölçüm aracı	Hazır	12	0,928	0,210	0,549	1,308	0,00	0,944	0,00	323,77	<,001
	Araştırmacı	55	0,943	0,089	0,765	1,121					

Tablo 10' da meta analiz kapsamında belirlenen moderatör değişkenlerin analiz sonuçları yer almaktadır. Analiz sonuçları başlıklar halinde açıklanmıştır.

Çalışmanın Yapıldığı Yıl: Araştırmaya dâhil edilen çalışmalar çalışmanın uygulandığı eğitim öğretim yıl teknolojideki gelişimler baz alınarak erken dönem, orta dönem ve yeni dönem olmak üzere üç alt gruba ayrılmıştır. Alt gruplara ait etki büyüklükleri incelendiğinde, erken dönemde yer alan 15 çalışmanın etki büyüklüğü $g = 0.773$, orta dönemdeki 18 çalışmada bu değer $g = 1.116$, yeni dönemdeki 34 çalışmada ise $g = 0.922$ olarak hesaplanmıştır. Çalışmanın yılı moderatörü analizinde $F=1,16$ ve $p=0,321$ olarak hesaplanmıştır. Bulgular, yıl değişkeninin etki büyüklüklerinde anlamlı bir farklılık oluşturmadığını göstermektedir.

Öğretim kademesi: Bu moderatör ilköğretim, ortaöğretim ve yükseköğretim olmak üzere üç alt gruba ayrılmıştır. İlköğretim düzeyinde yer alan 31 çalışmanın etki büyüklüğü $g=0,794$, ortaöğretim düzeyinde yer alan 18 çalışmanın etki büyüklüğü $g=1,400$ ve yükseköğretim düzeyinde yer alan 18 çalışmanın etki büyüklüğü $g=0,728$ olarak hesaplanmıştır. Öğretim kademesi moderatörü analizinde $F=7,3$ ve $p=0,001$ olup $R^2=\%18,36$ olarak hesaplanmıştır. Bu bulgular, öğretim kademesi moderatörünün etki büyüklüklerini anlamlı şekilde farklılaştırdığını göstermektedir. R^2 değeri ise Cohen'in (1988) sınıflandırmasına göre yüksek düzeyde olduğu söylenebilir.

Alt Öğrenme Alanı: Bu moderatör, cebirsel düşünme, denklemler ve eşitsizlikler, fonksiyon ve grafikler, ileri cebir olmak üzere dört alt gruba ayrılmıştır. Cebirsel düşünme alt grubunda yer alan 15 çalışmanın etki büyüklüğü $g=0,805$, denklemler ve eşitsizlikler alt grubunda yer alan 19 çalışmanın etki büyüklüğü $g=0,873$, fonksiyon ve grafikler alt grubunda yer alan 15 çalışmanın etki büyüklüğü $g=1,253$ ve ileri cebir alt grubunda yer alan 18 çalışmanın etki büyüklüğü $g=0,871$ olarak hesaplanmıştır. Analizde $F=1,49$, $p=0,225$ ve $R^2=\%1,08$ sonuçları bulunmuştur. Bulgular alt öğrenme alanlarının etkiyi anlamlı şekilde farklılaştırmadığını göstermektedir. R^2 değeri ise heterojenliğin küçük bir kısmını açıklamaktadır.

Öğretim Teknolojisi Türü: bu moderatör dinamik matematik yazılımları, web tabanlı teknolojiler ve dijital içerik platformları olmak üzere üç alt gruba ayrılmıştır. dinamik matematik yazılımları alt grubunda yer alan 34 çalışmanın etki büyüklüğü $g=1,021$, web tabanlı teknolojiler alt grubunda yer alan 27 çalışmanın etki büyüklüğü $g=0,877$ ve dijital

içerik platformları alt grubunda yer alan 6 çalışmanın etki büyüklüğü $g=0,780$ olarak hesaplanmıştır. Analizde $F=0,56$, $p=0,575$ olup anlamlı bir fark bulunmamıştır.

Uygulama Süresi: Uygulama süresi kısa, orta ve uzun süreli olmak üzere üç alt gruba ayrılmıştır. Kısa süreli 6 çalışmanın etki büyüklüğü $g=1,162$, orta süreli 36 çalışmanın etki büyüklüğü $g=0,889$ ve uzun süreli 25 çalışmanın etki büyüklüğü $g=0,961$ olarak raporlanmıştır. Analizde $F=0,45$, $p=0,637$ olup istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmamıştır.

Örneklem Büyüklüğü: Örneklem büyüklüğü küçük, orta ve büyük olmak üzere üç alt gruba ayrılmıştır. Küçük örneklemli 34 çalışmanın etki büyüklüğü $g=0,824$, orta örneklemli 30 çalışmanın etki büyüklüğü $g=0,968$ ve büyük örneklemli 3 çalışmanın etki büyüklüğü $g=1,806$ olarak hesaplanmıştır. Analizde $F=3,71$, $p=0,30$ ve $R^2=0,877$ bulgularına ulaşılmıştır. Bulgular örneklem büyüklüğünün etki büyüklüğünü istatistiksel olarak anlamlı şekilde farklılaştırdığını ve R^2 değerinin ise orta düzeyde heterojenliği açıkladığını göstermektedir.

Çalışmayı Uygulayan Kişi: Çalışmayı uygulayan kişi öğretmen ve araştırmacı olmak üzere iki alt grubu ayrılmıştır. Uygulayıcısı öğretmen olan 33 çalışmanın etki büyüklüğü $g=1,065$ ve araştırmacı tarafından uygulanan 34 çalışmanın etki büyüklüğü $g=0,819$ olarak hesaplanmıştır. Analizde $F=2,42$; $p=0,125$ ve $R^2=0,237$ sonuçları elde edilmiştir. Sonuçlara göre istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunamamıştır. R^2 değeri ise heterojenliğin küçük bir kısmını açıklamaktadır.

Ölçüm Aracı: Bu moderatör değişken, hazır ölçek ve araştırmacı tarafından geliştirilen ölçek olmak üzere iki alt gruba ayrılmıştır. Hazır ölçekli 12 çalışmanın etki büyüklüğü $g=0,928$ araştırmacı tarafından geliştirilen ölçekli 55 çalışmanın etki büyüklüğü $g=0,943$ olarak hesaplanmıştır. Analizde $F=0,00$; $p=0,944$ olup hazır ölçek ve araştırmacının geliştirdiği ölçek kullanımı arasında anlamlı bir fark bulunmamıştır.

Özetle tüm moderatörlerin Q-değeri büyük ve istatistiksel olarak anlamlıdır ($p<0,001$). Bu durum etki büyüklüklerinin heterojen olduğunu göstermektedir. Öğretim kademesi ve örneklem büyüklüğü moderatörleri etki büyüklüklerindeki farklılığı anlamlı bir şekilde açıklamaktadır. Diğer moderatörlerde etki büyüklükleri farklılaşsa da istatistiksel olarak anlamlı değildir. Ayrıca moderatörler toplam varyansın bir kısmını açıklamaktadır.

4.2 Meta Analiz 2'ye (Duyuşsal) Ait Bulgular

Çalışmaların genel (betimsel) özellikleri, etki büyüklüğü analizi, heterojenlik analizi, hassasiyet analizi, yayın yanlılığı ve moderatör değişkenlerin analizi olmak üzere sırasıyla aşağıda sunulmuştur.

4.2.1 Çalışmaların genel (betimsel) özellikleri

Teknoloji destekli öğretimin cebir öğrenme alanında mevcut öğretim yöntemine kıyasla cebir/matematiciğe yönelik tutumları üzerindeki genel etkisini belirlemek amacıyla yapılan meta analiz 2 çalışmasına toplam 29 birincil çalışma dâhil edilip çalışmaların genel özellikleri tablo 11' de sunulmuştur. Birden fazla deney grubu bulunan çalışmaların toplam katılımcı sayısı hesaplanarak örneklem büyüklüğü yazılmıştır.

Tablo 11 Araştırmaya dâhil edilen çalışmaların genel özellikleri

Çalışmanın Kodu	Yayın Adı	Çalışma Türü	Eğitim öğretim Yılı	Eğitim Kademesi	Örneklem Büyüklüğü
1	AKÇAKIN(2015)	Doktora Tezi	2014	Ortaöğretim	58
2	BAYTURAN(2011)	Yüksek Lisans Tezi	2009	Ortaöğretim	60
3	BULUT(2009)	Doktora Tezi	2006	Yükseköğretim	43
4	AKSOY(2007)	Doktora Tezi	2006	Yükseköğretim	43
5	AKTÜMEN(2007)	Doktora Tezi	2006	Yükseköğretim	47
6	ALTINBAŞ(2021)	Doktora Tezi	2019	Yükseköğretim	52
7	BACAK(2024)	Yüksek Lisans Tezi	2023	İlköğretim	41
8	BİLEN(2016)	Doktora Tezi	2015	Ortaöğretim	136
9	CANEVİ(2019)	Yüksek Lisans Tezi	2017	Ortaöğretim	52
10	İŞİK(2023)	Yüksek Lisans Tezi	2023	İlköğretim	46
11	İZGİOL(2014)	Yüksek Lisans Tezi	2013	Yükseköğretim	73
12	KABACA(2006)	Doktora Tezi	2005	Yükseköğretim	30
13	KAYA(2015)	Doktora Tezi	2014	İlköğretim	60
14	KELİSMAİL(2019)	Yüksek Lisans Tezi	2017	İlköğretim	64
15	MERT(2024)	Yüksek Lisans Tezi	2022	İlköğretim	28
16	OKUDUCU(2020)	Yüksek Lisans Tezi	2020	İlköğretim	32
17	ÖNER(2009)	Yüksek Lisans Tezi	2008	İlköğretim	56
18	PEKTEKİN(2023)	Yüksek Lisans Tezi	2022	İlköğretim	49
19	POLAT(2023)	Yüksek Lisans Tezi	2022	İlköğretim	41
20	ŞİMŞEK(2013)	Yüksek Lisans Tezi	2012	Ortaöğretim	68
21	ŞİMŞEK(2016)	Yüksek Lisans Tezi	2015	Yükseköğretim	43
22	TEMUR(2022)	Yüksek Lisans Tezi	2021	İlköğretim	60
23	TULUK(2007)	Doktora Tezi	2006	Yükseköğretim	30
24	YORGANCI(2019)	Makale	2019	Yükseköğretim	30
25	KUL(2020)	Yüksek Lisans Tezi	2019	Ortaöğretim	45
26	ÖZBEY(2020)	Makale	2019	İlköğretim	47
27	BAKAR(2018)	Yüksek Lisans Tezi	2017	Ortaöğretim	109
28	YENMEZ vd.(2024)	Makale	2020	Ortaöğretim	66
29	TOPÇU(2011)	Makale	2009	Ortaöğretim	82

Tablo 11 incelendiğinde, çalışmaların 9' u doktora tezi, 16'sı yüksek lisans tezi, 4 tanesinin makale türünde ve yüksek lisans türünde daha çok olduğu görülmektedir. Çalışmaların 11 tanesi ilköğretim, 9 tanesi ortaöğretim, 9 tanesi ise yükseköğretim düzeyindeki öğrencilerle yapılmıştır. Çalışmaların ilköğretim seviyesindeki öğrencilerle daha çok yapıldığı görülmektedir. Toplam örneklem büyüklüğü ise 1591 katılımcıdan oluşmaktadır.

4.2.2 Etki büyüklüğü analizi

Teknoloji destekli öğretimin cebir öğrenme alanında cebire/matematiğe yönelik tutuma etkisini tespit etmek amacıyla yürütülen bu meta analizde rastgele etkiler modeli kullanılarak genel etki büyüklüğü analizi JASP yazılımında hesaplanmıştır. Meta analize dâhil edilen 29 çalışmadan 30 etki büyüklüğü değeri elde edilmiştir. Genel etki büyüklüğü değerine ait analiz sonuçları tablo 12'de sunulmuştur.

Tablo 12 Genel etki büyüklüğü sonuçları

Etki büyüklüğü	Standart hata (SE)	t	df	p	%95 Güven Aralığı	
					Alt sınır	Üst sınır
0,260	0,076	3,44	29	< ,002	0,105	0,415

Tablo 12'de görüldüğü gibi meta analize dâhil edilen 30 etki büyüklüğünün birleştirilmiş etki büyüklüğü değeri $g=0,260$ olarak hesaplanmıştır. Bu değer, Thalheimer ve Cook'un (2002) sınıflandırmasına göre küçük düzeyde bir etkiye karşılık gelmektedir. Genel etki büyüklüğü küçük düzeyde bir değer olsa da pozitif yönlü bir etkiye sahip olduğu görülmektedir. Ayrıca etki büyüklüğüne ait standart hata ($SE = 0,076$) ve t istatistiği ($t = 3,44$) incelendiğinde, etkinin istatistiksel olarak anlamlı olduğu görülmektedir ($p < ,002$). Analize ilişkin %95 güven aralığının $[0,105; 0,415]$ arasında yer alması gerçek etkinin pozitif yönde olduğu ve sıfır değerini içermediğini göstermektedir.

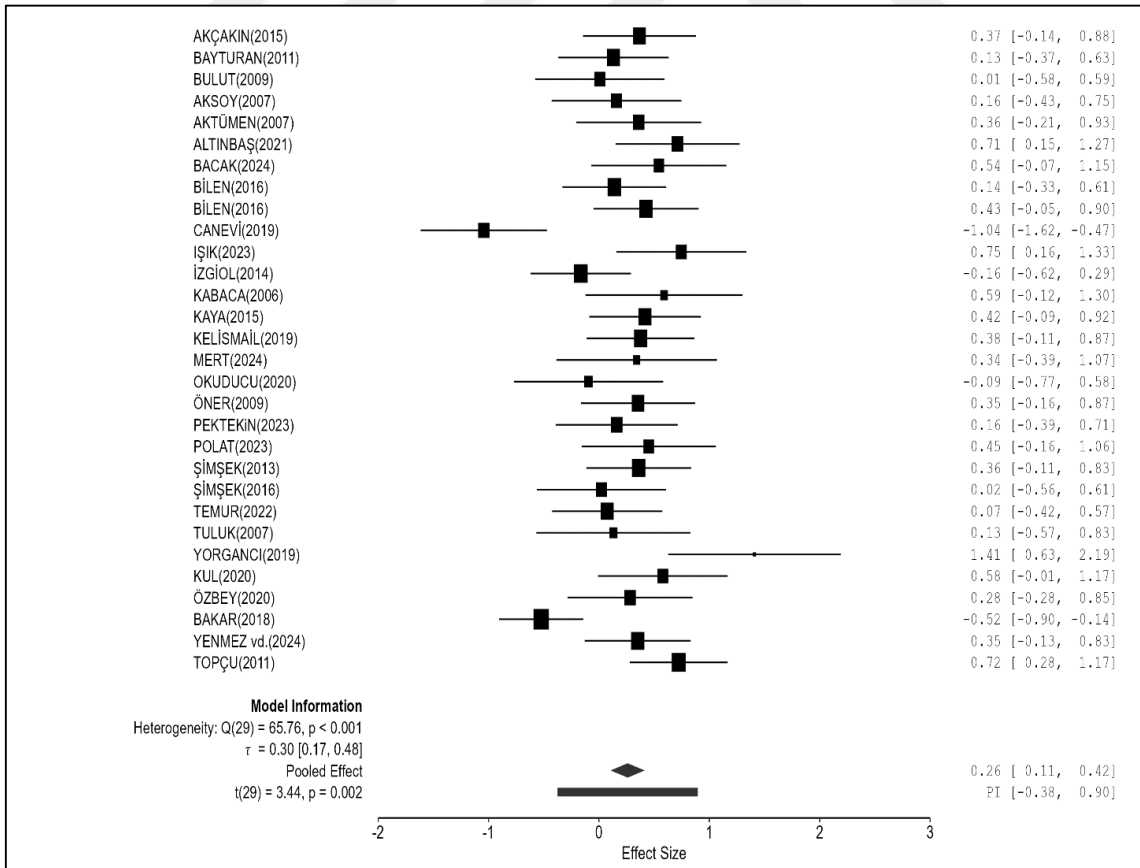
4.2.3 Heterojenlik analizi

Bu araştırmada heterojenlik düzeyini belirlemek için Q testi, I^2 , τ^2 ve τ istatistiklerinden yararlanılmıştır. Çalışmaların heterojenlik analizi sonuçları tablo 13'te sunulmuştur.

Tablo 13 Bağımlı değişken tutum için heterojenlik testi sonuçları

Bağımlı Değişken	Heterojenlik İstatistikleri						Tahmin Aralığı (%95)	
	Q-değeri	df(Q)	p	τ	τ^2	I^2	Alt Sınır	Üst Sınır
Tutum	65,76	29	<0,001	0,302	0,091	54,58	-0,376	0,896

Tablo 13 incelendiğinde, meta-analize dâhil edilen 30 etki büyüklüğü için hesaplanan heterojenlik testi sonuçları, $Q(29) = 65,76$ ve $p < 0,001$ bulunmuştur. Bu sonuç, etki büyüklükleri arasında anlamlı düzeyde farklılık olduğunu göstermektedir. Buna ek olarak hesaplanan $I^2=54,58$ değeri toplam varyansın yarısından fazlasının (yaklaşık %55) gerçek farklılıklardan kaynaklandığını ve orta düzey heterojenlik olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte Tau-kare (τ^2) değeri 0,091 ve Tau (τ) değeri 0,302 olup etki büyüklüğü dağılımında belirli bir genişliğe sahip olduğunu belirtmektedir. Rastgele etkiler modeline göre %95 tahmin aralığı alt sınır -0,376 ve üst sınır 0,896 arasında değişmektedir. Tahmin aralığı gelecekte yapılacak çalışmaların sonuçlarının oldukça değişken olabileceğini ve etkinin yönünün bile değişebileceğine işaret etmektedir. Tahmin aralığı heterojenliğin olduğunu göstermektedir. Bu bulgular doğrultusunda, etki büyüklüklerindeki değişkenliğin hangi çalışma özelliklerinden kaynaklandığını belirlemek amacıyla moderatör değişkenlere dayalı ek analizlerin yapılması gerekli görülmüştür. Ayrıca teknoloji destekli öğretimin cebir öğrenme alanında tutuma etkisini gösteren etki büyüklüğü değerlerinin dağılımını inceleyebilmek amacıyla orman grafiği çizdirilmiştir. Orman grafiği JASP programında oluşturulup şekil 4. 4'te sunulmuştur.



Şekil 4. 4 Tutum için orman grafiği

Şekil 4. 4'teki orman grafiği incelendiğinde, çalışmaların etki büyüklüklerinin büyük bir kısmı pozitif yönde olmakla birlikte, bazı çalışmaların etki büyüklüklerinin negatif yönde veya sifıra yakın olduğu görülmektedir. Bu durum teknoloji destekli öğretimin tutuma etkisinin çalışmadan çalışmaya değişiklik gösterdiğini belirtmektedir. Şekildeki diğer bulgular incelendiğinde, en büyük etki büyüklüğü değeri Yorgancı (2019)'a ait olup, 1,41 (95% CI [0,63, 2,19]) olarak hesaplanmıştır. En düşük etki büyüklüğü değeri Canevi (2019)'a ait olup -1,04 (95% CI [-4,40, -3,15]) olarak hesaplanmıştır. Dolayısıyla orman grafiğinde de çalışmaların heterojenlik gösterdiği görülmektedir. Heterojenlik testi sonuçları ($Q(29) = 65,76$; $p < 0,001$) çalışmalar arasında anlamlı şekilde farklılıkların olduğunu göstermektedir.

4.2.4 Hassasiyet analizi

Bu araştırmada meta analiz sonuçlarının duyarlılığını değerlendirmek amacıyla, hassasiyet analizi yapılmıştır. Bu kapsamda JASP yazılımında birini çıkar (leave-one-out) yöntemi uygulanmıştır. Meta-analizde çalışmalara ilişkin standartlaştırılmış kalıntı, DFFITS ve Cook mesafesi ölçütleri incelenmiş ve analize dâhil edilen çalışmalardan Canevi (2019) çalışması uç değer olarak belirlenmiştir. Çalışmaya ait istatistik bilgileri tablo 14' te sunulmuştur.

Tablo 14 Uç değer analizi

Birini çıkar										
Çalışma adı	Standartlaştırılmış kalıntı	DFFIT S	Cook Mesafesi	Kovaryans oranı	τ	τ^2	Q_c	Hat	Weigh t	Uç değer
CANEVİ (2019)	-3,737	-0,570	0,228	0,708	0,218	0,048	45,97	0,032	3,225	Evet

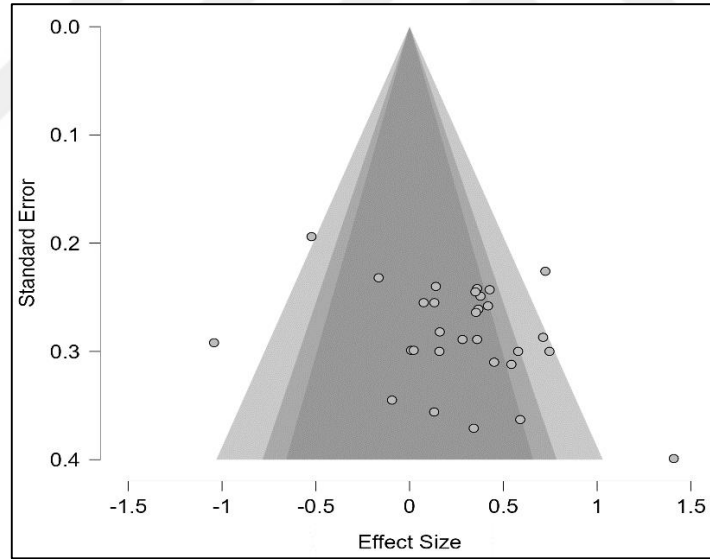
Tablo 14'teki bulgular incelendiğinde, Canevi(2019) çalışması uç değer olarak tespit edilmiştir. Bu çalışma çıkarılarak analizler yeniden yapılmış ve meta analize etkisi değerlendirilmiştir. Çalışma analizde yer aldığı genel etki büyüklüğü $g = 0,260$, Q-değeri $Q(29)=65,76$, heterojenlik düzeyi ise $I^2 = 54,581$ (%54,581) ve Tau-kare değeri $\tau^2=0,091$ olarak hesaplanmıştır. Çalışma analizden çıkarıldığında ise etki büyüklüğü $g = 0,296$, Q- değeri $Q(28)=45,97$ heterojenlik düzeyi ise $I^2 = 38,724$ (%38,724) ve Tau-kare değeri $\tau^2=0,048$ olarak hesaplanmıştır. Literatürde meta analizde uç değerlerin yalnızca istatistiksel olarak aykırı görünmeleri gerekçesiyle bir çalışmanın meta analizden çıkarılmasının uygun olmadığı belirtilmektedir. Bir çalışmanın uç değer olarak dışlanabilmesi için, araştırmada kullanılan yöntemlerin diğer çalışmalardan anlamlı

biçimde sapması, ölçme aracında ciddi güvenilirlik sorunlarının bulunması veya raporlama hatalarının açık biçimde belirlenmesi gerekir (Elvik, 2005; Gürbüz ve Şahin, 2017; Mathur vd., 2020). Çalışmanın yöntemsel bir hatası bulunmaması ve çıkarılması durumunda genel etki ve heterojenlik değerlerinde anlamlı bir değişim gözlenmemesi nedeniyle, Canevi (2019) çalışmasının meta analizde korunması uygun görülmüş ve veri setine dâhil edilip analizlere devam edilmiştir.

4.2.5 Yayın yanlılığı

Teknoloji destekli öğretimin tutuma yönelik etkisinin araştırıldığı bu meta analiz çalışmasında yayın yanlılığının analizinde huni grafiği, Egger'in doğrusal regresyon testi, Rosenthal'ın güvenli N (fail-safe N-FSN) yöntemi, ve Duval ve Tweedie'nin Kes ve Ekle (Trim and Fill) yöntemleri kullanılmıştır. Öncelikle JASP yazılımında Funnel Plot kısmından çalışmaların huni grafiğindeki dağılımı incelenmiştir. Huni grafiği şekil 4. 5'te sunulmuştur.

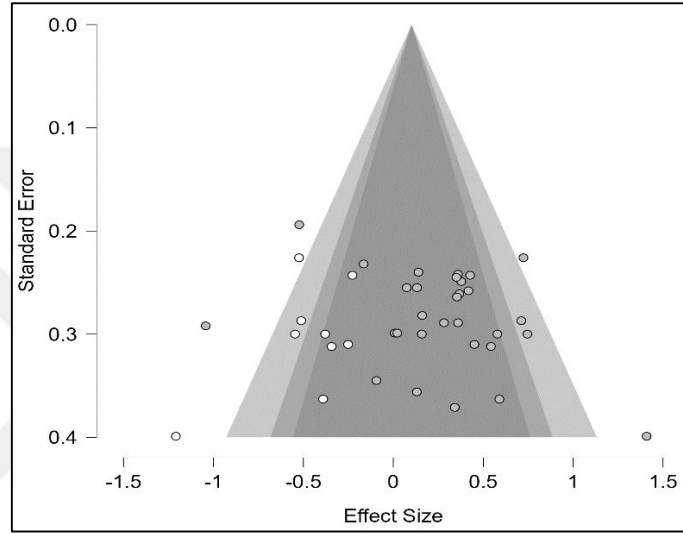
Huni grafiği (Funnel Plot)



Şekil 4. 5 Tutum için huni grafiği

Huni grafiği meta analizde yayın yanlılığının olup olmadığını görsel olarak sunan temel araçtır. Şekilde görüldüğü üzere yatay eksen etki büyüklüğünü, dikey eksen standart hatayı belirtmektedir. Şekil 4. 5 incelendiğinde, tutum değişkenine ait çalışmaların etki büyüklüklerinin simetrik biçimde dağıldığı görülmektedir. Grafikte özellikle alt tarafta sağa veya sola kayma görülmeyip çalışmalar dengeli dağılım göstermiştir. Bu durum meta analizde önemli düzeyde yayın yanlılığının olmadığını görsel olarak

desteklemektedir. Ancak kesin bir sonuca varabilmek amacıyla diğer istatistiksel yöntemler de ayrıca değerlendirilmiştir. Yapılan Huni Grafiği Asimetrisi için Meta-Regresyon Testi sonucu ($z = 1,760$, $p = 0,078$) ve Egger Testi sonucu ($t(28) = 1,879$, $p = 0,071$) istatistiksel olarak anlamlı olmadığını göstermektedir. Sonuç olarak hem testler hem de huni grafiği yayın yanlılığının olmadığını göstermektedir. Yayın yanlılığı ihtimaline karşı ve yayın yanlılığını düzeltmek maksadıyla Duval ve Tweedie'nin kırıp ve ekle yöntemi de kullanılmıştır. Düzeltilmiş etki büyüklüğüne ait huni grafiği şekil 4. 6'da sunulmuştur.



Şekil 4. 6 Tutum için düzeltilmiş huni grafiği

Şekil 4. 6'da görüldüğü gibi kes ve ekle yöntemi uygulanarak eksik olduğu tahmin edilen çalışmalar açık renkli daireler şeklinde grafiğe eklenmiş ve böylece olası yayın yanlılığı etkisi azaltılmıştır. Kes ve ekle yöntemi sonucunda oluşan tahminler tablo 15'te sunulmuştur.

Tablo 15 Kes ve ekle parametre tahminleri

Etki büyüklüğü sayısı	Eksik Tahminler	p	Düzeltilmiş etki büyüklüğü	Ayarlanmış Tahmin μ (%95)	
				Alt sınır	Üst sınır
30	9	0,188	0,102	-0,050	0,253

Tablo 15'te görüldüğü gibi 30 etki büyüklüğüne ilişkin 9 eksik çalışma tahmin edilmiştir. Bu durum huni grafiğinde sınırlı düzeyde asimetri olduğunu ve yayın yanlılığının tamamen yok sayılamayacağını göstermektedir (Duval ve Tweedie, 2000). Ayrıca düzeltilmiş etki büyüklüğü 0,102 olup %95 güven aralığının $[-0,050, 0,253]$ arasında değiştiği görülmektedir. Bu sonuç, yayın yanlılığı olasılığı dikkate alındığında bile

teknoloji destekli öğretimin tutum üzerindeki etkisinin pozitif ve anlamlı biçimde devam ettiğini göstermektedir. Son olarak olası yayın yanlılığına karşı Rosenthal'ın güvenli N (fail-safe N-FSN) yöntemi de kullanılmıştır. Meta-analize dâhil edilen çalışmalardan elde edilen 30 etki büyüklüğü sonucunun anlamlılığını ortadan kaldıracı için 258 ek çalışmanın “etkisiz” sonuç vermesi gerektiği belirlenmiştir. Bu değer, meta-analiz bulgusunun oldukça güçlü olduğunu ve anlamlı etkiyi bozabilmek için yüksek sayıda etkisiz çalışmanın bulunması gerektiğini göstermektedir. Dolayısıyla meta-analizde olası yayın yanlılığına rağmen, elde edilen bulgunun dayanıklı olduğu ve sonuçların tesadüfi olarak oluşmadığı söylenebilir.

4.2.6 Moderatör analizleri

Bu araştırmada belirlenen moderatör değişkenlerden sürekli değişkenlerin doğrusallık sayıltısı kontrol edildikten sonra kategorik değişkene çevrilip analizler yapılmıştır. Yöntem bölümünde ayrıntılı bir şekilde açıklanmıştır. Moderatör analizleri JASP yazılımında Restricted ML yöntemiyle yapılmıştır. Moderatör değişkenlerin etki büyüklüğü farklılıklarının anlamlılığı F istatistiği, heterojenlik Q- değeri ve etki büyüklüğü değişkenliğinin miktarı yüzde olarak R^2 değeri ile hesaplanmıştır. R^2 değeri, Cohen'in (1988) R^2 etki büyüklüğü sınıflandırmasına göre yorumlanmıştır. Moderatörlere ait analiz sonuçları tablo 16'da sunulmuştur.

Tablo 16 Tutum için moderatör değişkenlere ait basit meta regresyon sonuçları

Moderatör değişken	Alt gruplar	Çalışma sayısı	Etki büyüklüğü değeri	Standart hata	Güven aralığı (%95)		F	p	R^2 (%)	Q-değeri	p
					Alt sınır	Üst sınır					
Çalışmanın yapıldığı yıl	Erken dönem	9	0,322	0,134	0,048	0,596	2,15	0,136	14,23	55,63	<,001
	Orta dönem	10	0,066	0,180	-0,18	0,313					
	Yeni dönem	11	0,413	0,183	0,155	0,671					
Öğretim kademesi	İlköğretim	11	0,334	0,129	0,069	0,598	0,59	0,562	0,00	62,89	<,001
	Ortaöğretim	10	0,153	0,180	-0,106	0,412					
	Yükseköğretim	9	0,312	0,195	0,011	0,613					
Alt öğrenme Alanı	Cebirsel düşünme	8	0,287	0,217	-0,034	0,608	0,21	0,887	0,00	61,99	<,001
	Denklemler ve eşitsizlikler	5	0,381	0,241	-0,008	0,769					
	Fonksiyon ve grafikler	8	0,221	0,150	-0,088	0,530					
	İleri cebir	9	0,206	0,210	-0,094	0,507					

Tablo 16 (devamı)

Öğretim teknolojisi türü	Dinamik matematik yazılımları	20	0,208	0,093	0,016	0,399	0,62	0,546	0,00	61,11	<,001
	Web tabanlı teknolojiler	6	0,313	0,200	-0,049	0,675					
	Dijital içerik platformları	4	0,451	0,229	0,022	0,880					
Uygulama Süresi	Kısa süreli	4	0,498	0,213	0,060	0,936	0,89	0,423	0,00	61,54	<,001
	Orta süreli	9	0,159	0,254	-0,125	0,443					
	Uzun süreli	17	0,261	0,236	0,055	0,468					
Örneklem büyüklüğü	Küçük	15	0,360	0,338	0,141	0,578	3,44	0,047	34,78	48,40	0,007
	Orta	14	0,242	0,335	0,043	0,440					
	Büyük	1									
Çalışmayı Uygulayan	Öğretmen	14	0,275	0,154	0,050	0,500	0,03	0,854	0,00	64,66	<,001
	Araştırmacı	16	0,247	0,108	0,025	0,468					
Ölçüm aracı	Hazır	28	0,247	0,319	0,086	0,409	0,45	0,510	0,00	64,75	<,001
	Araştırmacı	2	0,460	0,309	-0,172	1,093					

Tablo 16’da meta analiz kapsamında belirlenen moderatör değişkenlerin analiz sonuçları yer almaktadır. Analiz sonuçları başlıklar halinde değerlendirilmiştir.

Çalışmanın Yapıldığı Yıl: Alt grupların etki büyüklükleri değeri erken dönem $g=0,322$, orta dönem $g=0,066$ ve yeni dönem $g=0,413$ olarak hesaplanmıştır. Bu moderatör dönemlere göre pozitif katkı sunsa da istatistiksel olarak anlamlı bulunmamaktadır ($F = 2,15$; $p = 0,136$). $R^2=14,23$ olup toplam varyansın yaklaşık %14’ünü açıklamaktadır. R^2 değeri, Cohen’in (1988) sınıflandırmasına göre orta düzey bir değerdir. Çalışmalar arasında istatistiksel olarak anlamlı heterojenlik bulunmaktadır ($Q=55,63$, $p<,001$).

Öğretim kademesi: Alt grupların etki büyüklükleri ilköğretim $g=0,334$, ortaöğretim $g=0,153$ ve yükseköğretim $g=0,312$ olup, tüm gruplarda pozitif etki olduğu görülmektedir. Ancak öğretim kademesine göre F istatistiği anlamlı bulunmamıştır ($F = 0,59$; $p = 0,562$). Çalışmalar arasında anlamlı heterojenlik olmasına rağmen moderatör bunu açıklayamamaktadır ($Q=62,89$, $p<,001$, $R^2=0,00$).

Alt Öğrenme Alanı: alt grupların etki büyüklükleri cebirsel düşünme $g=0,287$, denklemler ve eşitsizlikler $g=0,381$ fonksiyonlar ve grafikler $g=0,221$ ve ileri cebir $g=0,206$ olarak hesaplanmıştır. Alt temalarda pozitif ve birbirine yakın bir etki olduğu görülmektedir. Moderatör değişken istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır ($F=0,21$, $p=0,887$). $R^2=0,00$ olup toplam varyansı açıklamamaktadır. Etki büyüklükleri arasında istatistiksel olarak anlamlı heterojenlik mevcuttur ($Q=61,99$, $p<,001$).

Öğretim Teknolojisi Türü: Alt grupların etki büyüklükleri değeri, dinamik matematik yazılımları $g=0,208$, web tabanlı teknolojiler $g=0,313$ ve dijital içerik platformları $g=0,451$ olarak hesaplanmıştır. Pozitif yönde bir etki olduğu görülmektedir. Ancak F değeri istatistiksel olarak anlamlı değildir ($F=0,62$, $p=0,546$). Etki büyüklükleri arasında anlamlı bir heterojenlik olmasına rağmen moderatör bunu açıklayamamaktadır ($Q=61,11$, $p<,001$, $R^2=0,00$).

Uygulama Süresi: Alt grupların etki büyüklükleri kısa süreli $g=0,498$, orta süreli $g=0,159$, uzun süreli $g=0,261$ olup, etkinin pozitif yönde olduğu görülmektedir. Ancak moderatör anlamlı bulunmamıştır ($F=0,89$, $p=0,423$). Gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı heterojenlik mevcuttur fakat R^2 değeri değişikliği açıklayamamaktadır ($Q=61,54$, $p<,001$, $R^2=0,00$).

Örneklem Büyüklüğü: Örneklem büyüklüğü küçük, orta ve büyük olmak üzere üç kategoriye ayrılmasına rağmen büyük örneklemli sadece bir çalışma bulunduğundan dolayı moderatörün küçük ve orta alt gruplarda analizi yapılmıştır. Küçük örneklemli alt grubun etki büyüklüğü $g=0,360$, orta büyüklükteki örneklemli alt grubun etki büyüklüğü $g=0,242$ olarak hesaplanmıştır. Her iki grupta da pozitif etki olduğu görülmüştür. Moderatör istatistiksel olarak anlamlı bulunmuş ve toplam varyansın yaklaşık %35'ini açıklamaktadır ($F=3,44$, $p=0,047$, $R^2=34,73$). R^2 değeri, Cohen'in (1988) sınıflandırmasına göre yüksek düzey bir değer olduğu görülmektedir. Ayrıca etki büyüklükleri arasında istatistiksel olarak anlamlı fark gözlenmiştir ($Q=48,40$, $p=0,007$).

Çalışmayı Uygulayan Kişi: alt grupların etki büyüklükleri öğretmen $g=0,275$, araştırmacı $g=0,247$ olup, değerler birbirine yakındır. Moderatör istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır ($F=0,03$, $p=0,854$). Etki büyüklükleri arasında anlamlı bir heterojenlik mevcut olup R^2 değeri toplam varyansı açıklayamamaktadır ($Q=64,66$, $p<,001$, $R^2=0,00$).

Ölçüm Aracı: Hazır ölçeğin kullanıldığı çalışmaların etki büyüklüğü $g=0,247$ ve araştırmacının hazırladığı ölçeklerin kullanıldığı çalışmaların etki büyüklüğü $g=0,460$ olarak hesaplanmıştır. Araştırmacı alt grubunun etki büyüklüğünün hazır alt grubuna göre yüksek olması çalışma sayısının çok az olmasından kaynaklanabilir. Yine de her iki grupta pozitif bir etki olduğu görülmektedir. Ancak moderatör istatistiksel olarak anlamlı değildir ($F=0,45$, $p=0,510$). Öte yandan etki büyüklükleri arasında heterojenlik mevcut olup moderatör varyansı açıklayamamaktadır ($Q=64,75$, $p<,001$, $R^2=0,00$).

Özetle tablodaki tüm moderatörlerde Q değerleri yüksek ve anlamlıdır bu da her bir moderatör kategorisi içinde heterojenlik olduğunu göstermektedir. Ancak F istatistiğine göre sadece örneklem büyüklüğü moderatör olarak anlamlıdır. Bu bulgular, teknoloji destekli cebir öğretiminin tutuma etkisinin olumlu olduğunu, ancak bu etkinin metodolojik faktörlere bağlı kısmen değişebildiğini ortaya koymaktadır.

4.3 Bulguların Özeti

Bu araştırma kapsamında yürütülen meta analiz çalışmalarına ait bulguların özeti tablo 17’de sunulmuştur.

Tablo 17 İki meta analizin karşılaştırmalı özeti

Özellik	Meta analiz 1 (Başarı)	Meta analiz 2 (Tutum)
Etki büyüklüğü sayısı (k)	67	30
Toplam örneklem (N)	3597	1591
Genel etki büyüklüğü (g)	0,940	0,260
%95 Güven aralığı	[0,781, 1,100]	[0,105, 0,415]
%95 Tahmin aralığı	[-0,217, 2,098]	[-0,376, 0,896]
Etki düzeyi	Yüksek	Küçük
Q-değeri	323,78	65,76
I ² (heterojenlik)	%80,09 (yüksek)	%54,58 (orta)
Egger testi p değeri	0,012 (anlamlı)	0,071 (anlamsız)
Trim and fill düzeltilmiş etki büyüklüğü	0,791	0,102
Fail safe N (Rosenthal N)	16758	258
Anamlı moderatörler	Öğretim kademesi, örneklem büyüklüğü	Örneklem büyüklüğü

Tablo 17 incelendiğinde, teknoloji destekli öğretimin matematik başarısı ve cebire/matematiğe yönelik tutum üzerindeki etkilerini karşılaştıran iki meta analiz bulgularının belirgin şekilde farklılaştığı görülmektedir. Başarıya yönelik meta analizde toplam 67 etki büyüklüğü ve 3597 katılımcıdan elde edilen genel etki büyüklüğü $g=0,940$ olup bu değer yüksek düzeyde etkiye işaret etmektedir. %95 güven aralığı [0,781, 1,100] arasında yer almakta ve dar bir aralık olduğundan dolayı etki büyüklüğünün kararlı olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte tahmin aralığının oldukça geniş olması ([-0,217, 2,098]) çalışmalar arası varyasyonun yüksek olduğuna işaret etmektedir. Nitekim Q-değeri (323,78) ve I² değerinin (% 80,09) yüksek olması anlamlı düzeyde heterojenlik olduğunu göstermektedir. Yayın yanlılığı analizinde Egger testi $p=0,012$ olup anlamlı bir asimetriye işaret etmiş; buna bağlı olarak yapılan kes ve ekle (trim and fill) yöntemiyle

düzeltilmiş etki büyüklüğü 0,791 olarak hesaplanmıştır. Rosenthal'in fail-safe N değerinin 16758 gibi oldukça yüksek bir değere sahip olması elde edilen etkinin yayınlanmamış çalışmalarla dahi olsa kolayca değişmeyeğini göstermektedir.

Tutuma yönelik meta analizde ise 30 etki büyüklüğü ve 1591 katılımcıdan elde edilen genel etki büyüklüğü $g=0,260$ olup bu sonuç küçük düzeyde etkiyi ifade etmektedir. %95 güven aralığı $[0,105, 0,415]$ arasında yer alıp etkinin pozitif fakat küçük olduğunu göstermektedir. Tahmin aralığının $[-0,376, 0,896]$ arasında olması bazı çalışmaların etkisinin ters yönde gerçekleşebileceğine işaret etmektedir. Q-değeri (65,76) ve I^2 değerini (% 54,58) orta düzey heterojenlik olduğunu göstermektedir. Kes ve ekle (trim and fill) yöntemiyle düzeltilmiş etki büyüklüğü $g=0,102$ olarak hesaplanmış olup yayın yanlılığı düzeltilmesinin etkiyi daha da küçülttüğü görülmektedir. Rosenthal'in fail-safe N değeri ise 258 olup etki büyüklüğünün yayınlanmamış çalışmalardan etkilenebileceğine işaret etmektedir.

Sonuç olarak, teknoloji destekli öğretimin cebir öğrenme alanında mevcut öğretime kıyasla başarı üzerinde güçlü bir etki yaratırken tutum üzerindeki etkisinin daha düşük olduğu anlaşılmaktadır.

Bu bölümde, Türkiye’de cebir öğrenme alanında teknoloji destekli öğretimin mevcut öğretime kıyasla akademik başarı ve tutum üzerindeki etkisini inceleyen bu meta-analiz çalışmasının bulguları, ulusal ve uluslararası alanyazınla karşılaştırılarak tartışılmaktadır. Ardından araştırmanın sonuçları özetlenmekte ve program geliştiricilere, öğretmenlere ve araştırmacılara yönelik öneriler sunulmaktadır.

Bu araştırma, Türkiye’de cebir öğrenme alanında teknoloji destekli öğretimin etkililiğini sistematik olarak değerlendirmek amacıyla iki paralel meta-analiz yürütmüştür: Meta-Analiz 1 (Akademik Başarı) ve Meta-Analiz 2 (Tutum). Her iki meta-analizin bulguları, moderatör analizleri ve alanyazınla karşılaştırması aşağıda sunulmaktadır.

5.1 Teknoloji Destekli Öğretimin Akademik Başarıya Etkisi

Meta-Analiz 1’de 53 birincil çalışmadan elde edilen 67 etki büyüklüğünün analizi, teknoloji destekli öğretimin mevcut öğretime kıyasla cebir başarısı üzerinde yüksek düzeyde pozitif etkiye ($g = 0.940$) sahip olduğunu ortaya koymuştur. Bu bulgu, Thalheimer ve Cook’un (2002) sınıflandırmasına göre “yüksek” etki düzeyindedir ve teknoloji entegrasyonunun cebir öğretiminde önemli bir pedagojik araç olduğunu göstermektedir.

Bu bulgu, uluslararası meta-analiz çalışmalarıyla tutarlı bir örüntü sergilemektedir. Li ve Ma (2010), bilgisayar teknolojisinin K-12 düzeyinde matematik başarısına etkisini $d = 0.23$ olarak raporlamışlardır. Cheung ve Slavin (2013), eğitim teknolojilerinin matematik başarısına genel etkisini $g = 0.15$ olarak bulmuşlardır. Ran ve arkadaşları (2024), dinamik matematik yazılımlarının etkisini $g \approx 0.52$ olarak saptamışlardır. Bu çalışmada elde edilen $g = 0.940$ değeri, uluslararası bu bulguların üzerinde bir etki büyüklüğü göstermektedir.

Bu farklılık, birkaç faktörle açıklanabilir. İlk olarak, mevcut araştırma Türkiye özelinde ve yalnızca cebir öğrenme alanına odaklanmıştır; oysa bahsi geçen uluslararası çalışmalar

tüm matematik alanlarını kapsamaktadır. Bu sebeple cebir alanında teknolojiye daha yüksek verim alınmış olabilir. Nitekim Kieran (1992) ve Sfard (1995)'ın belirttiği gibi, cebirde soyut kavramların yoğunluğu ve sembolik dil kullanımı, teknolojinin görselleştirme ve dinamik temsil sunma potansiyelinden özellikle faydalanmayı mümkün kılmaktadır. Dinamik matematik yazılımları, cebirsel ifadelerin grafik temsillerini eşzamanlı olarak sunarak öğrencilerin sembolik ve görsel temsiller arasında bağlantı kurmalarını kolaylaştırmaktadır (Hohenwarter ve Preiner, 2007).

İkinci olarak, Türkiye bağlamında FATİH Projesi ve EBA gibi altyapı yatırımları sonrasında, öğretmenlerin ve öğrencilerin teknoloji kullanımına hazırbulunuşluk düzeylerinde artış olması muhtemeldir. Üçüncü olarak, çalışmaların çoğunluğunun son on beş yılda yürütülmüş olması, teknolojik araçların pedagojik olgunluğunu ve öğretmenlerin teknopedagojik yeterliklerini yansıtmaktadır. Dolayısıyla birincil çalışmaların bulgularının yüksek olması meta analiz sonuçlarının da yüksek çıkmasına sebebiyet verebilir. Son olarak bu araştırmadan elde edilen etki büyüklüğü değeri güncel çalışmalardaki bulgulara daha yakındır. Önceki yıllarda yapılan çalışmaların etki büyüklüğü değerinin daha küçük olduğu görülmektedir. Teknoloji kullanımının olgunlaşmadığı ve yeterince yararlanılmadığı yorumu yapılabilir.

Türkiye bağlamında yapılan diğer meta-analizlerle karşılaştırıldığında, bulgular benzer olumlu eğilimlere işaret etmektedir. Demir ve arkadaşları (2024), teknoloji tabanlı matematik öğretiminin Türk öğrencilerinin başarısına etkisini $g = 0.68$ olarak bulmuşlardır. Kaya ve Öçal (2018), GeoGebra uygulamalarının matematik başarısına etkisini $g = 0.899$ olarak tespit etmişlerdir. Bu çalışmanın bulgusu ($g = 0.940$), özellikle Kaya ve Öçal'ın bulgularıyla yakın benzerlik göstermekte; cebir öğretiminde dinamik yazılımların güçlü etkisini desteklemektedir. Bu araştırmanın etki büyüklüğü değeri ile Türkiye bağlamındaki diğer çalışmaların etki büyüklüğü değerlerinin uluslararası çalışmalara göre daha yakın olması aynı bağlamı temsil etmesinden kaynaklandığı söylenebilir.

Bulgular, teknoloji destekli cebir öğretiminin kuramsal temellerini ampirik olarak desteklemektedir. Yapılandırmacı öğrenme kuramı bağlamında, Vygotsky'nin (1978) yakınsal gelişim alanı kavramı açısından teknoloji bir “pedagojik dayanak” işlevi görmektedir ve öğrencilerin kendi başlarına ulaşamayacakları düzeylere erişmelerini sağlamaktadır. Dijital araçların sağladığı anında geri bildirim, öğrencinin eylemlerinin

sonuçlarını hemen görmesine olanak tanıyarak aktif anlam kurma sürecini desteklemektedir.

Mayer'in (2009) çoklu ortam öğrenme kuramının öngördüğü gibi, sözel ve görsel kanalların birlikte kullanımı öğrenmeyi güçlendirmektedir. Cebir öğretiminde sembolik ifadelerin grafik temsillerle eşzamanlı sunumu, öğrencilerin bilişsel yükünü azaltmakta ve kavramsal anlamayı derinleştirmektedir. Bu meta-analizde gözlenen yüksek etki büyüklüğü, bu kuramsal öngörüü desteklemektedir.

Ainsworth'un (2006) çoklu temsiller kuramında belirtilen tamamlama, kısıtlama ve çeviri mekanizmalarının cebir öğretiminde etkili biçimde işlediği görülmektedir. Dinamik yazılımların sembolik, grafik ve sayısal temsiller arasında anlık geçişler sağlaması, öğrencilerin cebirsel yapıları farklı açılardan anlamlandırmalarına olanak tanımaktadır.

5.1.1 Yayın yanlılığı değerlendirmesi

Başarıya ilişkin yapılan bu meta analizde huni grafiği asimetrik olup yayın yanlılığının olabileceğini görsel olarak göstermektedir. Bu görsel bulgu, Egger regresyon testleri ile de doğrulanmıştır. Hem meta-regresyon testi ($z = 2.677$, $p = .007$) hem de ağırlıklı regresyon testi ($t(65) = 2.570$, $p = .012$) anlamlı sonuçlar vermiş; böylece veri setinde yayın yanlılığı olasılığı desteklenmiştir. Olası yayın yanlılığına yönelik düzeltme amacıyla uygulanan Duval ve Tweedie'nin "kes ve ekle" yöntemi veri setinde 6 çalışmanın eksik olabileceğini ve bu çalışmalar eklendiğinde genel etki büyüklüğünü 0,940'tan 0,791'e düşürmüştür. Gözlenen bu düşüş olası yayın yanlılığının genel etki büyüklüğünü biraz arttırdığını düşündürebilir. Buna rağmen düzeltilmiş etki büyüklüğü anlamlı ve yüksek düzeyde bulunmuştur. Ek olarak Rosenthal'ın güvenli N (fail-safe N) analizine göre mevcut anlamlı etkiyi ortadan kaldırmak için 16758 etkisiz çalışmanın daha bulunması gerekmektedir. Bu son derece yüksek değer olup bulgunun rastlantısal olmadığı ve meta analiz sonuçlarının güçlü olduğu görülmektedir.

Genel olarak bulgular yayın yanlılığının olabileceğine işaret etse de yapılan istatistiksel düzeltmelerden sonra bile teknoloji destekli öğretimin başarı üzerindeki etkisinin yüksek olduğunu ortaya koymuştur. Bu durumda meta analiz çalışmasının sonuçlarının güçlü ve güvenilir olduğunu söyleyebiliriz.

5.1.2 Moderatör analizi

Öğretim Kademesi

Öğretim kademesinin anlamlı bir moderatör olduğu bulunmuştur ($F(2, 64) = 7.39$, $p = .001$, $R^2 = \%18.36$). En yüksek etki büyüklüğü ortaöğretimde ($g = 1.400$), ardından ilköğretimde ($g = 0.794$) ve en düşük etki büyüklüğü yükseköğretimde ($g = 0.728$) gözlenmiştir. Bu sonuç, Baki ve Gürsoy (2020) çalışması ile Li ve Ma (2010)'nın bulgularıyla kısmen çelişmektedir; onlar ilkokulda daha yüksek etkiler raporlamışlardır. Ancak Ran ve arkadaşlarının (2024) dinamik matematik yazılımlarına ilişkin meta-analizi, ortaöğretimde yüksek etkiler raporlamıştır.

Ortaöğretimde yüksek etki büyüklüğü, birkaç nedene bağlanabilir:

1. **Müfredat Uygunluğu:** Ortaöğretim cebir müfredatının içeriği (fonksiyonlar, karmaşık denklemler, ileri düzey grafikler) dinamik görselleştirmelerden en fazla faydalanabilecek niteliktedir. Duval'ın (2006) çoklu temsiller kuramına göre, fonksiyon ve grafik kavramları arasındaki dönüşümlerin dinamik ortamlarda sunulması, öğrencilerin matematiksel nesneleri farklı temsil biçimleri arasında ilişkilendirmelerini kolaylaştırmaktadır.
2. **Bilişsel Gelişim:** Ortaöğretim öğrencilerinin bilişsel gelişim düzeyleri (Piaget'nin formel işlemler dönemi), teknolojinin sunduğu soyut kavramları somutlaştırma fırsatlarından yararlanmaya olanak tanımaktadır.
3. **Pedagojik Orkestrasyon:** Ortaöğretimde öğretmenlerin teknoloji entegrasyonunda daha fazla deneyim ve özgürlük sahibi olmaları, daha etkili pedagojik orkestrasyon sağlamış olabilir.

İlköğretimde orta düzey etki ($g = 0.794$), Carraher ve arkadaşlarının (2006) erken cebirsel düşünme çalışmalarıyla tutarlıdır. İlköğretim düzeyinde teknoloji, daha çok manipülatiflerin (sanal denge terazileri, cebir karoları) kullanımına odaklanmakta; bu araçlar öğrencilerin somut işlemlerden sembolik temsillere geçişini desteklemektedir. Ancak bu yaş grubunda soyut kavramların tam olarak yerleşmemiş olması ve teknolojinin sınırlı özelliklerle kullanılması, etkinin ortaöğretimdekinden düşük olmasını açıklayabilir.

Yükseköğretimde nispeten düşük etki ($g = 0.728$), Hmelo-Silver ve arkadaşlarının (2007) bulguları ile uyumludur. Yükseköğretimde cebir içeriği (lineer cebir, soyut cebir) daha teorik ve soyuttur; bu nedenle teknolojinin görselleştirme potansiyeli sınırlı kalabilir. Ayrıca, yükseköğretim öğrencilerinin zaten yüksek düzeyde matematiksel olgunluğa sahip olmaları, teknolojinin eklediği değerin azalmasına yol açabilir. Bununla birlikte,

yükseköğretimde kullanılan bilgisayar cebir sistemleri (BCS) gibi araçlar, Pierce ve Stacey'nin (2010) belirttiği “siyah kutu” riski taşımaktadır; öğrenciler prosedürleri anlamadan sonuçlara ulaşabilmektedir.

Son olarak teknoloji destekli öğretimin etkisinin öğretim kademesine göre anlamlı biçimde farklılaştığını ve özellikle ortaöğretimde daha güçlü sonuçlar ürettiği söylenebilir. Ortaöğretim düzeyinde gözlenen yüksek etki büyüklüğü, bu dönemde ele alınan cebirsel kavramların dinamik ve etkileşimli teknolojilerin kavramsal anlamayı destekleyici rolünün daha belirgin olabileceğini ve bu yaş düzeyindeki öğrencilerin teknolojiyi daha iyi kullanmasından kaynaklanabileceği söylenebilir. İlköğretimde temel becerilerin ön planda olması ve öğrenme sürecinin daha somut etkinliklerle yürütülmesi, teknolojinin katkısının sınırlanabileceğini; yükseköğretimde ise öğrencilerin zaten belirli bir akademik yeterliğe sahip olmaları, teknoloji kullanımının ilgi çekici etkisini azaltmış olabileceğini söyleyebiliriz. Bu çerçevede elde edilen sonuçlar, teknoloji entegrasyonunun “her düzeyde aynı etkiyi üretmediği” ve öğretim kademesine göre planlanması gerektiği söylenebilir. Özellikle ortaöğretimde, cebir öğretiminde dinamik yazılımlar ve etkileşimli araçların sistematik biçimde kullanılması, öğrenme çıktılarında anlamlı kazanımlar sağlayabilecek stratejik bir yaklaşım olarak değerlendirilebilir.

Örneklem Büyüklüğü

Örneklem büyüklüğü anlamlı bir moderatör olarak bulunmuştur ($F(2, 64) = 3.71, p = .030, R^2 = \%8.77$). Büyük örneklemli çalışmaların etki büyüklüğü değeri ($g = 1.806$), orta örneklemli çalışmaların etki büyüklüğü ($g = 0.968$) ve küçük örneklemli çalışmaların etki büyüklüğü ($g = 0.824$) olup, büyük örneklemli çalışmaların etki büyüklüğü diğer örneklemli çalışmalara göre daha yüksek bulunmuştur.

Büyük örneklemli çalışmalarda yüksek etki büyüklüğünün olası nedenleri arasında, bu çalışmaların genellikle daha sistematik müdahaleler ve daha uzun uygulama süreleri içermesi, araştırmacıların daha deneyimli olması ve çoklu okullarda/sınıflarda uygulanarak daha temsil edici sonuçlar vermesi sayılabilir. Ancak, bu moderatör için yalnızca büyük örneklemli 3 çalışma bulunması, bulgunun dikkatle yorumlanmasını gerektirmektedir. Çalışma sayısının az olması etki büyüklüğü değerinin yüksek olmasına sebebiyet vermiştir. Öte yandan orta büyüklükteki örneklem gruplarında etki büyüklüğü küçük örneklemli gruplardaki etki büyüklüğü değerine göre daha yüksek bulunmuştur. Lipsey ve Wilson (2001), küçük örneklemli etki büyüklüklerini şişirebileceğini

belirtmektedir; ancak bu çalışmada tam tersi bir durum gözlenmiştir. Küçük örneklemli gruplarda etki büyüklüğünün daha düşük bulunması, bu tür çalışmaların doğasından kaynaklanan çeşitli sınırlılıklarla ilişkilendirilebilir. Öncelikle, küçük örneklemelerin, istatistiksel gücü azaltabileceği ve gerçek etkinin tam olarak ortaya konmasını güçleştirebileceği söylenebilir. Öte yandan kısa süreli uygulamalar, tek sınıf ya da tek okul bağlamında yürütülen müdahalelerin teknolojinin öğrenme üzerindeki etkisinin tam anlamıyla ortaya çıkmasını engelleyebileceği söylenebilir. Bu durumda, daha uzun süreli, çok sınıflı ve geniş katılımlı müdahalelerin teknoloji destekli öğretimin gerçek potansiyelini daha net biçimde ortaya koyabileceği söylenebilir.

Diğer Moderatörler

Çalışmanın yılı, alt öğrenme alanı, teknoloji türü, uygulama süresi, çalışmayı uygulayan kişi ve ölçüm aracı moderatörleri anlamlı bulunmamıştır. Bu sonuçlar, belirli açılardan dikkat çekicidir:

Çalışmanın Yılı: Yıl moderatörünün anlamlı olmaması ($F(2, 64) = 1,16, p = .321$), teknolojinin zaman içinde yaygınlaşmasına rağmen etkisinin tutarlı kaldığını göstermektedir. Erken dönem ($g = 0,773$), orta dönem ($g = 1,116$) ve yeni dönem ($g = 0,922$) etki büyüklükleri arasında bir miktar artış gözlene de etki büyüklükleri arasındaki farklılığı açıklamada istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır. Bu bulgu, Tamim ve arkadaşlarının (2011) 40 yıllık teknoloji araştırmalarını sentezleyen çalışmalarıyla uyumludur; onlar da teknolojinin genel etkisinin zaman içinde istikrarlı kaldığını bulmuşlardır. Bu durum, teknolojik araçların gelişmesiyle birlikte pedagojik kullanımın da olgunlaştığını ve her dönemde benzer etkiler elde edildiğini göstermektedir.

Alt Öğrenme Alanı: Cebir alt alanları (cebirsel düşünme, denklemler ve eşitsilikler, fonksiyonlar ve grafikler, ileri cebir) arasında anlamlı fark bulunmamıştır ($F(3, 63) = 1,49, p = .225, R^2 = \%1,08$). R^2 değeri ise heterojenliğin küçük bir kısmını açıklamaktadır. Cebirsel düşünme ($g=0,805$), denklemler ve eşitsizlikler ($g=0,873$), fonksiyon ve grafikler ($g=1,253$) ve ileri cebir ($g=0,871$) alt gruplarına ait etki büyüklükleri incelendiğinde, bütün alanlarda teknoloji destekli öğretimin orta ile yüksek düzey arasında değişen olumlu bir etkiye sahip olduğu, ancak bu etkinin istatistiksel olarak anlamlı biçimde birbirinden ayrılmadığı görülmektedir. Fonksiyon ve grafikler alt öğrenme alanında daha yüksek bir etki olduğu görülmektedir. Nitekim Kılıç, Kul ve

Çelik-Demirci (2025) çalışmasında da benzer sonuç raporlanmıştır. Kieran'ın (1992) cebir öğretiminde farklı gösterimlerin (tablo, grafik, sembolik) entegrasyonunun önemine vurgusu, fonksiyonlar konusunda dinamik yazılımların potansiyelini açıklamaktadır. Fonksiyon ve grafik konularında elde edilen yüksek etki büyüklüğü, teknolojinin en güçlü katkısının, görsel-uzamsal düşünme ve dinamik ilişki kurma gerektiren öğrenme alanlarında ortaya çıktığını göstermektedir. Bu bulgu ile, teknoloji entegrasyonunun özellikle temsil dönüşümlerinin merkezde olduğu cebirsel içeriklerde önemli bir stratejik araç olduğu söylenebilir.

Teknoloji Türü: Dinamik matematik yazılımları, web tabanlı teknolojiler ve dijital içerik platformları arasında anlamlı fark bulunmaması ($F(2, 64) = 0.56, p = .575$), tüm teknoloji türlerinin cebir öğretiminde etkili olduğunu göstermektedir. Dinamik yazılımlar en yüksek etkiye ($g = 1.021$) sahip olsa da, web tabanlı teknolojiler ($g = 0.877$) ve dijital içerik platformları ($g = 0.780$) da önemli katkılar sağlamaktadır. Bu bulgu, Hohenwarter ve Preiner'in (2007) GeoGebra üzerine yaptıkları çalışmaları ve Drijvers'in (2018) çeşitli teknoloji türlerinin farklı pedagojik potansiyellere sahip olduğu görüşüyle uyumludur. Kritik olan nokta, teknolojinin türünden çok nasıl kullanıldığıdır; Mishra ve Koehler'in (2006) TPAB modeli bu durumu desteklemektedir. Sonuç olarak, cebir öğretiminde seçilen teknolojinin türünden çok, öğretim hedefleriyle ne derece bütünleştiği ve öğrenciyi etkin bilişsel süreçlere ne ölçüde dâhil edebildiğinin önem kazandığı söylenebilir.

Uygulama Süresi: Uygulama süresi moderatörünün anlamlı olmaması ($F(2, 64) = 0.45, p = .637$), hem kısa ($g = 1.162$), hem orta ($g = 0.889$) hem de uzun süreli ($g = 0.961$) uygulamaların etkili olduğunu göstermektedir. Bu bulgu, Cheung ve Slavin (2013) ve Ran ve arkadaşlarının (2024) bulgularıyla kısmen çelişmektedir; onlar 8-12 haftalık uygulamaları daha uygun olarak raporlamışlardır. Öte yandan bu bulgu, Gürsoy (2017) çalışmasındaki ile benzerlik göstermektedir. Bu durumun uzun süreli teknoloji destekli uygulamaların ilerleyen sürede ilgi çekiciliğini yitirmesinden kaynaklanabileceği ile açıklanabilir. Ayrıca kısa süreli uygulamaların etki büyüklüğünün diğerlerine göre yüksek çıkması çalışma sayısının ($k=6$) çok az olmasından kaynaklanabilir. Yine de teknolojinin yoğun ve odaklı kullanıldığı tüm müdahale sürelerinin yüksek düzey etki gösterdiği söylenebilir.

Çalışmayı Uygulayan: Öğretmen ($g = 1.065$) ve araştırmacı ($g = 0.819$) tarafından uygulanan çalışmalar arasında anlamlı fark bulunmaması ($F(1, 65) = 2.42, p = .125$,

$R^2=0.237$), her iki grubun da teknoloji destekli öğretimi etkili biçimde yürütebildiğini göstermektedir. Hmelo-Silver ve arkadaşlarının (2007) bulgularına göre, rehberli keşfedici öğrenme ortamları başarıyı artırmaktadır; öğretmenler bu tür rehberliği sağlamada araştırmacılardan avantajlı olabilir. Bu araştırmada da benzer sonuç bulunup öğretmenin uygulamaları yürüttüğü çalışmalarda daha yüksek etki büyüklüğü elde edilmiştir. Öğretmenlerin yürüttüğü çalışmalarda yüksek etkinin gözlenmesi, öğrencilerin kendi ders öğretmenlerinin anlatımına alışık olmaları ve öğrencilerin daha rahat olmaları ile açıklanabilir. Ancak, her iki grupta da etkili sonuçların olduğu görülmektedir. R^2 değeri ise heterojenliğin küçük bir kısmını açıklamaktadır.

Ölçüm Aracı: Hazır ölçek ($g = 0.928$) ve araştırmacı tarafından geliştirilen ölçek ($g = 0.943$) kullanan çalışmalar arasında anlamlı fark bulunmaması ($F(1, 65) = 0.02, p = .887$), ölçme araçlarının genel olarak güvenilir ve geçerli olduğunu göstermektedir. Bu durum teknoloji destekli öğretimin etkisinin ölçme aracından ziyade öğretim sürecinin niteliği ile ilişkili olduğunu ve kullanılan araçların genel olarak yeterli ölçme gücüne sahip olduğunu göstermektedir.

5.2 Teknoloji Destekli Öğretimin Tutuma Etkisi

Meta-Analiz 2’de 29 birincil çalışmadan elde edilen 30 etki büyüklüğünün analizi, teknoloji destekli öğretimin mevcut öğretime kıyasla cebire/matematiğe yönelik tutum üzerinde küçük düzeyde pozitif etkiye ($g = 0.260$) sahip olduğunu ortaya koymuştur. Bu bulgu, Thalheimer ve Cook’un (2002) sınıflandırmasına göre “küçük” etki düzeyindedir.

Bu bulgu, tutum gibi duyuşsal değişkenlerin bilişsel değişkenlere kıyasla değişime daha dirençli olduğu genel eğilimiyle tutarlıdır. McLeod (1992), tutumların uzun vadede gelişen ve değişmesi zor yapılar olduğunu belirtmektedir. Hannula (2002), tutum değişiminin zaman gerektirdiğini ve kısa süreli müdahalelerin sınırlı etki gösterebildiğini vurgulamaktadır.

Ulusal ve uluslararası meta-analiz çalışmalarıyla karşılaştırıldığında, bu bulgu benzer sonuçlar ortaya koymaktadır. Özdemir, Aslaner ve Açıkgül (2020), bilgisayar destekli matematik öğretiminin Türkiye’de tutuma etkisini $g = 0.54$ olarak raporlamışlardır. Baydaş ve Göktaş (2017), teknoloji destekli öğrenme ortamlarının tutum üzerinde pozitif etkileri olduğunu belirtmişlerdir. Pierce, Stacey ve Barkatsas (2007), teknolojinin motivasyonel ve bilişsel mekanizmalar aracılığıyla tutumu etkilediğini bulmuşlardır. Bu

çalışmanın bulgusu ($g = 0.260$), Özdemir ve arkadaşlarının bulgusundan düşüktür; bu fark, mevcut araştırmanın yalnızca cebir alanına odaklanmasından kaynaklanabilir.

Cebir, öğrencilerin genellikle zorlayıcı bulduğu ve olumsuz tutum geliştirdiği bir alandır (İlhan, Aslaner ve Doğan, 2022). Dede ve Argün (2003), öğrencilerin cebirsel kavramlarda yaşadıkları güçlüklerin olumsuz tutum gelişimine yol açtığını belirtmektedir. Bu bağlamda, teknoloji destekli öğretimin küçük de olsa pozitif bir etki göstermesi, önemli bir pedagojik kazanımdır. Teknolojinin sunduğu görselleştirme, anında geri bildirim ve etkileşimli deneyimler, öğrencilerin cebiri daha anlamlı ve eğlenceli bulmasına katkıda bulunabilmektedir.

Tutum ve Başarı Arasındaki Fark

Bu çalışmada başarı ($g = 0.940$) ve tutum ($g = 0.260$) üzerindeki etki büyüklükleri arasında önemli bir fark gözlenmiştir. Bu bulgu, alanyazındaki genel eğilimle tutarlıdır. Ma ve Kishor (1997), matematik tutumu ile başarı arasında pozitif ancak orta düzeyde bir ilişki ($r = 0.30$) olduğunu bulmuşlardır. Tutum ve başarı birbiriyle ilişkili olmakla birlikte, farklı mekanizmalarla şekillenmektedir.

Teknoloji destekli öğretimin başarı üzerinde daha güçlü etki göstermesi, bu yaklaşımın bilişsel süreçleri daha doğrudan desteklemesiyle açıklanabilir. Tutum ise daha karmaşık, çok boyutlu ve uzun vadede değişen bir yapıya sahiptir. Bandura'nın (1997) öz-yeterlik kuramına göre, olumlu performans deneyimleri öz-yeterlik inancını güçlendirerek tutumları olumlu etkilemektedir. Ancak bu süreç, tekrarlayan başarı deneyimleri ve olumlu geri bildirimler gerektirmektedir. Kısa süreli müdahalelerde öğrenciler başarı artışı yaşasalar bile, bu deneyimlerin tutuma yansması zaman alabilmektedir.

5.2.1 Yayın yanlılığı değerlendirmesi

Tutuma ilişkin bu meta-analizde huni grafiğinde çalışmalar simetrik bir dağılım göstermektedir. Bu durum önemli düzeyde yayın yanlılığının olmadığını görsel olarak desteklemektedir. Ancak kesin bir sonuca varabilmek amacıyla diğer istatistiksel yöntemler de ayrıca değerlendirilmiştir. Yapılan Meta-Regresyon Testi sonucu ($z = 1,760$, $p = 0,078$) ve Egger Testi sonucu ($t(28) = 1,879$, $p = 0,071$) istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır. Sonuç olarak hem testler hem de huni grafiği yayın yanlılığının olmadığını göstermektedir. Ancak trim-and-fill analizi 9 eksik çalışma tahmin etmiş ve düzeltilmiş etki büyüklüğünü $g = 0.102$ 'ye düşürmüştür. Bu değer istatistiksel olarak anlamsızdır. Bu durum, tutum üzerindeki etkinin dikkatli yorumlanması gerektiğini

göstermektedir. Meta analizdeki etki büyüklüğü değeri, muhtemelen gerçek etkiyi bir miktar abartmaktadır.

Özellikle dikkat çekici olan, tutum için tahmin aralığının $[-0.376, 0.896]$ arasında değişmesi ve alt sınırın negatif olmasıdır. Bu, gelecekteki bazı çalışmalarda teknoloji destekli öğretimin tutum üzerinde negatif etki de gösterebileceğine işaret etmektedir. Nitekim Canevi (2019) çalışması, negatif etki büyüklüğü ($g = -1.04$) raporlamıştır. Bu durum, teknoloji entegrasyonunun her zaman olumlu olmayabileceğini; uygulamanın kalitesine, öğretmen yeterliğine ve öğrenci özelliklerine bağlı olarak değişebileceğini göstermektedir.

5.2.2 Moderatör analizi

Örneklem Büyüklüğü

Örneklem büyüklüğü, tutum için de anlamlı bir moderatör olarak bulunmuştur ($F(2, 27) = 3.44, p = .047, R^2 = \%34.78$). Küçük örneklemli çalışmalarda etki büyüklüğü ($g = 0.360$), orta örneklemli çalışmalarda ($g = 0.242$) olup orta örneklemli çalışmalarda daha düşük bulunmuştur. Büyük örneklemli çalışma sayısı sadece bir tane olduğu için bu grup karşılaştırmaya dâhil edilmemiştir. Bu bulgu, akademik başarı için bulunan örüntüden farklıdır ve tutum çalışmalarında küçük örneklemli çalışmaların etkisinin varlığına işaret etmektedir. R^2 değeri, Cohen'in (1988) sınıflandırmasına göre yüksek düzey bir değer olup toplam varyansın yaklaşık $\%35$ 'ini açıklamaktadır.

Bu çelişkili bulgular, başarı ve tutum yapılarının farklı doğasını yansıtmaktadır. Başarı, standartlaştırılmış testlerle ölçülen ve örneklem büyüklüğünden bağımsız olarak tutarlı sonuçlar üreten bir yapıdır. Tutum ise öz-bildirim ölçeklerine dayanan, bağlamsal faktörlerden ve araştırma koşullarından daha fazla etkilenen bir yapıdır.

Diğer Moderatörler

Çalışmanın yılı, öğretim kademesi, alt öğrenme alanı, teknoloji türü, uygulama süresi, çalışmayı uygulayan kişi ve ölçüm aracı moderatörleri tutum için anlamlı bulunmamıştır. Bu sonuçlar, tutum değişiminin daha karmaşık bir yapıya sahip olduğunu ve çalışma özelliklerinden çok bireysel farklılıklara ve bağlamsal faktörlere bağlı olduğunu göstermektedir.

Çalışmanın Yılı: Analizde kullanılan erken dönem ($g=0,322$), orta dönem ($g=0,066$) ve yeni dönem ($g=0,413$) sınıflandırmalarının etki büyüklükleri pozitif olmasına rağmen

anlamli bulunmamıştır ($F=2,15$, $p=0,136$). Dönemler arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık olmadığı söylenebilir. Buna karşın R^2 değeri %14,23 olması heterojenliğin bir kısmının bu moderatör tarafından açıklandığını göstermektedir. Literatürde de benzer şekilde, teknolojinin etkililiğinin teknoloji türü veya dönemselliğinden ziyade pedagojik tasarım, etkileşim düzeyi ve öğretmen yönlendirmesi gibi süreç değişkenlerinden etkilendiği belirtilmektedir (Clark, 1994; Tamim vd., 2011).

Öğretim kademesi: İlköğretim ($g=0,334$), ortaöğretim ($g=0,153$) ve yükseköğretim ($g=0,312$) alt gruplarında etki büyüklüklerinin pozitif olduğu görülmektedir. Ancak öğretim kademesine göre anlamlı bir farklılık bulunmamıştır ($F = 0,59$; $p = 0,562$). Bu bulgu farklı yaş ve eğitim seviyelerinde teknoloji destekli öğretimin benzer etkiye sahip olduğunu göstermektedir. Ortaöğretimde etki büyüklüğünün diğer kademelere göre daha düşük olması ortaöğretim konularının soyut ve zor olmasının olumsuz tutum geliştirmesinden kaynaklanabileceği söylenebilir.

Alt Öğrenme Alanı: Cebirsel düşünme ($g=0,287$), denklemler ve eşitsizlikler ($g=0,381$) fonksiyonlar ve grafikler ($g=0,221$) ve ileri cebir ($g=0,206$) alt alanların etki büyüklükleri birbirine yakın ve pozitif olduğu görülmektedir. Bu moderatör değişken istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır ($F=0,21$, $p=0,887$). Bu durum cebirin farklı alt alanlarında teknoloji kullanımının tutum üzerinde benzer düzeyde etki gösterdiğini düşündürmektedir. Literatürde teknoloji etkisinin konu türünden ziyade teknoloji-pedagoji-icerik uyumuyla belirlendiği belirtilmektedir (Mishra ve Koehler, 2006).

Öğretim Teknolojisi Türü: Alt grupların etki büyüklükleri değeri, dinamik matematik yazılımları ($g=0,208$), web tabanlı teknolojiler ($g=0,313$) ve dijital içerik platformları ($g=0,451$) olup pozitif yönde bir etki olduğu görülmektedir. Etki büyüklükleri arasında farklılıklar gözlense de moderatör istatistiksel olarak anlamlı değildir ($F=0,62$, $p=0,546$). Bu bulgu ile, teknolojinin tek başına yeterli olmadığını öğretim tasarımıyla bütünleştirildiğinde daha etkili olabileceği söylenebilir. Nitekim Clark (1994) ve Kozma (2003) arasındaki tartışmalarda da “teknoloji değil, teknolojiyle gerçekleştirilen öğretimsel stratejiler öğrenmeyi etkiler” ifadesiyle konuya vurgu yapılmıştır.

Uygulama Süresi: Tutum için uygulama süresinin anlamlı olmaması ($F(2, 27) = 0,89$, $p=0,423$), hem kısa ($g = g=0,498$), hem orta ($g=0,159$) hem de uzun süreli ($g=0,261$) uygulamaların benzer etkiler gösterdiğini ortaya koymaktadır. Hannula (2002), tutum değişiminin doğrusal olmadığını; kısa vadeli olumlu deneyimlerin hızlı etki

gösterebildiğini ancak uzun vadede pekiştirilmediği takdirde azalabileceğini belirtmektedir. Meta analiz bulgusuna bakıldığında da kısa süreli uygulamaların diğer uygulama sürelerine göre daha etkili olduğu görülmektedir. Bu durum zamanla teknolojinin ilgi çekiciliğinin azalmasından kaynaklanabileceği ile açıklanabilir.

Çalışmayı Uygulayan: Öğretmen ($g=0,275$) ve araştırmacı ($g=0,247$) alt gruplarının etki büyüklüklerinin birbirine yakın olduğu görülmektedir. Moderatör istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır ($F=0,03$, $p=0,854$). Bu bulgu, uygulayıcının kim olduğunun teknoloji destekli öğretimin etkililiğini sistematik olarak değiştirmediğini göstermektedir.

Ölçüm Aracı: Hazır ölçeğin kullanıldığı çalışmaların etki büyüklüğü ($g=0,247$) ve araştırmacının hazırladığı ölçeklerin kullanıldığı çalışmaların etki büyüklüğü ($g=0,460$) olarak hesaplanmıştır. Araştırmacı tarafından geliştirilen ölçeğin kullanıldığı alt grubun etki büyüklüğünün, hazır ölçeğin kullanıldığı alt gruba göre yüksek olması çalışma sayısının çok az olmasından kaynaklanabilir. Yine de her iki grupta pozitif bir etki olduğu görülmektedir. Ancak moderatör istatistiksel olarak anlamlı değildir ($F=0,45$, $p=0,510$). Meta-analiz literatürü, araştırmacının geliştirdiği ölçme araçlarının bazen araştırma hipoteziyle daha uyumlu olduğundan etkileri biraz daha yüksek gösterebildiğini belirtir (Lipsey ve Wilson, 2001). Ancak bu çalışmada örneklem sınırlılığı nedeniyle sonuç genellenebilir değildir.

Bu meta-analiz çalışması, teknoloji destekli öğretimin Türkiye’de cebir öğrenme alanında hem bilişsel (başarı) hem de duyuşsal (tutum) çıktılar üzerinde olumlu etkiler gösterdiğini ortaya koymaktadır. Başarı için yüksek düzeyde ($g = 0.940$), tutum için küçük düzeyde ($g = 0.260$) pozitif etkiler saptanmıştır. Bu bulgular, alanyazınla tutarlı olup, teknoloji entegrasyonunun cebir öğretiminde önemli bir pedagojik araç olduğunu desteklemektedir.

Moderatör analizleri, başarı için öğretim kademesi ve örneklem büyüklüğünün; tutum için yalnızca örneklem büyüklüğünün anlamlı moderatörler olduğunu göstermiştir. Bu bulgular, teknoloji destekli öğretimin etkisinin evrensel olmadığını; öğretim düzeyi ve çalışma ölçeğine göre değişebildiğini ortaya koymaktadır. Özellikle ortaöğretim düzeyinde yüksek etkiler gözlenmesi, bu kademedeki teknoloji entegrasyonuna öncelik verilmesi gerektiğini düşündürmektedir.

Bununla birlikte, çalışma yılı, teknoloji türü, uygulama süresi gibi moderatörlerin anlamlı olmaması, teknolojinin genel olarak etkili olduğunu; ancak etkililik için kritik olanın

teknolojinin türünden çok nasıl kullanıldığı olduğunu göstermektedir. Bu durum, Mishra ve Koehler'in (2006) TPAB modeliyle uyumludur; teknolojinin pedagojik içerik bilgisi ile entegre edilmesi, başarının anahtarıdır.

Yayın yanlılığı analizleri, Meta-Analiz 1 için yayın yanlılığının varlığını göstermiş ancak düzeltme sonrasında etki büyüklüğü hâlâ orta-yüksek düzeyde kalmıştır ($g = 0.791$). Meta-Analiz 2 için Egger testi anlamlı değildir ancak trim-and-fill düzeltmesi etki büyüklüğünü anlamsız düzeye düşürmüştür. Bu durum, tutum bulgularının dikkatli yorumlanması gerektiğini göstermektedir.

5.3 Sonuç

Bu meta-analiz çalışması, teknoloji destekli öğretimin Türkiye'de cebir öğrenme alanında hem akademik başarıyı hem de tutumu olumlu yönde etkilediğini kanıtlamaktadır. Başarı için yüksek ($g = 0.940$), tutum için küçük ($g = 0.260$) düzeyde pozitif etkiler saptanmıştır. Öğretim kademesi ve örneklem büyüklüğü önemli moderatörler olup, ortaöğretim düzeyinde daha yüksek etkiler gözlenmektedir.

Bu bulgular, FATİH Projesi, EBA platformu ve 2024 Türkiye Yüzyılı Maarif Modeli gibi ulusal teknoloji entegrasyon politikalarının doğru yönde olduğunu ve meyvelerini vermeye başladığını göstermektedir. Ancak, teknolojinin tam potansiyelinden yararlanabilmek için öğretmenlerin teknopedagojik yeterliklerinin geliştirilmesi, uzun vadeli tutum geliştirme programlarının tasarlanması ve büyük ölçekli, sistematik müdahalelerin yürütülmesi gerekmektedir.

Sonuç olarak, teknoloji destekli öğretim, 21. yüzyıl eğitiminin vazgeçilmez bir bileşenidir. Cebir gibi soyut ve zorlayıcı konuların öğretiminde, teknoloji öğrencilere kavramsal anlayış, problem çözme becerileri ve matematiğe yönelik olumlu tutum kazandırmada güçlü bir araçtır. Bu meta-analiz, Türkiye'de cebir öğrenme alanına özgü, bilişsel ve duyuşsal çıktıları paralel inceleyen, moderatörleri sistematik olarak modelleyen ve güncel programlarla ilişkilendiren ilk kapsamlı sentez olma özelliği taşımaktadır. Bulgular, yalnızca “teknoloji kullanılmalı mı?” sorusunu yanıtlamakla kalmayıp, “hangi koşullarda daha etkili?” sorusuna da ölçülebilir yanıtlar sunmakta; politika yapıcılara, program geliştiricilere, öğretmenlere ve araştırmacılara kanıta dayalı kararlar almaları için önemli bir kaynak oluşturmaktadır. Bu araştırma, Türkiye'de cebir öğrenme alanında teknoloji destekli öğretimin etkililiğini sistematik olarak

değerlendirmeyi amaçlamıştır. İki paralel meta-analiz yoluyla elde edilen bulgular, aşağıdaki sonuçlara işaret etmektedir:

1. Teknoloji destekli öğretim, mevcut öğretime kıyasla cebir başarısı üzerinde yüksek düzeyde pozitif etkiye sahiptir ($g = 0.940$). Bu bulgu, teknoloji entegrasyonunun cebir öğretiminde önemli bir pedagojik araç olduğunu kanıtlamaktadır. Soyut cebirsel kavramların dinamik olarak görselleştirilmesi, öğrencilerin kavramsal anlayışını ve problem çözme becerilerini önemli ölçüde geliştirmektedir.
2. Teknoloji destekli öğretim, mevcut öğretime kıyasla cebire/matematiğe yönelik tutum üzerinde küçük düzeyde pozitif etkiye sahiptir ($g = 0.260$). Tutum değişimi, başarıya kıyasla daha yavaş gerçekleşmekte ve daha dirençli bir yapıya sahiptir. Ancak pozitif yöndeki etkinin, öğrencilerin cebiri daha anlamlı ve eğlenceli bulmasına katkıda bulunduğu söylenebilir.
3. Öğretim kademesi, başarı için anlamlı bir moderatördür; ortaöğretimde en yüksek etki gözlenmektedir. Bu bulgu, ortaöğretim düzeyinde cebir müfredatının dinamik görselleştirmelerden en fazla faydalanabilecek nitelikte olduğunu ve bu kademedeki teknoloji entegrasyonuna öncelik verilmesi gerektiğini göstermektedir.
4. Örneklem büyüklüğü, hem başarı hem de tutum için anlamlı bir moderatördür. Başarıda büyük örneklemli çalışmalar daha yüksek etki gösterirken, tutumda küçük örneklemli çalışmalar daha yüksek etki göstermektedir. Bu çelişkili bulgular, iki yapının farklı doğasını yansıtmaktadır.
5. Teknoloji türü, uygulama süresi, çalışmanın yılı gibi moderatörlerin anlamlı olmaması, tüm teknoloji türlerinin ve uygulama sürelerinin etkili olduğunu göstermektedir. Kritik olan nokta, teknolojinin türünden çok nasıl kullanıldığıdır. Pedagojik orkestrasyon ve öğretmenlerin teknopedagojik yeterlikleri, başarının anahtarıdır.
6. Yayın yanlılığı değerlendirmesi, başarı için düzeltme sonrasında bile etkinin orta-yüksek düzeyde kaldığını ($g = 0.791$); tutum için ise düzeltme sonrasında etkinin anlamsız düzeye düştüğünü ($g = 0.102$) göstermiştir.
7. Türkiye bağlamında elde edilen etki büyüklükleri, bazı uluslararası meta-analizlerden daha yüksektir. Bu durum, FATİH Projesi ve EBA gibi ulusal altyapı

yatırımlarının meyvelerini vermeye başladığını ve Türk eğitim sisteminde teknoloji entegrasyonunun başarılı bir şekilde gerçekleştiğini göstermektedir.

Sonuç olarak, bu meta-analiz çalışması, teknoloji destekli öğretimin Türkiye’de cebir öğrenme alanında hem bilişsel hem de duyuşsal çıktılar üzerinde olumlu etkiler gösterdiğini kanıtlamaktadır. Bu bulgular, politika yapıcılar, program geliştiriciler ve öğretmenler için önemli içgörüler sunmakta ve teknoloji entegrasyonunun cebir öğretiminde kritik bir bileşen olduğunu vurgulamaktadır.

5.4 Öneriler

- ✓ Bu araştırma sonucunda teknoloji destekli öğretimin cebir öğrenme alanında bilişsel ve duyuşsal öğrenme çıktıları üzerinde olumlu etkiler sağladığı görülmüştür. Dolayısıyla matematik derslerinde yaygın kullanılması öğrencilere olumlu katkılar sağlayacaktır.
- ✓ Bu çalışmada teknoloji destekli öğretimin cebir alanında başarı ve tutum üzerindeki etkisi incelenmiştir. Benzer şekilde yapılacak çalışmaların matematiğin farklı alt öğrenme alanları ve farklı öğrenme çıktıları üzerindeki etkileri incelenebilir.
- ✓ Bu çalışmanın bulguları, ortaöğretim düzeyinde teknoloji destekli öğretimin en yüksek etkiyi gösterdiğini ortaya koymuştur. Bu nedenle ortaöğretim matematik müfredatına dinamik matematik yazılımlarının entegrasyonuna daha fazla yer verilebilir ve aktif kullanılmasının faydalı olacağı söylenebilir.
- ✓ Uygulama süresi uzadıkça teknoloji destekli öğretimin başarı ve tutuma etkisinin bir miktar azaldığı gözlenmiştir. Bu sebeple öğretim faaliyetleri tasarlanırken çok uzun süreli olmamasına dikkat edilmesi önerilebilir.
- ✓ Bu çalışmada cebire/matematiğe yönelik tutum üzerindeki etki araştırılırken uygulanan ölçeklerin çoğunluğunun matematiğe yönelik tutum ölçekleri olduğu tespit edilmiştir. Cebire özgü tutum ölçeklerinin geliştirilmesi, tutum değişiminin daha hassas biçimde ölçülmesine olanak tanıyabilir. Araştırmacıların geçerli ve güvenilir cebir alanına yönelik tutum ölçüm araçları geliştirmeleri önerilebilir.
- ✓ Araştırma sonucunda teknolojinin tek başına yeterli olmadığını öğretim tasarımıyla bütünleştirildiğinde daha etkili olabileceği söylenebilir. Bu sebeple öğretmenlerin, öğrenme hedeflerine ve öğrenci özelliklerine uygun teknoloji türlerini seçmeleri ve çeşitlilik sağlamaları önerilebilir.

- ✓ Bu meta analiz sonucunda cebir öğrenme alanında büyük örneklemli çalışma sayısının ($k=3$) çok az olduğu görülmüştür. Araştırmacılara büyük örneklemli daha kapsamlı gruplarla çalışma yapılması önerilebilir.
- ✓ Meta analiz çalışmalarının geniş literatür taraması gerektirdiği ve verilerin kaydının önem arz ettiği söylenebilir. Bu sebeple sistematik bir şekilde kayıt yapılarak verilerin toplanması önerilebilir.
- ✓ Meta analiz çalışmalarında detaylı kodlama rehberlerinin oluşturulmasının önem arz ettiği belirtilebilir.

5.5 Araştırmanın Sınırlılıkları

Bu meta-analiz çalışmasının bulgularının yorumlanmasında aşağıdaki sınırlılıklar göz önünde bulundurulmalıdır:

1. **Coğrafi Kapsam:** Araştırma yalnızca Türkiye’de yapılmış çalışmaları içermektedir. Bulgular, Türk eğitim sistemine özgü bağlamsal faktörleri yansıtmakta olup, diğer ülkelere doğrudan genellenemez.
2. **Dil Sınırlılığı:** Yalnızca Türkçe ve İngilizce yayımlanmış çalışmalar dâhil edilmiştir.
3. **Yayın Yanlılığı:** Meta-Analiz 1’de yayın yanlılığı tespit edilmiştir. Meta-Analiz 2’de ise trim-and-fill düzeltmesi sonrasında etki büyüklüğü anlamsız düzeye düşmüştür.
4. **Heterojenlik:** Meta-Analiz 1’de yüksek düzeyde heterojenlik ($I^2 = \%80.09$) tespit edilmiştir. Moderatör analizleri heterojenliğin yalnızca bir kısmını açıklayabilmiştir.
5. **Moderatör Sınırlılığı:** Öğrenci özellikleri (ön bilgi, sosyoekonomik düzey, cinsiyet), öğretmen özellikleri (teknoloji yeterliliği, deneyim) ve sınıf özellikleri birincil çalışmalarda yeterince raporlanmadığından analiz edilememiştir.
6. **Bağımlı Değişken Sınırlılığı:** Yalnızca akademik başarı ve tutum incelenmiştir. Motivasyon, kaygı ve kalıcılık gibi diğer önemli çıktılar kapsam dışındadır.
7. **Çalışma Kalitesi:** Birincil çalışmaların metodolojik kalitesi değişkenlik göstermektedir.

8. **Tutum Ölçekleri:** Çalışmaların çoğu “matematiğe yönelik tutum” ölçekleri kullanmıştır; cebire özgü tutum ölçekleri sınırlıdır.



KAYNAKLAR

- Akciğer, S. (2019). Dinamik geometri yazılımı geometer's sketchpad kullanımının 12. Sınıf öğrencilerinin türev uygulamaları konusundaki akademik başarılarına etkisi ve öğrenci görüşleri. [Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi]. Mersin Üniversitesi.
- Akçakın, V. (2015). Dinamik matematik ortamında geometrik fonksiyon yaklaşımı kullanımının 9. sınıf öğrencilerin fonksiyonlar konusundaki akademik başarılarına ve matematik öğrenmeye yönelik motivasyonlarına etkisi. [Yayımlanmamış Doktora Tezi]. Gazi Üniversitesi.
- Akkan, Y., & Baki, A. (2016). Investigation of the secondary school students' transition processes from arithmetic to algebra: Usage of symbols and meaning of the letters. *Journal of Bayburt Education Faculty*, 11(2), 270-305.
- Akkan, Y., Baki, A., & Çakıroğlu, Ü. (2011). Differences between arithmetic and algebra: Importance of prealgebra. *Elementary Education Online*, 10(3), 812-823.
- Akkan, Y., Baki, A., & Çakıroğlu, Ü. (2019). Ortaokul matematik öğretmenlerinin aritmetik ve cebir problemleri hakkındaki inanışları. *Erzincan Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 21(1), 156-176. <https://doi.org/10.17556/erziefd.431583>
- Akkoç, H. (2006). Fonksiyon kavramının çoklu temsillerinin çağrıştırdığı kavram görüntüleri. *Hacettepe Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 30, 1-10.
- Aksoy, Y. (2007). Türev kavramının öğretiminde bilgisayar cebiri sistemlerinin etkisi. [Yayımlanmamış Doktora Tezi]. Gazi Üniversitesi.
- Aktümen, M. (2007). Belirli integral kavramının öğretiminde bilgisayar cebiri sistemlerinin etkisi. [Yayımlanmamış Doktora Tezi]. Gazi Üniversitesi.
- Altınbaş, A. A. (2021). Lineer cebir dersinde çoklu temsil temelli ve probleme dayalı öğretimin öğretmen adaylarının düşünme yapılarına ve anlama boyutlarına, akademik başarılarına ve özyeterlik algılarına etkisi. [Yayımlanmamış Doktora Tezi]. Necmettin Erbakan Üniversitesi
- Anohina, A. (2005). Analysis of the terminology used in the field of virtual learning. *Educational Technology & Society*, 8(3), 91-102.
- Arcavi, A. (1994). Symbol sense: Informal sense-making in formal mathematics. *For the Learning of Mathematics*, 14(3), 24-35.
- Ardıç, M. A. (2016). Ortaöğretim matematik öğretmenlerinin bilgisayar cebiri sistemleriyle matematik öğretimini gerçekleştirme düzeyleri ve sınıf içi uygulamaların öğrenci başarısına etkisi. [Yayımlanmamış Doktora Tezi]. Atatürk Üniversitesi
- Ayan, Y. Ç. (2023). Hibrit öz düzenlemeli öğrenme modelinin yedinci sınıf öğrencilerinin cebir başarılarına ve öz düzenleme becerilerine etkisi. [Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi]. Atatürk Üniversitesi.

- Aydın-Güç, F., & Aygün, D. (2021). Errors and misconceptions of eighth-grade students in algebraic expressions. *Journal of Research in Mathematics Education*, 10(3), 241-263. <https://files.eric.ed.gov/fulltext/EJ1294052.pdf>
- Bacak, F. (2024). Flow chart uygulamasının 7. sınıf öğrencilerinin cebirsel ifadeler konusundaki başarı ve tutumlarına etkisi. [Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi]. Hacettepe Üniversitesi.
- Bakar, S. (2018). Ortaöğretim 12. Sınıfta okuyan öğrencilerin türev öğretiminde teknoloji kullanımının öğrencilerin başarısına ve matematiksel inancına, yansıtıcı düşüncesine ve matematik tutumuna etkisi. [Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi]. Balıkesir Üniversitesi.
- Baki, A. ve Gürsoy, K. (2020). Bilgisayar destekli matematik öğretiminin matematik dersindeki akademik başarıya etkisi: Bir meta-analiz çalışması. *Turkish Journal of Mathematics Education*, 1(1), 31-56.
- Bandura, A. (1997). Self-efficacy: The exercise of control. W.H. Freeman.
- Bayturan, S. (2011). Ortaöğretim matematik eğitiminde bilgisayar destekli öğretimin, öğrencilerin başarıları, tutumları ve bilgisayar öz-yeterlik algıları üzerindeki etkisi. [Yayımlanmamış Doktora Tezi]. Dokuz Eylül Üniversitesi.
- Bennett, D. A., Latham, N. K., Stretton, C., & Anderson, C. S. (2004). Capture-recapture is a potentially useful method for assessing publication bias. *Journal of Clinical Epidemiology*, 57(4), 349-357.
- Bilen, Ö. (2016). e-çalışma yapraklarının ortaöğretim (lise) matematik öğrencileri üzerindeki bilişsel ve duyuşsal etkilerinin incelenmesi. [Yayımlanmamış Doktora Tezi]. Atatürk Üniversitesi.
- Borenstein, M., Hedges, L. V., Higgins, J. P. T., & Rothstein, H. R. (2009). *Introduction to Meta-Analysis*. Wiley.
- Borenstein, M., Hedges, L. V., Higgins, J. P. T., & Rothstein, H. R. (2011). *Introduction to meta-analysis*. John Wiley & Sons.
- Borrowski, T. (2019). The Battelle for Kids P21 Framework for 21st Century Learning. In *P21 Partnership for 21st Century Learning*. University of Illinois at Chicago.
- Budiyar, S. (2018). Fatih projesi kapsamındaki z-kitap uygulamasının 7. sınıf öğrencilerinin matematik dersine yönelik tutum, motivasyon ve başarısına etkisi. [Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi]. Afyon Kocatepe Üniversitesi.
- Bulut, M. (2009). İşbirliğine dayalı yapılandırmacı öğrenme ortamlarında kullanılan bilgisayar cebir sistemlerinin matematiksel düşünme, öğrenci başarısına ve tutumuna etkisi. [Yayımlanmamış Doktora Tezi]. Gazi Üniversitesi.
- Büyüköztürk, Ş., Akgün, Ö. E., Karadeniz, Ş., Demirel, F. ve Kılıç, E. (2013). *Bilimsel araştırma yöntemleri*. Ankara: Pegem Akademi
- Canevi, K. (2019). Geogebra destekli öğretimin 10.sınıf matematik dersine ait bazı konularda öğrencilerin başarı ve tutumlarına etkisi. [Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi]. Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi.
- Carpenter, T. P., Franke, M. L., & Levi, L. (2003). *Thinking mathematically: Arithmetic and algebra in elementary school*. Heinemann.

- Carraher, D. W., Schliemann, A. D., Brizuela, B. M., & Ernest, D. (2006). Arithmetic and algebra in early mathematics education. *Journal for Research in Mathematics Education*, 37(2), 87-115.
- Ceylan, A. E. (2003). Matematik eğitimine uygun bir öğretim yazılımı prototipi geliştirilmesi, çalışma yapraklarıyla uygulanması. [Yayımlanmamış Doktora Tezi]. Dokuz Eylül Üniversitesi.
- Chauhan, S. (2017). "A meta-analysis of the impact of technology on learning effectiveness." *Computers & Education*, 105, 14–30.
- Cheung, A. C. K., & Slavin, R. E. (2013). The effectiveness of educational technology applications for enhancing mathematics achievement in K-12 classrooms: A meta-analysis. *Educational Research Review*, 9, 88-113.
- Clark, R. E. (1994). Media will never influence learning. *Educational Technology Research and Development*, 42(2), 21–29.
- Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences* (2nd ed.). Academic Press.
- Cooper, H., Hedges, L. V., & Valentine, J. C. (2009). *The Handbook of Research Synthesis and Meta-Analysis*. Russell Sage Foundation.
- Çekmez, E., & Baki, A. (2019). Dinamik matematik yazılımı kullanımının öğrencilerin türev kavramının geometrik boyutuna yönelik anlamalarına etkisi. *Turkish Journal of Computer and Mathematics Education (TURCOMAT)*, 10(1), 30-58. <https://doi.org/10.16949/turkbilmat.419038>
- Çetin, Y. ve Mirasyedioğlu, Ş. (2019). Teknoloji destekli problem dayalı öğretim uygulamalarının matematik başarısına etkisi. *Bilgisayar ve Eğitim Araştırmaları Dergisi*, 7(13), 13-34. <https://doi.org/10.18009/jcer.494907>
- Dede, Y., & Argün, Z. (2003). Cebir, öğrencilere niçin zor gelmektedir? Hacettepe Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi, 24, 42-49.
- Deliktaş, A., Kabukcuoğlu, K., & Kış, A. (2016). Hemşirelikte meta-analiz uygulama süreci: Metodolojiye yönelik bir rehber. *International Journal of Human Sciences*, 13(1), 1906-1925. doi:10.14687/ijhs.v13i1.3668
- Demir, M., Kaya, M., Çelik, A., & Filiz, T. (2024). The effect of technology-based mathematics teaching on mathematics performance: A second-order meta-analysis. *Eğitim Teknolojisi Kuram ve Uygulama*, 14(2), 260-285.
- Di Pietro, G. (2025). A meta-analysis on the effect of technology on disadvantaged students' achievement. *Computers & Education*, 210, 105197. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360131524002112>
- Dikmen, M., & Tuncer, M. (2018). Bilgisayar destekli eğitimin öğrencilerin akademik başarıları üzerindeki etkisinin meta-analizi: Son 10 yılda yapılan çalışmaların incelenmesi. *Turkish Journal of Computer and Mathematics Education*, 9(1), 97-121.
- Dinçer, S. (2014). *Araştırma sentezi: Meta-analiz*. Pegem Akademi.
- Drijvers, P. (2018). Digital assessment of mathematics: Opportunities and pitfalls. In T. Dooley & G. Gueudet (Eds.), *Proceedings of the Tenth Congress of the European Society for Research in Mathematics Education* (pp. 2375-2392). DCU Institute of Education and ERME.

- Drijvers, P., & Gravemeijer, K. (2005). Computer algebra as an instrument: Examples of algebraic schemes. In D. Guin, K. Ruthven & L. Trouche (Eds.), *The didactical challenge of symbolic calculators* (pp. 163-196). Springer.
- Duval, S., & Tweedie, R. (2000). Trim and fill: A simple funnel-plot-based method of testing and adjusting for publication bias in meta-analysis. *Biometrics*, 56(2), 455-463.
- Elvik, R. (2005). Can we trust the results of meta-analyses? A systematic approach to sensitivity analysis in meta-analyses. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1908(1), 221-229.
- Erbaş, A. K., Çetinkaya, B., & Alacacı, C. (2009). Öğrencilerin basit doğrusal denklemlerin çözümünde karşılaştıkları güçlükler ve kavram yanlışları. *Eğitim ve Bilim*, 34(152), 132-144.
- Erol Işıklı, Ü. (2023). Okul Dışı Öğrenme Ortamlarının Fen Eğitimindeki Etkililiğine Yönelik Bir Meta-Analiz Çalışması. *Artvin Çoruh Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü*.
- Gray, E., & Tall, D. (1994). Duality, ambiguity and flexibility: A proceptual view of simple arithmetic. *Journal for Research in Mathematics Education*, 26(2), 115-141.
- Gurmu, F., & Tesfaye, K. (2024). Effects of GeoGebra-assisted instructional methods on students' conceptual understanding. *Cogent Education*, 11, 2379745. <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/2331186X.2024.2379745>
- Güler, M., Bütüner, S. Ö., Danışman, Ş., & Gürsoy, K. (2022). A meta-analysis of the impact of mobile learning on mathematics achievement. *Education and Information Technologies*, 27(2), 1725-1745.
- Gürbüz, S. ve Şahin, F. (2017). *Sosyal Bilimlerde Araştırma Yöntemleri*. Seçkin Yayıncılık
- Gürsoy, K. (2017). Bilgisayar Destekli Matematik Öğretiminin Akademik Başarıya ve Matematik Dersine Yönelik Tutuma Etkisi: Bir Meta-Analiz ve Meta-Sentez Çalışması. [Yayımlanmamış Doktora Tezi]. Karadeniz Üniversitesi.
- Hannula, M. S. (2002). Attitude towards mathematics: Emotions, expectations and values. *Educational Studies in Mathematics*, 49, 25-46.
- He, A., Jong, C., & Drijvers, P. (2024). Dynamic mathematics software in mathematics education: A systematic review. *Digital Experiences in Mathematics Education*, 10, 84-113.
- He, A., Yuan, W., & Kiliçman, A. (2024). A meta-analysis on the effectiveness of dynamic mathematics software on K-12 students' mathematics learning. *International Journal of Mathematical Education in Science and Technology*. <https://doi.org/10.1080/0020739X.2024.2375257>
- Hedges, L. V., & Olkin, I. (1985). *Statistical methods for meta-analysis*. Academic Press.
- Herscovics, N., & Linchevski, L. (1994). A cognitive gap between arithmetic and algebra. *Educational Studies in Mathematics*, 27, 59-78.
- Hiebert, J., & Lefevre, P. (1986). Conceptual and procedural knowledge in mathematics: An introductory analysis. In J. Hiebert (Ed.), *Conceptual and procedural knowledge: The case of mathematics* (pp. 1-27). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates..

- Higgins, K., Huscroft-D'Angelo, J., & Crawford, L. (2019). Effects of technology in mathematics on achievement, motivation, and attitude: A meta-analysis. *Journal of Educational Computing Research*, 57(2), 283-319. <https://doi.org/10.1177/0735633117748416>
- Hohenwarter, J., Hohenwarter, M., Kreis, Y., & Lavicza, Z. (2008). Teaching and learning calculus with free dynamic mathematics software GeoGebra. 11th International Congress on Mathematical Education, 6-13 Temmuz, Mexico.
- Hohenwarter, M., & Hohenwarter, J. (2009). Introducing dynamic mathematics software to secondary school teachers: The BCSe of GeoGebra. *Journal of Computers in Mathematics and Science Teaching*, 28(2), 135-146.
- Hoyles, C., & Noss, R. (1996). *Windows on mathematical meanings: Learning cultures and computers*. Kluwer.
- Işık, M. (2023). 7. sınıf öğrencilerinin web 2.0 destekli matematik öğretimi yoluyla problem çözme becerilerinin ve tutumlarının incelenmesi. [Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi]. Çukurova Üniversitesi.
- İdil, F. H.ve Narlı, S. (2021). Ortaokul matematik öğretmen adaylarının cebir öğrenme alanına ilişkin alan ve pedagojik alan bilgilerinin incelenmesi. *Dokuz Eylül Üniversitesi Buca Eğitim Fakültesi Dergisi*, 52, 359-391.
- İzgiol, D. (2014). Teknoloji destekli çoklu temsil temelli öğretimin öğrencilerin lineer cebir öğrenimine ve matematiğe yönelik tutumlarına etkisi. [Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi]. Dokuz Eylül Üniversitesi.
- Jones, I., Inglis, M., Gilmore, C., & Evans, R. (2013). Teaching the substitutive conception of the equal sign. *Research in Mathematics Education*, 15(1), 34-49.
- Juandi, D., Kusumah, Y. S., Tamur, M., Perbowo, K. S., & Hermita, N. (2021). A meta-analysis of GeoGebra software: Decade of assisted learning. *Heliyon*, 7(11), e08163.
- Kabaca, T. (2006). Limit kavramının öğretiminde bilgisayar cebiri sistemlerinin etkisi. [Yayımlanmamış Doktora Tezi]. Gazi Üniversitesi.
- Kalafat, H. Z. (2019). Ters yüz sınıf modeli ile tasarlanan matematik dersinin 7. Sınıf öğrencilerinin akademik başarısı üzerine etkisinin incelenmesi. [Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi]. Marmara Üniversitesi.
- Kaput, J. J. (2008). What is algebra? What is algebraic reasoning? In J. J. Kaput, D. W. Carraher, & M. L. Blanton (Eds.), *Algebra in the early grades* (pp. 5-17). Erlbaum.
- Karadağ, E. (2019). *Meta-analiz: Eğitim bilimlerinden örneklerle uygulamalı bir rehber*. Nobel Akademik Yayıncılık.
- Karataş, F. (2021). Morpa kampüs eğitim yazılımının ortaokul 7. Sınıf öğrencilerinin cebir ve denklemler konusundaki akademik başarısına etkisi ve öğrenci görüşleri. [Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi]. Kastamonu Üniversitesi.
- Kaya, A., & Öçal, M. F. (2018). GeoGebra'nın öğrencilerin matematikteki akademik başarılarına etkisi üzerine bir meta-analiz. *Necatibey Faculty of Education Electronic Journal of Science and Mathematics Education*, 12(2), 31-59.
- Kaya, D. (2015). Çoklu temsil temelli öğretimin öğrencilerin cebirsel muhakeme becerilerine, cebirsel düşünme düzeylerine ve matematiğe yönelik tutumlarına etkisi üzerine bir inceleme. [Yayımlanmamış Doktora Tezi]. Dokuz Eylül Üniversitesi.

- Kaya, D., & Keşan, C. (2022). Cebirsel ifadelerin öğretiminde Eğitim Bilişim Ağı (EBA) içeriklerinin öğrencilerin başarılarına ve derse katılımlarına etkisi. *EJER Congress 2022 Tam Metin Bildiri Kitabı*, 281-295.
- Kaya, D., & Keşan, C. (2022). Türkiye’de cebir öğrenme alanında yapılmış lisansüstü tezlerin bibliyometrik profili (2011-2021). *Batı Anadolu Eğitim Bilimleri Dergisi*, 13(1), 400-421.
- Kaya, M., Çelik, A., & Filiz, T. (2024). The effect of technology-based mathematics teaching on mathematics performance: A second-order meta-analysis. *Eğitim Teknolojisi Kuram ve Uygulama*, 14(2), 260-285.
- Kelismail, E. (2019). Eğitim bilişim ağı (eba) destekli öğretimin 6. sınıf öğrencilerinin cebirsel ifadeler alt öğrenme alanında matematik başarılarına ve tutumlarına etkisi. [Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi]. Gazi Üniversitesi.
- Kepçeoğlu, İ. (2010). Geogebra yazılımıyla limit ve süreklilik öğretiminin öğretmen adaylarının başarısına ve kavramsal öğrenmelerine etkisi. [Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi]. Marmara Üniversitesi.
- Kılıç, R., Kul, Ü. & Çelik-Demirci, S. (2025). The effect of technology-enhanced instruction on academic achievement in algebra learning: A meta-analysis study. *Turkish Journal of Mathematics Education*, 6(3), 15-38.
- Kır, İ., & Karadeniz, M. (2018). Meaning of the primary and secondary school students to the equal sign. *Turkish Journal of Teacher Education*, 7(2), 1-19. <https://tujted.com/makale/609>
- Kieran, C. (1992). The learning and teaching of school algebra. In D. A. Grouws (Ed.), *Handbook of research on mathematics teaching and learning* (pp. 390-419). Macmillan.
- Kieran, C. (2007). Learning and teaching algebra at the middle school through college levels. In F. K. Lester (Ed.), *Second handbook of research on mathematics teaching and learning* (pp. 707-762). Information Age Publishing.
- Kieran, C., & Drijvers, P. (2006). The co-emergence of machine techniques, paper-and-pencil techniques, and theoretical reflection. *International Journal of Computers for Mathematical Learning*, 11, 205-263.
- Knuth, E. J., Stephens, A. C., McNeil, N. M., & Alibali, M. W. (2006). Does understanding the equal sign matter? Evidence from solving equations. *Journal for Research in Mathematics Education*, 37(4), 297-312.
- Koç, K. (2022). Teknoloji destekli 5e modeli uygulamasının eşitlik ve denklem konusunda akademik başarıya etkisi. [Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi]. Hacettepe Üniversitesi.
- Kozma, R. (2003). Technology and classroom practices. *Journal of Research on Technology in Education*, 36(1), 1-14.
- Kul, H. (2020). Fonksiyon dönüşümleri konusunun geogebra ile öğretiminin öğrencilerin akademik başarılarına, bilgilerin kalıcılığına ve motivasyonlarına etkisi. [Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi]. Atatürk Üniversitesi.
- Kul, Ü., Çelik, S. ve Aksu, Z. (2018). Eğitim Materyali Kullanımının Matematik Başarısına Etkisi: Bir Meta-Analiz. *Uluslararası Eğitim Dergisi*, 11 (4), 303-324.

- Küchemann, D. (1978). Children's understanding of numerical variables. *Mathematics in School*, 7(4), 23-26.
- Li, Q., & Ma, X. (2010). A meta-analysis of the effects of computer technology on school students' mathematics learning. *Educational Psychology Review*, 22, 215-243.
- Lipsey, M. W., & Wilson, D. B. (2001). The way in which intervention studies have "personality" and why it is important to meta-analysis. *Evaluation & the Health Professions*, 24(3), 236-254.
- Ma, X., & Kishor, N. (1997). Assessing the relationship between attitude toward mathematics and achievement in mathematics: A meta-analysis. *Journal for Research in Mathematics Education*, 28(1), 26-47.
- MacGregor, M., & Stacey, K. (1997). Students' understanding of algebraic notation: 11-15. *Educational Studies in Mathematics*, 33, 1-19.
- Mathur, M. B., & VanderWeele, T. J. (2020). Robust metrics and sensitivity analyses for meta-analyses of heterogeneous effects. *Epidemiology*, 31(3), 356-358. <https://doi.org/10.1097/EDE.0000000000001180>
- Matthews, P. G., & Fuchs, L. S. (2018). Keys to the gate? Equal sign knowledge at second grade predicts fourth-grade algebra competence. *Child Development*, 91(1), 14-28. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC6421116/>
- Mayer, R. E. (2009). *Multimedia learning* (2nd ed.). Cambridge University Press.
- McLeod, D. B. (1992). Research on affect in mathematics education: A reconceptualization. In D. A. Grouws (Ed.), *Handbook of research on mathematics teaching and learning* (pp. 575-596). Macmillan.
- McNeil, N. M. (2014). A change-resistance account of children's difficulties understanding mathematical equivalence. *Child Development Perspectives*, 8, 42-47.
- Mercan, M. (2019). 6. sınıf matematik dersine ait "tam sayılar ve cebirsel ifadeler" konularının scratch destekli öğretiminin akademik başarı, motivasyon ve bilgilerin kalıcılığına etkisi. [Yayımlanmamış Doktora Tezi]. Gazi Üniversitesi.
- Mert, M. (2024). Ters yüz öğrenme modelinin, 6.sınıf cebir öğretimi üzerine etkisinin incelenmesi. [Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi]. Yozgat Bozok Üniversitesi.
- Messick, S. (1995). Validity of psychological assessment: Validation of inferences from persons' responses and performances as scientific inquiry into score meaning. *American Psychologist*, 50(9), 741-749.
- Millî Eğitim Bakanlığı [MEB]. (2013). Ortaokul matematik dersi öğretim programı. MEB Basımevi.
- Millî Eğitim Bakanlığı [MEB]. (2018). Ortaokul matematik dersi öğretim programı. MEB Basımevi.
- Millî Eğitim Bakanlığı [MEB]. (2020). TIMSS 2019 Türkiye ön raporu. MEB Yayinevi.
- Millî Eğitim Bakanlığı [MEB]. (2024). Türkiye Yüzyılı Maarif Modeli Matematik Dersi Öğretim Programı (İlkokul, ortaokul ve lise). MEB Yayinevi.
- Millî Eğitim Bakanlığı. (2018). Matematik Dersi Öğretim Programı (İlkokul ve Ortaokul 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 ve 8. Sınıflar). Ankara: MEB.

- Millî Eğitim Bakanlığı. (2020). TIMSS 2019 Türkiye Ön Raporu: Eğitimde Fırsat Eşitliği. Ankara: MEB Ölçme, Değerlendirme ve Sınav Hizmetleri Genel Müdürlüğü.
- Millî Eğitim Bakanlığı. (2024). Farklılaştırma: Matematik Kılavuzları (1-6). Ankara: MEB. <https://tymm.meb.gov.tr/upload/kitap/farklilastirma-matematik-1.pdf>
- Millî Eğitim Bakanlığı. (2024). Türkiye Yüzyılı Maarif Modeli: Matematik Dersi Öğretim Programı (5-8. Sınıflar). Ankara: MEB. <https://tymm.meb.gov.tr/upload/program/2024programmat1234Onayli.pdf>
- Mishra, P., ve Koehler, M. J. (2006). Technological pedagogical content knowledge. *Teachers College Record*, 108(6), 1017–1054.
- National Council of Teachers of Mathematics [NCTM]. (2000). Principles and standards for school mathematics: An overview. NCTM.
- Niess, M. L. (2005). Preparing teachers to teach science and mathematics with technology: Developing a technology pedagogical content knowledge. *Teaching and Teacher Education*, 21(5), 509-523.
- Okuducu, A. (2020). Scratch destekli matematik öğretiminin 6. sınıf öğrencilerinin cebirsel ifadeler konusundaki akademik başarılarına ve tutumlarına etkisi. [Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi]. Ağrı İbrahim Çeçen Üniversitesi.
- Okur, M. (2006). Cebir paket programları vasıtasıyla izomorfizm kavramının öğretimi. [Yayımlanmamış Doktora Tezi]. Atatürk Üniversitesi.
- Orwin, R. G., & Vevea, J. L. (2009). Evaluating coding decisions. In H. Cooper, L. V. Hedges, & J. C. Valentine (Eds.), *The handbook of research synthesis and meta-analysis* (2nd ed., pp. 177-203). New York, NY: Russell Sage Foundation.
- Öner, A. T. (2009). İlköğretim 7. Sınıf cebir öğretiminde teknoloji destekli öğretimin öğrencilerin erişim düzeyine, tutumlarına ve kalıcılığa etkisi. [Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi]. Dokuz Eylül Üniversitesi.
- Özbey, A., & Koparan, T. (2020). Eşitlik ve denklem konusunda eğitim bilişim ağı (EBA) destekli öğretimin ortaokul öğrencilerinin başarı, tutum ve motivasyonlarına etkisi. *Journal of Computer and Education Research*, 8(16), 453-475. <https://doi.org/10.18009/jcer.718801>
- Özdemir, F., Aslaner, R., & Açıkgül, K. (2020). Bilgisayar Destekli Matematik Öğretiminin Öğrencilerin Matematik Tutumuna Etkisi: Bir Meta-Analiz Çalışması. *İnönü Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 7(13), 18-40. <https://doi.org/10.29129/inujgse.543534>
- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., ... & Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*, 372, n71. <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>
- Pektekin, B. (2023). Web 2.0 araçlarıyla desteklenen cebir öğretiminin 7. Sınıf öğrencilerinin akademik başarı, tutum ve sınav kaygısına etkisi. [Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi]. Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi.
- Philipp, R. (1992). The many uses of algebraic variables. *Mathematics Teacher*, 85, 557-561.
- Pierce, R., & Stacey, K. (2010). Mapping pedagogical opportunities provided by mathematics analysis software. *International Journal of Computers for Mathematical Learning*, 15, 1-20.

- Pierce, R., Stacey, K., & Barkatsas, A. (2007). A scale for monitoring students' attitudes to learning mathematics with technology. *Computers & Education*, 48(2), 285-300.
- Poçan, S. (2019). Mobil teknoloji destekli dikişsiz öğrenme ortamlarının 7. Sınıf cebir ünitesinde ğrenci başarı ve motivasyonuna etkisi ile sürece ilişkin ğrenci ve veli görüşleri. [Yayımlanmamış Doktora Tezi]. İnönü Üniversitesi.
- Polat, V. (2023). Cebirsel ifadeler konusunun ğretiminde web 2.0 araçları kullanımıyla altıncı sınıf ğrencilerinin matematik başarısına ve tutumuna etkisi. [Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi]. Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi.
- Pomerantsev, L., & Korosteleva, O. (2003). Do prospective elementary and middle school teachers understand the structure of algebraic expressions? *Issues in the Undergraduate Mathematics Preparation of School Teachers*, 1, 1-10.
- Preiner, J. (2008). Introducing dynamic mathematics software to mathematics teachers: The BCSe of GeoGebra. University of Salzburg.
- Ran, W., Yuan, W., & Kiliçman, A. (2024). A meta-analysis on the effectiveness of dynamic mathematics software on K-12 students' mathematics learning. *International Journal of Mathematical Education in Science and Technology*. <https://doi.org/10.1080/0020739X.2024.2375257>
- Rittle-Johnson, B., & Alibali, M. W. (1999). Conceptual and procedural knowledge of mathematics: Does one lead to the other? *Journal of Educational Psychology*, 91(1), 175-189.
- Roschelle, J., Shechtman, N., Tatar, D., Hegedus, S., Hopkins, B., Empson, S., Knudsen, J., & Gallagher, L. P. (2010). Integration of technology, curriculum, and professional development for advancing middle school mathematics. *American Educational Research Journal*, 47(4), 833-878.
- Rosen, Y., & Beck-Hill, D. (2012). "Intertwining digital content and a one-to-one laptop environment in teaching and learning: Lessons from the Time to Know program." *Journal of Research on Technology in Education*, 44(3), 225-241.
- Rothstein, H. R., Sutton, A. J., & Borenstein, M. (2005). Publication bias in meta-analysis. In H. R. Rothstein, A. J. Sutton & M. Borenstein (Eds.), *Publication bias in meta-analysis: Prevention, assessment and adjustments*. West Sussex, England: John Wiley & Sons.
- Sarımanoğlu, N. U. (2019). The investigation of middle school students' misconceptions in algebra. *Bayburt Eğitim Fakültesi Dergisi*, 14(27), 131-156. <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/750887>
- Schoenherr, J., Bocková, K., Čeněk, J., Šmahaj, J., & Stuchlíková, I. (2024). Learning with visualizations helps: A meta-analysis. *Thinking Skills and Creativity*, 52, 101334. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1747938X24000484>
- Sevgi, S. (2020). Trigonometrik fonksiyonların grafiklerini yorumlama konusunun geogebra ile tasarlanmış etkinliklerle öğretiminin öğrencilerin akademik başarısına ve kalıcılığa etkisi. [Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi]. Atatürk Üniversitesi.
- Sfard, A. (1995). The development of algebra: Confronting historical and psychological perspectives. *Journal of Mathematical Behavior*, 14(1), 15-39.
- Sfard, A., & Linchevski, L. (1994). The gains and pitfalls of reification: The BCSe of algebra. *Educational Studies in Mathematics*, 26, 191-228.

- Shadish, W. R., Cook, T. D., & Campbell, D. T. (2002). Experimental and quasi-experimental designs for generalized causal inference. Boston: Houghton Mifflin.
- Smith, M. L., & Glass, G. V. (1977). Meta-analysis of psychotherapy outcome studies. *American Psychologist*, 32(9), 752-760.
- Stacey, K., & MacGregor, M. (1997). Building foundations for algebra. *Mathematics in the Middle School*, 2, 253-260.
- Star, J. R. (2005). Reconceptualizing procedural knowledge. *Journal for Research in Mathematics Education*, 36(5), 404-411.
- Şimşek, A. (2013). 9. Sınıf matematik dersi fonksiyon kavramının öğretiminde bilgisayar cebiri sistemlerinin etkisinin incelenmesi. [Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi]. Gazi Üniversitesi.
- Şimşek, Ç. M., & Turanlı, N. (2023). Türkiye’de lineer cebir eğitimi üzerine yapılmış çalışmaların değerlendirilmesi: Bir meta-sentez araştırması. *Manisa Celal Bayar Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 11(2), 280-299.
- Şimşek, K. (2016). Harmanlanmış öğrenme ortamlarında bilgisayar cebiri sistemlerinin matematik öğretimine etkisi. [Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi]. Ege Üniversitesi.
- Şimşek, Ö. (2010). Web destekli matematik öğretiminde kullanılan video derslerin öğrenenlerin türev başarılarına etkisi ve öğrenenlerin video derslere ilişkin görüşleri. [Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi]. Ege Üniversitesi.
- Taban, H. U. (2023). Oyun temelli öğrenme fen eğitiminde ne derece etkilidir? Bir meta-analiz çalışması. [Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi]. Artvin Çoruh Üniversitesi.
- Tamim, R., Bernard, R. M., Borokhovski, E., vd. (2011). “What forty years of research says about the impact of technology on learning.” *Review of Educational Research*, 81(1), 4–28.
- Taşdelen, Z. (2022). Animasyon destekli öğretim sürecinin matematiksel ilişkilendirme becerilerine etkisi: türev kavramı örneği. [Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi]. Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi.
- Taşpınar-Şener, Z. (2023). The impact of technology-mediated applications on mathematics achievement: A meta-analytical review. *International Journal of Education Technology and Scientific Researches*, 8(23), 1977–2010. <https://doi.org/10.35826/ijetsar.624>
- Temur, T. (2022). Sanal manipülatif kullanımının 7. Sınıf cebirsel ifadeler ve denklem konusuna yönelik kavram yanlışlarını gidermede rolü. [Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi]. Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi.
- Thalheimer, W., & Cook, S. (2002). How to calculate effect sizes from published research: A simplified methodology. *Work–Learning Research*.
- Topcu, A. (2011). Elektronik tabloların ortaokul öğrencilerinin cebir öz yeterliliği üzerindeki etkileri. *Uluslararası Matematik Eğitimi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 42 (5), 605–613. <https://doi.org/10.1080/0020739X.2011.562311>
- Tuluk, G. (2007). Fonksiyon kavramının öğretimine bilgisayar cebiri sistemlerinin etkisi. [Yayımlanmamış Doktora Tezi]. Gazi Üniversitesi.

- Turğut, M. (2010). Teknoloji destekli lineer cebir öğretiminin ilköğretim matematik öğretmen adaylarının uzamsal yeteneklerine etkisi. [Yayımlanmamış Doktora Tezi]. Dokuz Eylül Üniversitesi.
- Tuzer Ünsal, G., & Akay, C. (2020). Lise Öğrencilerinin Matematik Başarısı, Kaygısı ve Öğretim Teknolojilerine Yönelik Tutumları Üzerine: geogebra Dinamik Yazılımı. *Kastamonu Education Journal*, 28(1), 234-252. <https://doi.org/10.24106/kefdergi.3538>
- Türkmen, H. (2019). Megedep platformunu kullanan öğretmenlerin sınıf uygulamalarının yansıması: öğrencilerin cebir başarılarının değerlendirilmesi. [Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi]. Anadolu Üniversitesi.
- Usiskin, Z. (1988). Conceptions of school algebra and uses of variables. In A. Coxford (Ed.), *The ideas of algebra, K-12* (pp. 8-19). National Council of Teachers of Mathematics.
- Usiskin, Z. (1997). Doing algebra in grades K-4. *Teaching Children Mathematics*, 3(6), 346-356.
- Uzun, N. (2021). Cebire geçiş sürecini desteklemeye yönelik sanal manipülatiflerin tasarımı, uygulaması ve değerlendirilmesi. [Yayımlanmamış Doktora Tezi]. Trabzon Üniversitesi.
- Üstün, U. (2012). To what extent is problem-based learning effective as compared to traditional teaching in science education? A meta-analysis study. [Yayımlanmamış Doktora Tezi]. Ortadoğu Teknik Üniversitesi.
- Üstün, U. ve Eryılmaz, A. (2014). Etkili araştırma sentezleri yapabilmek için bir araştırma yöntemi: Meta-Analiz. *Eğitim ve Bilim*, 39(174), 1–32.
- Verillon, P., & Rabardel, P. (1995). Cognition and artifacts: A contribution to the study of thought in relation to instrumented activity. *European Journal of Psychology of Education*, 10, 77-101.
- von Glasersfeld, E. (1995). *Radical constructivism: A way of knowing and learning*. Falmer Press.
- Vygotsky, L. S. (1978). *Mind in society: The development of higher psychological processes*. Harvard University Press.
- Yazlık, D. Ö. (2015). Problem çözme basamaklarına dayalı bireyselleştirilmiş web tabanlı matematik öğrenme ortamının tasarlanması, uygulanması, değerlendirilmesi ve öğrenci başarısına etkisi. [Yayımlanmamış Doktora Tezi]. Selçuk Üniversitesi.
- Yenmez, A. A., Koşum, O., Gökçe, S. (2024). How Does GeoGebra Affect Academic Achievement and Self-efficacy Perception in Exponential and Logarithmic Functions?. *Hayef:journal of education* (Online) , 21(2), 127 - 138. doi.org/10.5152/hayef.2024.23045
- Yorgancı, S. (2019). Bilgisayar Destekli Soyut Cebir Öğretiminin Başarıya ve Matematiğe Karşı Tutuma Etkisi: ISETL Örneği. *Turkish Journal of Computer and Mathematics Education (TURCOMAT)*, 10(1), 260-289. <https://doi.org/10.16949/turkbilmat.473030>
- Yorgancı, S. (2020). Matematik Derslerinde Öğrenci Performansını Artırmaya Yönelik Bir Ters Yüz Öğrenme Modeli. *Necatibey Faculty of Education Electronic Journal of*

Science and Mathematics Education, 14(1), 348-371.
<https://doi.org/10.17522/balikesirnef.657197>

Zengin, D. (2019). Bilgisayar destekli öğretim yazılımlarının eşitlik ve denklem konusunun öğretiminde akademik başarıya etkisi. [Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi]. Atatürk Üniversitesi.

Zengin, M. (2015). Autograph programı kullanımının 10. Sınıf öğrencilerinin fonksiyonların simetrileri ve cebirsel özellikleri konusundaki başarısına etkisi. [Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi]. Anadolu Üniversitesi.

Zhang, Y., Cao, Y., Liu, J., Cheung, A. C. K., & Ng, D. (2023). Dynamic visualization by GeoGebra for mathematics learning: A meta-analysis of 20 years of research. Journal of Research on Technology in Education. <https://hub.hku.hk/handle/10722/337512>



İNTİHAL RAPORU İLK SAYFASI

Rabiha KILIÇ Tez Son Teslim Benzerlik

ORJİNALLİK RAPORU

% 8	% 6	% 6	% 3
BENZERLİK ENDEKSİ	İNTERNET KAYNAKLARI	YAYINLAR	ÖĞRENCİ ÖDEVLERİ

BİRİNCİL KAYNAKLAR

1	Submitted to Artvin Āoruh Āniversitesi Öğrenci Ödevi	% 2
2	acikbilim.yok.gov.tr İnternet Kaynağı	% 1
3	dergipark.org.tr İnternet Kaynağı	% 1
4	Ünlü, Veli. "Matematiksel Modelleme ile Öğretimin Matematik Başarısına ve Tutumuna Etkisi: Bir Meta-Analiz Çalışması", Necmettin Erbakan University (Turkey), 2024 Yayın	<% 1
5	core.ac.uk İnternet Kaynağı	<% 1
6	www.researchgate.net İnternet Kaynağı	<% 1
7	www.e-ijer.com İnternet Kaynağı	<% 1
8	Baysal, Yunus Emre. "Farklı Öğretim Uygulamalarının Fen Öğretimi öz Yeterlik İnançları Üzerindeki Etkisi: Bir Meta Analiz Çalışması", Inonu University (Turkey), 2025 Yayın	<% 1
9	Üzüm, Burhan. "Yabancı Dil Öğretiminde Öğrenen Merkezli Yöntemlerin Akademik	<% 1