# YAKLAŞMA KONTROL SİMÜLASYONU EĞİTİMİNDE EGZERSİZ ZORLUK DERECELERİNİN FARKLI GRUPLAR ÜZERİNDEKİ VERİMLİLİK VE PERFORMANS ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

**Çağla YILDIZLAR**

**Yüksek Lisans Tezi**

**Hava Trafik Kontrolü Anabilim Dalı**

**Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Fulya AYBEK ÇETEK**

**Eskişehir**

**Eskişehir Teknik Üniversitesi**

**Lisansüstü Eğitim Enstitüsü**

**Eylül 2022**

*Bu tez çalışması TUBİTAK tarafından kabul edilen 221M224 no.lu proje kapsamında desteklenmiştir.*

## JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

Çağla YILDIZLAR'ın YAKLAŞMA KONTROL SİMÜLASYONU EĞİTİMİNDE EGZERSİZ ZORLUK DERECELERİNİN FARKLI GRUPLAR ÜZERİNDEKİ VERİMLİLİK VE PERFORMANS ETKİLERİNİN İNCELENMESİ başlıklı çalışması 08/09/2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından değerlendirilerek "Eskişehir Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliği"nin ilgili maddeleri uyarınca, Hava Trafik Kontrolü Anabilim dalında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

| **Jüri Üyeleri** | **Unvan Adı Soyadı** | **İmza** |
|---|---|---|
| Üye | : Dr. Öğr. Fulya AYBEK ÇETEK | |
| Üye | : Doç. Dr. Özlem ŞAHİN | |
| Üye | : Doç. Dr. Ramazan Kürşat ÇEÇEN | |

Prof. Dr. Murat TANIŞLI

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

08/09/2022

**DANIŞMAN ONAYI**

Danışmanlığını yürüttüğüm Yüksek Lisans öğrencisi Çağla YILDIZLAR, YAKLAŞMA KONTROL SİMÜLASYONU EĞİTİMİNDE EGZERSİZ ZORLUK DERECELERİNİN FARKLI GRUPLAR ÜZERİNDEKİ VERİMLİLİK VE PERFORMANS ETKİLERİNİN İNCELENMESİ başlıklı tez çalışmasını tamamlamıştır. Hazırlamış olduğu tez tarafımca incelenmiş ve öğrencinin tez savunma sınavına alınması bilimsel ve etik açıdan uygun görülmüştür.

Tez Danışmanı

Dr. Öğr. Üyesi Fulya AYBEK ÇETEK

# ÖZET

YAKLAŞMA KONTROL SİMÜLASYONU EĞİTİMİNDE EGZERSİZ ZORLUK DERECELERİNİN FARKLI GRUPLAR ÜZERİNDEKİ VERİMLİLİK VE PERFORMANS ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

Çağla YILDIZLAR

Hava Trafik Kontrolü Anabilim Dalı

Eskişehir Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Eylül 2022

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Fulya AYBEK ÇETEK

Her geçen yıl karmaşıklaşan hava sahası yapısı ve gelişmiş teknoloji ile desteklenen hava trafik kontrol ünitelerinde çalışacak kontrolörlerin eğitimler sürekli olarak geliştirilmelidir. Eğitim tasarımında yenilikçi yaklaşımlar hava trafik kontrol eğitiminin özellikle uygulamalı alanı için sürekli gelişmeli ve kişilerin farklı öğrenme yapılarına uygun hale getirilmelidir. Bu amaçla, bu çalışmada eğitim tasarımına ışık tutabilecek veriler elde etmek üzere hava trafik kontrol öğrencileri üzerinde gerçek zamanlı simülasyon ortamında deneyler yapılmıştır. Bu deneyler dört farklı zorluk seviyesindeki radar yaklaşma simülatörü egzersiz senaryoları ile uygulanmış ve öğrencilerin performans ve verimlilik incelemesi yapılmıştır. Ayrıca öğrencilerin not ortalamaları, bilişsel yetenek puanları ve söz konusu derste tecrübeli olup olmadığı gibi farklı bireysel özellikleri ile performans ve verimlilik değerleri ilişkilendirilmiştir. Elde edilen veriler doğrultusunda hava trafik kontrol eğitiminde öğrencilerin simülatör derslerindeki başarılarını etkileyen faktörler irdelenmiştir. Deneyler sonucunda deneyimli gruba mensup öğrencilerin verimlilik performanslarının daha yüksek olduğu ve deneyimsiz grubun 1. derece kritik hatalardan sakındığı ancak deneyimli gruba göre verimli çalışamadığı görülmüştür.

**Anahtar Sözcükler:** Hava Trafik Kontrol simülasyon eğitimi, Radar yaklaşma kontrol simülasyonu, Hava trafik kontrol eğitiminde değerlendirme ölçütleri

## ABSTRACT

INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF EXERCISE DIFFICULTY GRADES ON PRODUCTIVITY AND PERFORMANCE ON DIFFERENT GROUPS IN APPROACH CONTROL SIMULATION TRAINING

Çağla YILDIZLAR

Department of Air Traffic Control

Eskişehir Technical University, Institute of Graduate Programs, September 2022

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Fulya AYBEK ÇETEK

The training of the controllers who will work in the air traffic control units supported by the airspace structure and advanced technology, which becomes more complex every year, should be continuously improved. Innovative approaches in education design should be continuously developed especially for the applied field of air traffic control education and should be adapted to different learning structures of individuals. For this purpose, in this study, experiments were carried out on air traffic control students in a real-time simulation environment to obtain data that could shed light on educational design. These experiments were applied with radar approach simulator exercise scenarios at four different difficulty levels and the performance and efficiency of the students were examined. In addition, performance and productivity values were correlated with different individual characteristics such as students' grade point averages, cognitive ability scores and whether they were experienced in the course in question. In line with the data obtained, the factors affecting the success of the students in the simulator courses in air traffic control training were examined. As a result of the experiments, it was seen that the productivity performance of the students belonging to the experienced group was higher and the inexperienced group avoided 1st degree critical mistakes, but could not work efficiently compared to the experienced group.



**Keywords:** Air traffic control simulation training, Radar approach control simulation, Assesment criteria in air traffic control training.

## TEŞEKKÜR

Çalışmalarıma, emeklerinden dolayı danışmanım Sayın Fulya Aybek Çetek'e, katkılarından dolayı Sayın Ebru Yazgan'a, projede yer alan tüm hocalarıma ve arkadaşlarıma, veri işleme sürecindeki yardımları için Kadir Dönmez'e ve tez yazım sürecinde destekçi olan sevgili eşim Tansel Yıldızlar'a çok teşekkür ederim.

Çağla YILDIZLAR

08/09/2022

## ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

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

Çağla YILDIZLAR

# İÇİNDEKİLER

**Sayfa**


**BAŞLIK SAYFASI ..... İ**

**JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI ..... İİ**

**DANIŞMAN ONAYI ..... İİİ**

**ÖZET ..... İV**

**ABSTRACT ..... V**

**TEŞEKKÜR ..... Vİ**

**ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ ..... Vİİ**

**İÇİNDEKİLER ..... Vİİİ**

**TABLOLAR DİZİNİ ..... X**

**ŞEKİLLER DİZİNİ ..... Xİ**

**SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ ..... Xİİ**

**1. GİRİŞ ..... 1**

**1.1. Problemin Tanımı ..... 2**

**1.2. Amaç ..... 3**

**1.3. Çalışmanın Önemi ..... 4**

**1.4. Yöntem ..... 4**

**2. ÇALIŞMANIN TEORİK BAĞLAMI ..... 6**

**2.1. Literatür Taraması ..... 6**

**2.2. Hava Trafik Kontrol Eğitimi ..... 12**

**2.2.1. Teorik eğitim ..... 13**

**2.2.2. Simülatör eğitimi ..... 13**

**2.3. Hava Trafik Kontrol Mesleğinde Bilişsel Yetenek Gereklilikleri ..... 15**

**2.3.1. Bilişsel Yetenek ile Hava Trafik Kontrolörlerinin ilişkisi ..... 16**

**2.3.2. Zihinsel iş yükü ..... 17**

**2.3.3. Seçme süreci ..... 18**

**2.4. Performans ve Verimlilik ..... 19**

**3. DENEY TASARIMI ..... 22**

**3.1. Hava Sahasının Tasarımı ..... 22**

**3.1.1. Hava sahası yapısı ..... 22**

**3.2. Egzersiz Tasarımı ..... 24**

**3.3. Katılımcılar ..... 31**

**3.4. Veri Toplama ..... 31**

**3.5. Çalışmanın Uygulanması ..... 32**

**3.6. Kabuller ..... 33**

**3.7. Değerlendirme Ölçütleri ..... 35**

**4. SİMÜLASYON SONUÇLARININ DEĞERLENDİRMESİ VE ANALİZİ ..... 39**

**4.1. Betimsel istatistikler ..... 39**

**4.2. Bağımsız Örneklem T Testi Sonuçları ..... 41**

**4.3. Tek yönlü varyans analizi (One-way ANOVA) sonuçları ..... 44**

**4.4. İlişki Analizleri ..... 52**

**5. TARTIŞMA VE SONUÇ ..... 55**

**KAYNAKÇA ..... 57**

**EKLER**

**ÖZGEÇMİŞ**

## TABLOLAR DİZİNİ

**Sayfa**

**Tablo 3.1.** Kolay seviyedeki egzersiz uçuş planı ..... 26
**Tablo 3.2.** Orta seviyedeki egzersiz uçuş planı ..... 27
**Tablo 3.3.** Zor seviyedeki egzersiz uçuş planı ..... 28
**Tablo 3.4.** Çok zor seviyedeki egzersiz uçuş planı ..... 30
**Tablo 3.5.** 1. Derece hata değerlendirme tablosu ..... 35
**Tablo 3.6.** 2.derece hata değerlendirme tablosu ..... 37
**Tablo 3.7.** ILS korsu üzerindeki uçak sayılarına ilişkin verimlilik değerlendirme ölçütü ..... 38
**Tablo 4.1.** Tüm katılımcıların betimsel istatistikleri ..... 40
**Tablo 4.2.** GRUP-1'in betimsel istatistikleri ..... 40
**Tablo 4.3.** GRUP-2'nin betimsel istatistikleri ..... 40
**Tablo 4.4.** Normallik testi sonuçları ..... 41
**Tablo 4.5.** Grup ortalamalarının karşılaştırılması ..... 42
**Tablo 4.6.** Bağımsız örneklem t-testi sonuçları ..... 44
**Tablo 4.7.** Tek yönlü varyans analizi sonuçları (Grup-1) ..... 45
**Tablo 4.8.** Tukey HSD post-hoc test sonuçları (Grup-1) ..... 46
**Tablo 4.9.** Anlamlı farklılık gözlenmeyen seviyeler (Grup-1) ..... 47
**Tablo 4.10.** Tek yönlü varyans analiz sonuçları (Grup-2) ..... 47
**Tablo 4.11.** Tukey HSD post-hoc test sonuçları (Grup-2) ..... 48
**Tablo 4.12.** Anlamlı farklılık gözlenmeyen seviyeler (Grup-2) ..... 49
**Tablo 4.13.** Tüm katılımcılar için elde edilen anlamlı korelasyonlar ..... 52
**Tablo 4.14.** Grup-1 için elde edilen anlamlı korelasyonlar ..... 52
**Tablo 4.15.** Grup-2 için elde edilen anlamlı korelasyonlar ..... 53
**Tablo 4.16.** Regresyon testleri ve anlamlılıkları ..... 53

## ŞEKİLLER DİZİNİ

**Sayfa**

**Şekil 3.1.** Kullanılan hava sahası ..... 23
**Şekil 3.2.** MRVA seviyeleri görüntüsü ..... 24
**Şekil 3.3.** Kolay seviye egzersiz radar ekran görüntüsü ..... 26
**Şekil 3.4.** Orta seviye egzersiz radar ekran görüntüsü ..... 27
**Şekil 3.5.** Zor seviye egzersiz radar ekran görüntüsü ..... 29
**Şekil 3.6.** Çok zor seviye egzersiz radar ekran görüntüsü ..... 30
**Şekil 4.1.** İki grup ortalamaları ..... 43
**Şekil 4.2.** Grupların KH ortalamalarının egzersiz zorluklarına göre değişimi ..... 50
**Şekil 4.3.** Grupların IKH ortalamalarının egzersiz zorluklarına göre değişimi ..... 51
**Şekil 4.4.** Grupların ILS ortalamalarının egzersiz zorluklarına göre değişimi ..... 51

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

ATC : Air Traffic Control (Hava Trafik Kontrol)

ATCo : Air Traffic Controller (Hava trafik kontrolörü)

ATM : Air Traffic Management (Hava Trafik Yönetimi)

BYT : Bilişsel Yetenek Testi

DHMİ : Devlet Hava Meydanları İşletmesi

EUROCONTROL : European Organisation for the Safety of Air Navigation (Avrupa Hava Seyrüsefer Güvenliği Örgütü)

FAA : Federal Aviation Administration (Federal Havacılık İdaresi)

FEAST : First European Air traffic controller Selection Test (İlk Avrupa Hava Trafik Kontrolörü Seçme Testi)

FL : Flight Level (Uçuş Seviyesi)

Ft : Feet

GANO : Genel Ağırlıklı Ders Ortalaması

ICAO : International Civil Aviation Organization (Uluslararsı Sivil Havacılık Örgütü)

IFR : Instrument Flight Rules (Aletli Uçuş Kuralları)

ILS : Instrument Landing System (Aletli İniş Sistemi)

IKH : İkinci Kritik Hata

KH : Kritik Hata

MRVA : Minimum Radar Vectoring Altitude (Minimum Radar Vektör İrtifası)

NM : Nautical Mile (Deniz Mili)

RVSM : Reduced Vertical Separation Minima

(Azaltılmış Dikey Ayırma Minimumu)

SHGM : Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü

SIMO : Simülasyon Dersleri Ortalaması

TMA : Terminal Control Area (Terminal Kontrol Sahası)

VFR : Visiual Flight Rules (Görerek Uçuş Kuralları)

# 1. GİRİŞ

Hava trafik kontrolörleri (Air Traffic Controller-ATCo) yetkili oldukları hava alanı veya hava sahasındaki hava trafik akışının ulusal ve uluslararası kural ve düzenlemeler çerçevesinde emniyetli, düzenli, hızlı ve verimli şekilde yönetilmesinden sorumlu, uçuş faaliyetlerinin belkemiğini oluşturan personellerdir [1]. Uçakların çakışmalarını ve muhtemel çarpışmalarını engellemek için ATCo'lar belirlenmiş minimum ayırma kriterlerinin sağlanması ve muhafaza edilmesi için çok boyutlu düşünüp [2] elindeki verileri işleyerek kararlar almak durumundadır. Bu sorumlulukları kapsamında hava trafiğine ilişkin planlama, izleme, kontrol, koordinasyon, iletişim, çakışma saptama ve çözümüne ilişkin karar verme ve uygulama gibi görevleri yürütürler. Bu derece farklı, karmaşık ve eşzamanlı görevi canlı trafik ortamında hatasız şekilde yerine getirme sorumluluğundan dolayı hava trafik kontrolörlüğü, dünyada en stresli işlerden biri olarak tanımlanmıştır [3]. Gelişen teknolojinin sağladığı artan otomasyon olanaklarına rağmen insan kaynağı olarak hava trafik kontrolörlerinin uzun vadede trafik sisteminin kritik bir bileşeni olmayı sürdürmesi beklenmektedir [4]. ATCo'lar, sürekli telsiz iletişimi yolu ile yetki alanlarındaki uçakların pilotları ile sözlü iletişim kurarak, uçuşun emniyeti ve verimliliği açısından onlara önemli talimatlar iletirler. Bu açıdan pilotlar sadece uçuşunun emniyeti ile verimliliğinden sorumlu iken ATCo'lar yetki alanlarındaki tüm uçaklar için aynı sorumluluğa sahiptir. Dolayısı ile kontrolörlerin verdiği her bir talimat uçuşları doğrudan etkilemektedir. Bu durum ATCo'ların hem koordineli olarak çalıştıkları pilotların çalışma ortamına hem de sorumlu oldukları uçakların uçuş ve manevra kabiliyetlerine ilişkin yüksek derecede farkındalık ve bilgi düzeyine sahip olmalarını gerektirmektedir. Bu sebeple hava trafik kontrol (ATC) eğitiminin kapsamı gelecekte hizmet verecek personelin kalitesini ve hava trafik yönetimi emniyet ve verimliliğini doğrudan etkilemektedir. Bu çalışmada ATC eğitimi içerisinde bireysel farklılıklarına göre eğitimin şekillenebilmesini sağlayacak bir araştırma ortamı tasarlanmıştır. Bu amaçla ATC bölümü öğrencilerine uygulanan dört farklı zorluk seviyesindeki radar yaklaşma simülatörü egzersiz senaryoları ile öğrencilerin trafik akışında gözettiği emniyet açısından performansı ve uçaklara verilen hizmetin tamamlanması üzerinden verimlilik incelemesi yapılmıştır. Ayrıca öğrencilerin not ortalamaları, bilişsel yetenek puanları ve söz konusu derste tecrübeli olup olmadığı gibi farklı bireysel özellikleri ile performans ve verimlilik değerleri ilişkilendirilmiştir.

## 1.1. Problemin Tanımı

ATC eğitiminde yer alan simülatör dersleri yetkin eğitmenler tarafından gerçek hava trafik kontrol ünitesi çalışma koşullarına benzetilmiş bir ortamda ve öğrenci ile eğitmenin bire bir çalışmasını gerektiren bir derstir. Bu derste öğrencilerin emniyetli ve verimli trafik akışını sağlamaları için gerekli ayırma yöntemleri işlenmekte ve öğrencilerin bu amaç doğrultusunda uygulama alışkanlıkları geliştirmeleri beklenilmektedir. Her bir bireyin önsel beceri ve bilgi seviyeleri farklılık göstermesinin yanı sıra bilişsel performansın öne çıktığı mesleki eğitimlerde kişilerin karakter farklılıkları bile öğrenme ve işini icra etmesi süreçlerini etkilemektedir. Literatüre dayalı olarak kanıtlar, karmaşık bir görevi çözme yeteneğinin kişilik, iş yükü, ruh hali ve performanstan etkilendiğini göstermektedir [5].

Yüksek düzeyde sorumluluk gerektiren ATC mesleğinin eğitim aşamasının yüksek kalitede ve belirli ulusal ve uluslararası standartlara göre uygulanması, kişilerin gerçek trafik ortamında emniyetli trafik yönetimini sağlayabilmeleri açısından önemlidir. Bu sebeple her geçen yıl karmaşıklaşan hava sahası yapısı ve gelişmiş teknoloji ile desteklenen ATC ünitelerinde çalışacak kontrolörlerin eğitimleri de sürekli olarak geliştirilmelidir. Eğitim tasarımı ve geliştirilmesi genellikle teknoloji ve yeni prosedürlerin uygulanması ile sınırlı kalmaktadır. Ancak ATC gibi yüksek düzeyde risk içeren ve bireysel performansın önemli olduğu alanlarda eğitmenlere ışık tutacak araştırmaların yeterli olmaması eğitimin tek yönlü ve insan faktörlerini göz ardı eden bir yaklaşımla tasarlanmasına sebep olmaktadır. Diğer yandan bu eğitimin bireysel farklılıkların eğitim sonuçlarını etkilediğini göz önüne alan eğitim süreci tasarımı ile yürütülmelidir. Ayrıca zihinsel iş yükündeki değişikliklerin ATCo performansı üzerinde önemli etkileri olabilir, bu değişiklikler bilgi işlemede gecikmelere ve hatta ATCo'ların gelen bilgileri görmezden gelmesine neden olabilir [6]. Bu nedenle farklı görev zorlukları ortamında ATCo'ların performans değişimleri literatürde önemli bir araştırma konusudur.

ATC eğitiminin bire bir ve uygulamalı olarak işlenen simülatör derslerindeki öğrenci performanslarının en yüksek düzeye çıkartılması gelecekte hava trafik akışını sağlayacak personelin kalitesini arttıracaktır. Bu simülatör derslerinde söz konusu bireysel farklılıklar gözetilerek ortak bir eğitim tasarlanmalıdır. Öğrencilerin performanslarına etki eden faktörlerin tespit edilmesi ve bu sonuçların eğitimi geliştirmek üzere geri besleme için kullanılması gerekmektedir.

ATC eğitiminin önemli safhalarından birisi olan radar yaklaşma kontrol simülatör eğitimi sırasında, öğrencilerin emniyetli ve verimli trafik akışının sağlanması açısından gösterdikleri performansın arttırılabilmesi için bireylere özel eğitim tasarlanması gerekliliği tüm dünyada mevcut bir durumdur. Geleceğin eğitim sisteminin bireylere özel eğitime dönüşmesi ve özellikle radar simülatör eğitimi gibi bire bir verilen bir eğitimde bireylerin farklılıklarının ve özelliklerinin göz ardı edilmemesi gerekmektedir. Bu çalışma ATCo öğrencilerinin radar yaklaşma simülatörü dersi içindeki performanslarının öngörülebilir hangi parametrelerle ilişkili olduğu eğitim kalitesinin artması açısından önemlidir.

### 1.2. Amaç

Yolcu ve uçuş sayısında artış, hava alanlarında havacılık yönetiminin önemini de her geçen gün arttırmaktadır. Havacılık sektöründe insan hatasının birçok kişinin hayatını kaybetmesine sebep olabilen kritik bir sektördür. Havacılık sektöründe insan hatası genellikle son karar verici olan pilot ile ilişkilendirilse de aslında hava taşıma operasyonunun her kademesinde görev alan kişilerin sorumluluğu ile ilişkilidir. Havacılık sektöründe özellikle zihinsel olarak çok fazla iş yüküne maruz kalan ATCo'lar, kritik kararları en kısa sürede vermelerinden dolayı hata yapma olasılıkları yüksek görev grubundandır. Bu sebeple ATC temel eğitimi gelecekte hava sahasını yönetecek olan bu kişilerin beceri ve yeterlilikleri açısından çok önemlidir.

Bu çalışmada radar simülatörü kullanılarak 4 farklı görev zorluğunda (kolay, orta, zor ve çok zor) oluşturulan senaryolar "pratik eğitim almamış" ve "10 egzersizlik pratik eğitim almış" ATC Bölümü öğrencileri üzerinde uygulanacaktır. "Pratik eğitim almamış" katılımcılar, ATC eğitimi veren bir fakültenin birinci sınıfında okuyan, ileri düzey (simülatör) ATC eğitimi almamış "tecrübesiz" olarak kabul edilen ATC öğrencileri olacaktır. "Pratik eğitim almış" katılımcılar ise teorik eğitimlerinin sonrasında simülatör ortamında belirli bir egzersiz setini eğitmen eşliğinde tamamlamış pratik eğitimlerini tamamlamış ATC bölümü öğrencileridir. Her iki grubun farklı egzersiz zorluk derecelerine göre performanslarının değişimi irdelenecektir. Ayrıca öğrencilerin önsel bilgileri yani akademik başarılarının ve mesleki yeteneklerinin performanslarına olan etkisi incelenerek radar yaklaşma eğitimine geri bildirim oluşturulacaktır.

### 1.3. Çalışmanın Önemi

Bilişsel yük, belirli bir görevin öğrenenin bilişsel sistemine yüklediği zihinsel yüktür. İnsanların yalnızca sınırlı bir işleyen bellek kapasitesi vardır [7] ve özellikle karmaşık bilişsel becerileri öğrenirken, işleyen bellek kolayca aşırı yüklenebilir. Yaşanılan bilişsel yükün miktarı hem göreve hem de öğrenciye bağlıdır. Görevde az deneyime sahip öğrenciler, uzmanlardan daha yüksek bilişsel yük yaşayacaklardır. Bunun nedeni, uzmanların yeni bilgileri organize etmek ve kategorize etmek için şemalar geliştirmeleri [8] ve görevi gerçekleştirmek için gerekli olan belirli becerileri otomatik hale getirmeleridir [9]. Karmaşık insan makine sistemlerinin operatörleri yani burada hava trafik kontrolörleri, bir sistemin taleplerini karşılama konusundaki uzun uygulama süreci boyunca bilgi ve beceri kazanırlar. Kontrol görevinde deneyim kazanmak için ön varsayımların ayrıntılı bir tanımını elde etmek bu açıdan önemli olabilir [10]. Bu bağlamda, oluşturulan çalışmalarda deneyimli ve deneyimsiz gruplar arasında farklı görev zorluklarının performans ve verimlilik arasında anlamlı bir fark yaratması durumunda eğitim modellemeleri, eğitim yöntemleri ya da performans hatalarını önlemek konusunda bizlere ışık tutması açısından fayda sağlayacaktır.

### 1.4. Yöntem

ATC simülatörleri gerçek hava trafik ortamını temsil etmek üzere tasarlanan bir modeli kullanarak ilgili sistemin ve bu sistemde çalışacak insanların davranışlarını anlamak, değerlendirmek veya geliştirmek amacı ile kullanılan fiziki veya elektronik bileşenleri içeren araçlardır. ATC sisteminde giderek karmaşıklaşan trafik yapısı ve yüksek teknoloji kullanımı; güncel ve geleceğe yönelik eğilimler sunması, esneklik, görüntüleme olanakları ve işlevsel çeşitlilik açısından simülatörleri, giderek daha vazgeçilmez sentetik eğitim ve ar-ge aracı haline getirmiştir [11]. Simülatörlerin bu özellikleri sebebiyle ATCo'ların iş yükü üzerine yapılan çalışmalar genellikle simülatör ortamında gerçekleştirilmektedir. Bu çalışmada da radar yaklaşma dersinde kullanılan gerçek zamanlı ATC simülatörü ve eğitim amaçlarına uygun tasarlanmış hava sahası ve egzersiz seti kullanılmıştır. Değerlendirmelerin yapılması için öğrencilerin deneyimli deneyimsiz olup olmadıkları, deney sırasına kadar olan akademik genel not ortalamaları, daha önce aldıkları simülatör dersleri not ortalamaları ve bilişsel beceri test sonuçları ile oluşturulan egzersizlerde gösterdikleri performans değerleri kıyaslanmıştır. İki grup ortalaması arasında farklılık olup olmadığını test etmek için bağımsız örneklem t-testi,

simülasyon çıktılarının egzersiz zorluklarına göre anlamlı bir şekilde farklılaşıp farklılaşmadığını test etmek için tek yönlü varyans analizi (One-way anova), ayrıca tüm değişkenler için egzersiz seviyeleri arasında farklılık olup olmadığını test etmek için post-hoc testleri uygulanmıştır.

## 2. ÇALIŞMANIN TEORİK BAĞLAMI

Günümüzde artan taleplerle birlikte iş ortamları daha karmaşık bir hale gelmektedir. Zorlaşan çalışma becerilerine, sınırlı eğitim süreleri içerisinde hızlı ve verimli bir şekilde hâkim olunması gerekir. Özellikle havacılık ve endüstri gibi teknik alanlarda hatalar tehlikeli durumlara ve yüksek maliyetlere yol açabilir [9]. ATC hizmetinin özel ve uçuşun her aşamasında doğrudan etkili bir hizmet olması sebebiyle hava trafik kontrolörlerinin seçimi ve eğitimi dünyanın her yerinde titizlikle yürütülen bir süreçtir. Bu derece kritik bir görevi yerine getirebilecek yeterliliklerin kazanımı için ATCo adayları özel yetenek sınavları ile seçilerek uluslararası standartlara göre titizlikle yürütülen çok aşamalı yoğun bir teorik ve uygulamalı eğitimden geçirilmektedir. Çalışmanın bu kısmında eğitim yöntemleri detaylandırılmış ve ATC gerekliliklerin ilişkilerinden bahsedilmiştir. Ayrıca araştırmayı destekleyecek argümanların literatür taraması yapılmıştır. Yöntemsel ve eğitimi iyileştirmeye yönelik araştırmamıza benzer diğer çalışmalardan örnekler verilmiştir.

### 2.1. Literatür Taraması

Günümüz trafik hacminde işyeri stresinin yüksek düzeyde olduğu hava trafik kontrolörlüğü mesleğinin [12, 13] 2040 yılına kadar hava trafiği hacminin yılda 60 milyon uçağa [14] ulaşabileceğini ileri süren çok sayıda uzun vadeli tahminler ile stres yükünün daha da artacağını işaret etmektedir. İdeal koşulların yanı sıra bu yüksek trafik artışına, karmaşık hava koşulları gibi zor koşulların da eklenmesi durumunda kontrolörlerin iş yüklerinde önemli ilave bir artışa neden olabileceği raporlanmıştır [15-17]. ATCo'ların iş yükündeki bu büyüklükte artışlar, daha fazla zihinsel yük getirebileceğinden [18, 19] özellikle dikkat, muhakeme ve iletişim [20] problemleri nedeniyle insan hatası riskini yükselteceği belirtilmiştir [21]. Artan hava trafiğine karşı iş yükünü azaltmayı hedefleyen yeni teknolojiler ve prosedürler devamlı geliştirilmektedir. Diğer yandan artan trafik hacmine karşın geliştirilen yük azaltıcı teknolojiler, ATCo'ların rol ve sorumluluklarında değişikliklere ve hatta görev karmaşıklığını arttırma potansiyeline sahiptirler [22]. Bu nedenle; tüm teknolojik desteğe rağmen ATCo'lar uçuş emniyeti açısından stres ve zaman baskısı altında yüksek riskli 7 kararlar alarak, doğru talimatlar vermek ile karşı karşıya kalırken dinamik ve bilişsel olarak zorlu görevler üstlenirler [5, 23, 24]. Bu durum kontrolörlerin bilişsel karmaşıklığını, diğer bir deyişle bireysel düzeyde algı karmaşıklığına yol açar. Bu görevler esnasındaki bilişsel

karmaşıklık yıllardır araştırmalara konu olmuştur [25,26]. Hava trafik senaryolarında bilişsel karmaşıklığı etkileyen faktörleri belirlemek yanında hem simülasyon hem de gerçek çalışma ortamlarında uygulanacak değerlendirme çerçeveleri tasarlamak için birçok çalışma yapılmıştır [27-30]. Gerçekleştirilen bu çalışmalarda, genellikle görev talebinin güvenli ve verimli bir şekilde yerine getirilmesi için bilişsel kaynakların tahsisinin ATCo'lar üzerindeki etkilerine odaklanılmıştır [31,32]. Bu çalışmalar ve EUROCONTROL'ün raporları kontrolörlerin iş yükünün Hava Trafik Yönetimi (Air Traffic Management-ATM) sisteminin kapasitesindeki en büyük fonksiyonel sınırlayıcı olduğunu ve olmaya devam edeceğini göstermiştir [33].

Niessen ve arkadaşlarının 1999 yılında yaptığı çalışmada görev ortamındaki sürekli değişiklikler ve ATC'de faaliyetlerin zamansal koordinasyonuna yönelik talep nedeniyle model, durumun zihinsel temsiline özel bir önem verir. Modelin bu birimi, durumsal farkındalığı sürdürmede, gelecekteki durumları tahmin etmede ve eşzamanlı olarak devam eden olayları koordine etmede göze çarpan bir rol oynar. Değişen görev ortamının zihinsel temsiline ilişkin varsayımlar, zihinsel model yaklaşımı içinde tartışılmaktadır. Karmaşık teknik sistemlerdeki operatörlerin, sistemin mevcut durumunu teşhis etmelerine, gelecekteki durumları tahmin etmelerine ve müdahaleleri planlamalarına olanak tanıyan karmaşık görev ortamlarının zihinsel bir temsilini oluşturmalarıdır. Bu çalışma ATCo'ların zihinsel temsil modeli üzerine odaklanmaktadır. Zihinsel temsil modeline kontrolörün resmi [34, 35] ya da mevcut ve gelecekteki trafik durumunun küresel bir zihinsel temsili durum farkındalığı olarak da olarak tanımlanabilir. "En-route Controller's Representation" (EnCoRe) araştırma grubu, dinamik teknik sistemlerle başa çıkan deneyimli operatörlerin bilişsel etkinliklerini modellemeye çalıştılar. Grup, uçaklar arasındaki potansiyel çakışmaların teşhisi için bir temel olarak değişen görev ortamının bilişsel süreçlerini ve sonuçta ortaya çıkan zihinsel temsilini analiz etmek için bir örnek olarak yol kontrol alanını kullandı. Tek bir radar kontrolörünün bilişsel süreçlerini tanımlayan model, teorik düşünceler ve ampirik değerlendirme temelinde geliştirilmiştir. İlgili her bilişsel sürecin ayrıntılı ve açık bir tanımını elde etmek için, ilgili psikolojik varsayımlar, zihinsel süreçlerin bir bilgisayar simülasyonunda da uygulanmıştır. Buna ek olarak, yazarlar, durumların zihinsel temsili 9 üzerinde etkisi olabilecek, az ya da çok deneyimli kontrolörler arasındaki olası farklılıkların izini sürmüşlerdir [10].

Camp ve arkadaşlarının 2001 yılında yaptığı çalışmada ATC alanında problem seçiminin 4 yönteminin eğitim ve eğitim çıktıları üzerindeki farklı etkileri araştırılmıştır. İlk yöntemde katılımcılara önceden belirlenmiş sabit bir sırayla basitten karmaşığa doğru eğitim sorunları verilmiştir. Diğer yöntemlerde, problemler üç farklı öğrenen değişkenine dayalı olarak dinamik olarak seçilmiştir. Problem etkinliğini belirlemek için zihinsel çaba ve performans ölçütlerini birleştiren bir değişken olan zihinsel çaba, performans ve zihinsel etkinlik değişkenleri kullanılmıştır. Bu deneyde karmaşık bir bilişsel beceri öğretilirken bir veri tabanından dinamik olarak problem seçmek için en iyi hangi öğrenci değişkenlerinin kullanılabileceğine ışık tutmayı amaçlanmıştır. Çalışmada problemin zorluğu üç öğrenen değişkeninden birinin ölçümleriyle dinamik olarak belirlenir. Zihinsel çaba koşulunda, problemin zorluğu, öğrenenlerin bir problemi bitirdikten sonra gösterdikleri zihinsel çabaya bağlıydı. Her alıştırmadan hemen sonra, öğrencilere problem için ne kadar zihinsel çaba harcadıkları soruldu. Performans, dinamik ATC durumlarında katılımcıların uçağı belirli bir hedef konumuna yönlendirme doğruluğu olarak ölçülmüştür. Performans koşulunda, katılımcıların belirli bir problem üzerindeki performansının belirlenmesinde hem güvenlik hem de sefer göz önünde bulundurulmuştur. Performansı belirlemek için kullanılan değişkenler şunlardı: hava yolu dışındaki süre, ayrılma olmayan süre, verilen komutların sayısı ve hedeflerine başarıyla ulaşan uçakların sayısı. Zihinsel çaba koşulunda olduğu gibi, her performans değişkeni 8 için kategoriler hesaplandı ve bu kategoriler kullanılarak göreceli bir puan belirlendi. Zihinsel etkinlik, zihinsel etkinlik için belirlenen bir formül ile göreli zihinsel çaba puanı ve genel göreli performans puanı doldurularak belirlenmiştir. Eğitimin ardından transfer ölçümü yapılmıştır. Dinamik problem seçiminin dinamik olmayan problem seçiminden daha verimli eğitime yol açacağı hipotezi doğrulanmıştır. Zihinsel yeterliliğe dayalı dinamik problem seçiminin tek başına performansa veya zihinsel çabaya dayalı dinamik problem seçiminden daha verimli eğitime ve daha iyi transfere yol açacağı şeklindeki ikinci hipotez desteklenmemiştir. Ancak, üç değişkenin etkinlik ölçüleri, bu değişkenlerin edinim aşaması üzerindeki farklı etkileriyle çarpıtılmıştır. Sonuçlar için olası bir açıklama olarak, performansa dayalı seçimin kural otomasyonunu teşvik ederken, zihinsel çabaya veya zihinsel verimliliğe dayalı seçimin şema edinimine yol açmasıdır [9].

Pierce ve arkadaşlarının 2008 yılında yaptığı çalışmanın amacı, durum farkındalığının düşük doğrulukla bir ATC simülatörü olan hava trafik senaryoları testinde performansa nasıl katkıda bulunduğunu belirlemek için üç tip durum farkındalığı ölçüm

yönteminin tahmin geçerliliğini ampirik olarak karşılaştırmaktır. Deney sürecinde katılımcılardan demografik bilgiler toplandı, bilişsel testler yapıldı ve katılımcıları yapacakları simülasyon görevi olan hava trafik senaryoları Testine yönlendirildi. Ayrıca katılımcılar 20 dakikalık iki seansta hava trafik senaryoları testi ile eğitildi ve ardından ek bilişsel testleri tamamladılar. Bu deneyde Durum Değerlendirme Derecelendirme Tekniği, Durum Farkındalığı Küresel Değerlendirme Tekniği ve Durum Mevcut Değerlendirme Yöntemi olmak üzere üç durum farkındalığı ölçüm tekniğinin ampirik testinin sonuçları sunulmuştur [36].

Leandro L. Di Stasi ve arkadaşlarının 2010 yılında yapılan çalışmalarında iş yükü baskılarının etkilerini değerlendirmek için katılımcılara, farklı düzeylerde bilişsel kaynaklar gerektiren hava trafik kontrol simülasyon ortamındaki görevlerinin sayısı değiştirilerek üç görev karmaşıklığı düzeyi (düşük, orta ve yüksek) oluşturulmuştur. Seviyeler arasındaki zihinsel iş yükündeki değişiklikler, öznel bir derecelendirme, ikincil bir görevdeki performans ve diğer davranışsal göstergeler kullanılarak çok boyutlu olarak değerlendirilmiştir. Düşük görev karmaşıklığı, bir izleme/karar görevi olarak tanımlanmıştır. Orta görev karmaşıklığı, düşük karmaşıklıktaki bir görevi ve bir rakamlı kod görevini içermektedir. Yüksek görev karmaşıklığı koşulunda, görev, düşük ve orta karmaşıklıktaki görevlerin ve bir matematiksel işlem (kâğıt-kalem) olan ikincil görevin kombinasyonundan oluşmaktadır. Tüm denekler, düşük görev karmaşıklığı ile başlamışlardır ve aynı sırayla ilerlemişlerdir. Zihinsel iş yükü manipülasyonumuzun etkililiğini değerlendirmek için çok ölçümlü bir yaklaşım kullanılmıştır. Her karmaşıklık düzeyi için izleme/karar göreviyle ilgili hata ve gecikmiş yanıtların sayısı analiz edilmiştir. Zihinsel iş yükündeki değişikliklerin göz hareketi endeksleri üzerindeki olası etkilerini tahmin etmek için ise sakkadik ölçümler (genlik, süre, hız ve görsel açıları) analiz edilmiştir. Görev karmaşıklığı için önemli etkiler gözlemlenmiştir, bu da deneyimli zihinsel iş yükünün deneysel manipülasyonla uyumlu olarak değiştiğini doğrulamıştır. Üç karmaşıklık düzeyi arasındaki hata sayısında güvenilir bir fark elde edilmiştir. Düşük görev karmaşıklığı ile orta/yüksek görev karmaşıklığı arasındaki hata sayısında önemli farklılıklar ortaya çıkarmıştır. Artan görev karmaşıklığı ile birlikte gecikmiş cevapların sayısında önemli bir artış olduğunu göstermiştir. Sakkad süre ve hız açısından görev karmaşıklığı olamasa da etkileşimde önemli bir ana etkisini ortaya çıkarmıştır ancak görsel açı analizi görev karmaşıklığının ana etkilerini gösterse de hiçbir etkileşim bulunamamıştır. Ortalama değerlerin planlı karşılaştırmaları, düşük ve yüksek görev

karmaşıklığı arasındaki önemli farklılıkları ortaya çıkarmıştır. Sonuç olarak, operatörlerin görevleri tamamlamalarına yardımcı olmak için en uygun otomatik yardım türünü ve seviyesini belirlemek için operatörün işlevsel durumlarının gerçek zamanlı olarak izlemeye ihtiyaç vardır [16]. Karmaşık ve dinamik sistemlerle etkileşimler sırasında operatörün dikkat durumlarını gerçek zamanlı olarak tespit edebilen bir yöntemin geliştirilmesi, bu kritik konu için iyi bir başlangıç noktası olabileceğidir [37].

Conzelmann ve Keye 2014 yılındaki çalışmasında, teorik ve simülasyon sınavlarında eğitim performansını ve genel eğitim başarısını tahmin etmede yarı yapılandırılmış bir görüşmenin geçerli olup olmadığını görüşmenin hangi yönlerinin bilişsel yetenek testleri üzerinde geçerlilik gösterip göstermediği ve ek değişkenlerin görüşmeden elde edilen tahmini geliştirip geliştirmediğini incelemiştir. Katılımcıların bilişsel yeteneklerini değerlendirmek için, dokuz farklı test, hafıza ve dikkat olarak iki temel yetenek alanında gruplandırılmıştır. Bellek boyutunu değerlendirmek için işitsel ve görsel kısa süreli bellek testi olmak üzere iki test kullanılmıştır. Dikkati ölçmek için yedi farklı test uygulanmıştır ve son olarak yarı yapılandırılmış görüşmelerden üç farklı veri kaynağı elde edilmiştir bunlar; seçim kurulunun risk derecelendirmeleri, biyografik bilgiler ve adayın genel motivasyon, mesleki bilgi ve sosyal yazılı görüşme kayıtlarının kapsadığı yeterliliğidir. Mülakat boyutlarının ve bilişsel yetenek puanlarının öngörücü ve artımlı geçerliliğini değerlendirmek adına hem teorik hem de simülasyon sonuçları için doğrusal regresyon modelleri hesaplanmıştır. Eğitim başarısı kategorik bir değişken olduğu için lojistik regresyon kullanılmıştır. Bilişsel yetenek puanlarının tanıtılması, varyansın açıklanmasına en çok katkıda bulunan tahmin ediciydi. Daha yüksek dikkat puanları, teorik sınavlarda daha iyi performansa karşılık geldi. Bellek, teorik eğitim performansının tahminine yalnızca zayıf bir şekilde katkıda bulunmuştur. Dikkatte daha yüksek puanlar, daha iyi pratik sınav performansını öngördü. Bilişsel yetenek ve özellikle dikkat, uygulama performansının tüm yönlerinin tahmin edilmesine katkıda bulunmuştur. Mülakat boyutu genel motivasyonu, varsayıldığı gibi teorik sınav performansı için aşamalı olarak öngörücüydü. Mülakatın içeriği simülasyon performansındaki varyansın açıklanmasına ek bir katkı olmamıştır. Genel eğitim başarısı hem dikkat hem de sosyal yeterlilik tarafından önemli ölçüde tahmin edilmiştir [38].

Truschzinskia ve arkadaşlarının 2018 yılında yaptığı bu çalışmada; katılımcılardan farklı zorluk seviyelerine ve zaman baskısına sahip görevleri çözmeleri istendi. Deneyin

temel amacı, hava trafik kontrol görevlerinde performansın nasıl etkilendiği, iş yükü ile ruh halinin birbirini etkileyip etkilemediği sorusuna ve performans üzerinde bir etkisi olup olmadığına cevap vermektir. Modelde, bu farklı görev zorluk seviyelerinin içsel yorumu, her insanın bireysel özelliklerinden etkilenir. Bu nedenle, örneğin nevrotikliği yüksek bir kişi, bu kişilik özelliğini aynı derecede göstermeyen bir kişiye göre daha duygusal tepki verecektir. Zaman baskısı, duygusal ölçeklerin yanı sıra iş yükünü de artıracaktır. Model, bu korelasyonu girdi olarak görev zorluğu ve çıktı olarak duygusal ölçekler arasındaki bağlantılarla kurar. Bu nedenle, görev zorluğu artarsa, örn. zaman baskısı artar, duygusal ölçekler de artar. Literatüre dayalı olarak kanıtlar, karmaşık bir görevi çözme yeteneğinin kişilik, iş yükü, ruh hali ve performanstan etkilendiğini göstermektedir. Ancak, bu faktörler arasındaki ilişki belirsizliğini korumasından dolayı bu araştırma yapılmıştır. Bu çalışmada; "H1: Nevrotizm ve vicdanlılık ruh halini, iş yükünü ve performansı etkiler", "H2: Daha yüksek bir görev zorluğu ve zaman baskısı, öznel ruh halini olumsuz etkiler", "H3: Mevcut ruh hali iş yükü ile ilişkilidir, öyle ki iş yükündeki artış daha olumsuz bir ruh hali ile sonuçlanır" hipotezleri geliştirilmiştir. Sonuç olarak; farklı görev zorluklarının, deneklerin kendi bildirdiği ruh halinin yanı sıra iş yükünü de etkilediğini gösterdi. Ayrıca, kişiliğin, daha spesifik olarak nevrotikliğin ruh hali ve performansı etkilediğini göstermiş ve ruh hali değişikliklerinin iş yükü değişikliklerinden bağımsız olduğuna dair kanıtlar bulunmuştur. Ayrıca, çalışmaları 11 sırasında ATCo'ları etkileyebilecek güçlü bir ruh hali ve performans ilişkisi bulunmuştur [5].

Bruder ve Hasse'nin 2019 yılındaki çalışmalarında yüksek düzeyde otomatikleştirilmiş ortamlardaki temel bilişsel gereksinimlerin üzerinde durulmuştur. Uzmanlığın otomatik süreçlerin izlenmesi üzerindeki etkisini açıklamak için, havacılıktaki izleme davranışının uzmanlar ile acemiler arasındaki farklara odaklanmaktadır. Göz hareketleri, görsel bilgilerin verimli ve zamanında edinilmesini ölçmek için uygundur. Özellikle, belirli ilgi alanlarındaki sabitlenme sayıları, sabitlenme süreleri ve bakış süreleri (AOI'ler), görsel ve bilişsel bilgi işlemenin operasyonel ölçümlerini sağlar. Uzmanlar ve acemiler arasında izleme davranışında önemli farklılıklar bulunmuştur. Genel olarak, acemiler, dikkatlerini uzmanlardan daha sık tüm AOI'lere odakladılar. İzleme aşamasından bağımsız olarak, uzmanlar tüm AOI'lere acemilerden daha az baktılar. Bu, uzmanların acemilerden daha verimli bir izleme davranışı gösterdiğini bulan Niessen ve Eyferth'in (2001) ışığında görülebilir. Uzmanların otomatik

süreçleri izlemesi çıktıları, başarılı kursiyerlerin nasıl seçileceğini ve onlara uygun eğitimin nasıl sağlanacağını öğrenmede yardımcı olacaktır [39].

Borst ve arkadaşlarının 2019 yılında yaptığı çalışmada, ekolojik ara yüzlerin bilgi gelişimi üzerindeki kısa vadeli etkisi ile talimata dayalı bir eğitim yöntemini karşılaştırmaktadır. Öğrencilerin ilerlemesini izlemek ve karşılaştırmak için, "sesli düşünme" simülatör oturumlarında kaydedilen sözlü yorumlardan belirlenen karar verme stratejileri, karar merdiveninde eşlenir. Bu yöntem, basitleştirilmiş bir hava trafik kontrol bağlamında çatışma tespiti ve çözümü konusunda acemileri eğitmeyi amaçlayan bir deneyde uygulandı. Sonuçlar, transfer manipülasyonunu içeren son ölçüm oturumlarındaki genel çakışma algılama ve çözüm performansının “ekolojik” ve “eğitimsel” gruplar arasında önemli ölçüde farklı olmadığını göstermektedir. Bununla birlikte, bilişsel davranış açısından, ekolojik gruptaki öğrenciler, çakışma algılama ve çözüm görevinin ötesinde hedefe yönelik düşünceleri ve buna karşılık gelen kontrol performanslarını ateşleyen daha zahmetli kural ve bilgiye dayalı davranışlar sergilediler. Bu bulgular, ekolojik ara yüzlerin, desteği kaldırdıktan sonra bile insanların nasıl düşündüklerini ve bir kontrol sorununa nasıl yaklaştıklarını değiştirebileceğini göstermektedir. Bu nedenle, derin bilgi gelişiminin erken aşamalarında ekolojik ara yüzlerin önemli bir rol oynayabileceğine inanmak mantıklıdır [40].

## 2.2. Hava Trafik Kontrol Eğitimi

ATC hizmetinin doğası gereği her an can ve mal kaybına yol açma riski ile hizmet vermekte olan ATCo’ların görevlerini başarıyla yerine getirebilmeleri için uzun bir eğitim sürecini başarı ile tamamlamaları gerekliliğinin yanı sıra işe uygun kişisel özellikleri taşıyor olmaları son derece önemlidir [41]. ATC eğitiminin amacı, emniyetli ve verimli olmak için gerekli bilgi ve becerilere sahip, uygulayabilen, sürdürebilir olan personel gereksinimlerini karşılamak için yeterli nitelikli kontrolörler yetiştirmektir [42]. Bu amaçla, temel hava trafik kontrolörü eğitimi EUROCONTROL teşkilatının hazırladığı eğitim müfredatı ve Sivil Havacılık Genel Müdürlüğünün yönetmelik ve yönergeleri doğrultusunda hazırlanarak eğitim verilmektedir. Bu eğitim ulusal [43] ve uluslararası [44-46] mevzuata göre başlangıç, ünite ve devamlılık eğitim aşamalarından oluşmaktadır. Bu eğitimin ilk ve en önemli aşaması olan başlangıç eğitimi, temel ve jenerik derecelendirme eğitim adımlarından oluşur. Başlangıç eğitimini tamamlayarak

üniversiteden mezun olan ATCo adaylarına sonraki hizmete özel olan ünite ve devamlılık eğitim aşamalarına hazırlanması hedeflenmektedir. Bu nedenle başlangıç eğitimi temel mesleki bilgi ve becerilerin teorik ve ATC simülatörlerin kullanımına dayalı uygulamalı dersleri içermektedir.

### 2.2.1. Teorik eğitim

Hava trafik eğitiminde amaç ATCo'lara temel bilgi ve becerileri kazandırmak ve ATC ünitesindeki ünite eğitimine hazırlamaktır. Bu kapsamda öncelikle adaylar teorik eğitim sürecine başlamaktadırlar. ATCo adayları müfredata uygun olarak meydan kontrol, yaklaşma kontrol, manuel yaklaşma kontrol, saha kontrol, manuel saha kontrol usulleri, havacılık hukuku, sivil/asker koordinasyon prosedürleri, hava trafik yönetimi, meteoroloji, seyrüsefer, hava araçları ve uçuş prensipleri, insan faktörü, seyrüsefer cihazları ve sistemleri, emniyet ve emniyet kültürü, emniyet yönetim sistemleri, acil ve beklenmedik durumlar, telefon ve havacılık freyzyolojsi gibi teorik ve eğitimlerini içeren yoğun ve kapsamlı bir eğitimden geçirilmektedir. Emniyet ile ilgili konuların altı çizilerek, adayları hava trafik hizmetlerinin farklı tipleri için hazırlayacak şekilde öğretilir. Öğrenci, eğitim sonrasında elde ettiği bilgi birikimi ve beceriler ile karmaşık ve yoğun hava trafiğini kontrol edebilmek için gerekli yeterliliğe sahip olacaktır. Başlangıç eğitiminden sonra adayın yeterliliği, uygun sınavlar ile veya eğitim boyunca devam eden bir değerlendirme sistemi ile değerlendirilmektedir [47].

### 2.2.2. Simülatör eğitimi

Hava trafikte simülatör kullanımın gerçek ortamlar ve görevler sağladığı bilinmektedir. Hava trafik eğitimi özellikle öğrenim süreci ile ilgili olduğu için karmaşık bilişsel veya yüksek performanslı iş olarak anılmaktadır [48, 49]. Allermand and Rosenkvist'e (2011) göre simülasyon, bu alanda benzersiz bir öğrenme evrenini açma potansiyeline sahiptir ve katılımcıların yeteneklerini hatta yeteneklerinin sınırlarının ötesini bile kullandıkları, öğrenmek için gerekli olan gerekli geri dönüşleri alabildikleri 14 bir ortam yaratır [50]. Simülatör eğitimi adaylara problem çözme, olayı tekrarlama, ekip çalışması yapmasını sağlama gibi avantajlar yaratır. "Simülasyon, öğrencilerin

beceri, bilgi ve tutumları edinmelerini ve uygulamalarını sağlamak için bir temsili veya gerçek çalışma koşullarını yeniden üretmenin bir yoludur" [51].

Bilgisayar simülasyonları, ATC prosedürleri ve sistemlerinin geliştirilmesinde önemli bir araçtır. Bunlar, hızlı zamanlı simülasyonlardan (bir simülasyon çalışması sırasında manuel müdahale gerektirmeyen), bazıları düzinelerce kontrolör ve diğer personeli içeren, artan boyut ve hassasiyete sahip çeşitli gerçek zamanlı, döngü içi kontrolör simülasyonlarına kadar uzanır. Simülasyonlar, yeni hava sahası tasarımlarını, yeni kontrol konseptlerini ve kontrolörler için yeni araçları değerlendirmek için kullanılır [52].

Bilgisayar simülasyonu ve görsel grafik yeteneklerindeki gelişmelerle birlikte, genel havacılıkta gelişmiş uçuş simülasyonu eğitim cihazlarının kullanımı önemli ölçüde artmıştır. Mevcut pilot ve ATC eğitim programlarının her aşamasında, düşük kaliteli masaüstü eğiticilerinden yüksek kaliteli tam uçuş simülatörlerine kadar çeşitli simülasyon eğitim cihazları ve teknolojileri kullanılmaktadır. Simülasyon, öğrencilere ATC gibi yüksek vasıflı ve detay odaklı bir mesleği öğrenme konusunda uygulamalı deneyim kazandıran şu anda mevcut olan tek yöntemlerden biridir [53]. Hava trafik operasyonları karmaşık ve beklenmedik olaylar içerdiğinden simülasyon ortamına taşınması zordur. ATCo'lar, uçuş ekipleri, trafik yöneticileri, havayolu operatörleri ve ilgili otomasyon sistemleri arasındaki karmaşık etkileşimler, binlerce uçağın hava sahasında organize veya kaotik hareketine neden olur. Simülasyondaki tüm potansiyel etkileşimleri kapsamak imkansızdır. Bu nedenle, her simülasyon, belirli araştırma sorularını yanıtlamak için ilgili yönleri kapsayacak şekilde tasarlanmalıdır [54].

Simülasyonun yüksek doğrulukla kullanımı ile problem çözme, takım çalışması, tekrarlama, durumsal farkındalık örnekleri, koordinasyon, iş birliği, karar verme ve iletişim gibi alanların tümü yüksek kaliteli simülasyon kullanılarak değerlendirilebilir ve geliştirilebilir. Yeni ATM teknolojilerinin tanıtılmasıyla amaç, öğrencinin başarılı olma yeteneğini geliştirmek ve eğitim için gereken süreyi azaltmak için simülasyon kullanmaktır. Hava trafik kontrol başlangıç eğitiminin uygulamalı eğitiminde simülatörün önemli bir yeri vardır. Simülatör eğitimi hava trafiğinin her sektörü için kullanılabilmektedir [55]. Simülatör eğitiminde öğrencilerin;

- ATC alanındaki temel ve teorik bilgileri edinmeleri,

- Hava trafik hizmetinin verildiği meydan kontrol ünitelerinde uygulanan temel ayırma prosedürlerini kavramaları ve uygulamaları,

- Hava trafik hizmetinin verildiği radarlı/manuel yaklaşma ünitelerinde uygulanan temel ayırma prosedürlerini kavramaları ve uygulamaları,

- Hava trafik hizmetinin verildiği radarlı/manuel saha kontrol ünitelerinde uygulanan temel ayırma prosedürlerini kavramaları ve uygulamaları,

- Hava trafik hizmetinin verildiği radarlı/manuel yaklaşma ünitelerinde uygulanan temel koordinasyon usullerini kavramaları ve uygulamaları,

- Hava trafik hizmetinin verildiği radarlı/manuel saha kontrol ünitelerinde uygulanan temel koordinasyon usullerini kavramaları ve uygulamaları,

ile ATC ünitelerinde asistan ATCo olarak çalışmaya başlayacak düzeye gelmelerini amaçlanır ve bu kapsamda sentetik ortamda hazırlanan eğitim çalışmaları ile öğrencilerin yeterli düzeye gelmeleri sağlanır.

### 2.3. Hava Trafik Kontrol Mesleğinde Bilişsel Yetenek Gereklilikleri

En geniş anlamıyla, bilişsel yetenek bilgiyi işleme, anlama, akıl yürütme ve bilgiyi hatırlama kapasitesidir. Bilişsel yetenek, özgünlükleri ve yapı taksonomisinde işgal ettikleri hiyerarşik düzey açısından farklılık gösteren çok çeşitli yapıları içerir, bu nedenle bilim adamları bilişsel yetenekler terimini sıklıkla çoğul biçimde kullanırlar. Bilişsel yetenek, birçok alt düzey, spesifik yetenekler de dahil olmak üzere tüm yapı alanını ifade eder [56].

Bilişsel yetenekler, en basitinden en karmaşığına kadar herhangi bir görevi yerine getirmek için ihtiyaç duyduğumuz beyin temelli becerilerdir. Herhangi bir gerçek bilgiden ziyade nasıl öğrendiğimize, hatırladığımıza, problem çözdüğümüze ve dikkat ettiğimize ilişkin mekanizmalarla daha çok ilgilidirler. Algı, dikkat, hafıza, motor yetenekleri, dil, görsel ve uzaysal işleme, yönetici fonksiyonlar, bir hedefi planlama ve yürütme yeteneği gibi hedefe yönelik davranışı etkinleştiren yetenekleri kapsar. Bu fonksiyonlar şunları içerir:

- Esneklik: Uygun zihinsel moda hızla geçme kapasitesi.

- Zihin teorisi: Diğer insanların iç dünyalarına, planlarına, hoşlandıkları ve hoşlanmadıkları şeylere dair içgörü.

- Beklenti: Örüntü tanımaya dayalı tahmin.

- Problem çözme: Problemi doğru şekilde tanımlamak, ardından çözümler üretmek ve doğru olanı seçmek.

- Karar verme: Problem çözmeye, eksik bilgilere ve duygulara (bizim ve başkalarınınki) dayalı karar verme yeteneği.

- Çalışma Belleği: Bilgileri gerçek zamanlı olarak "çevrimiçi" olarak tutma ve değiştirme kapasitesi.

- Duygusal öz düzenleme: iyi performans için kişinin kendi duygularını tanımlama ve yönetme yeteneği.

- Sıralama: Karmaşık eylemleri yönetilebilir birimlere ayırma ve bunları doğru sırada önceliklendirme yeteneği [57].

### 2.3.1. Bilişsel Yetenek ile Hava Trafik Kontrolörlerinin ilişkisi

Operasyonel görevleri sırasında, ATCo'lar aynı anda birden fazla stresli görevi yerine getirebilmeli, trajik sonuçları olan olası uçak çarpışmalarının erken tespiti ve tahmin edilmesini sağlayan iyi durumsal farkındalığa sahip olmalı, kısıtlı zaman ve stres altında doğru kararlar vermelidir. Bu nedenle ATCo'larin karmaşık bilişsel stres altında sakin kalabilen ve farklı türde duyusal bilgileri işlerken doğru kararlar verebilen adaylar arasından seçilmesi gerektiği anlamına gelir. Bu nedenle günümüzde meslekleri üstün beceri ve bilgi gerektiren en stresli mesleklerden biri olarak kabul edilir [58]. ATCO'lar için yetenek seçiminin ana amacı, güvenlikle ilgili ve maliyetli bir eğitimde başarı olasılığını, profesyonel kalite güvence standartlarını yerine getirmek için sürecin etkinliğini ve geçerliliğini artırmaktır. [59].

Kontrolörler, basit bir anlatımla, uçakların bir noktadan ulaşmak istedikleri başka bir noktaya gerçekleştirdikleri uçuşlarının tüm aşamalarında diğer uçaklarla, mânialarla ve diğer araçlarla aralarındaki dikey ve yatay emniyet mesafesini korumaktan sorumludurlar [60]. Kontrolör hava trafiğini yönetmek için, zihninde uçak hareketlerini

ve konumlarını zaman boyutu ile birlikte dört boyutlu olarak canlandırma yeteneği ile bir resim oluşturmaktadır. Bu resmi devamlı olarak muhafaza etmeye çalışarak uçaklara gerekli talimatları vermektedir [61]. Kontrolörlerin görevlerinin büyük bir bölümü bilişsel yapıdadır ve zihinsel süreçlere dayanmaktadır. Bilişsel beceriler, belli bir saha ve zamanda uçakların hareketleri ile ilgili olarak muhakeme, tanımlama, durum farkındalığım koruma, planlama, hızlı ve doğru karar verme ve hızlı sözel iletişim kurma becerilerini kapsamaktadır [62] Bu sebeple ATCo'lar özel seçim ve eğitim süreçlerinden geçerek mesleğe hazır hale getirilirler.

### 2.3.2. Zihinsel iş yükü

Hava trafik akışı ve uçuş emniyeti arasındaki ilişkinin 1950'lerde keşfedilmesinden beri, zihinsel iş yükü hava trafik akışında önemli bir sorun haline gelmiştir [63]. 20. yüzyılda ise halen en önemli problem kontrolörlerin zihinsel iş yükünün değerlendirilmesi ve hafifletilmesi için gerekli önlemlerin alınması olarak devam etmektedir. Zihinsel iş yükü, "algısal, bilişsel ve motor görevlerin insan performansına aracılık eden birleşik beyin durumu veya bir dizi durum" [64] olarak tanımlanır ve ATM performansında sınırlayıcı bir faktör olarak kabul edilir [37]. Zihinsel iş yükü yukarıdaki gibi tanımlansa da evrensel olarak kabul görmüş bir tanımı yoktur. Genellikle fiziksel iş yüküne benzetilerek değerlendirilir, ancak zihinsel iş yükü tahmin, karar verme, iletişim, tanımlama ve arama gibi tüm zihinsel faaliyetleri ifade etmekte olup kişinin sahip olduğu mevcut kaynak miktarı ve işin gerektirdiği kaynak miktarı arasındaki fark ile ilgili bir kavramdır. Zihinsel iş yükü; hem kişinin sahip olduğu bireyden bireye değişen biyolojik kapasite (örneğin kişinin 24 saat uyanık kalabilme yeterliliği) hem de işin kişiye yüklediği talimatların (örneğin bilgi kanallarının sayısının artması) değişkenliği ile farklılaşmaktadır [65, 66].

ATC'deki iş yükü, doğası gereği fiziksel değil, genellikle zihinseldir [27]. Pawlak ve diğerleri (1996), kontrolör için zihinsel çaba yaratmak üzere bir araya gelen diğer üç sürecin – planlama, izleme ve değerlendirme – olduğunu belirtmektedir [30].Yetenek, beceri, deneyim, çalışma davranışları ve kişilik özelliklerinin tümü, ATC'de öznel iş yükünün belirleyicileri olarak belirtilmiştir [67,68]. Açıkça, verilen aynı görev deneyimli bir operatör için makul miktarda iş yükünü temsil edebilir, ancak deneyimsiz bir operatöre fazla yük bindirebilir. Ayrım genellikle görev yükü (bir görevin nesnel

talepleri) ve iş yükü (bir görevin performansında deneyimlenen öznel talep) arasında yapılır [27].

Literatürde ATC görev yükü faktörleri için sıralanan bazı etkenler şunlardır [27];

• Sektör akış organizasyonu [69],

• Trafik sorunlarının sayısı [70],

• Uçuş seviyesi değişikliklerinin sayısı [71],

• Uçakların ortalama hava hızı [72],

• Sektör yapısı,

• Sektör içindeki uçaklar arasında ortalama gerekli ayrıma kriterleri [69],

• Uçak tip karması;

• Uçuş rotalarının yön farklılıkları,

• Trafiklerin çakışma noktalarının sektör sınırlarına yakınlığı [73],

• Meteorolojik durum [74,75].

### 2.3.3. Seçme süreci

ATM yapısı gereği karmaşık bir yapıdadır. Çok fazla değişken ve öngörülemez olaylarla karşılaşma riski yüksek bir meslektir. Bu nedenle bir kontrolörün trafik akışına adapte olması, doğru ve yerinde kararlar verebilmesi mesleğin gerekliliklerindendir. Bu gereklilikleri karşılayabilecek adayları seçmek için dünyanın birçok ülkesinde hava trafik kontrol eğitimi alacak kişiler bir dizi teste tabi tutulurlar. Birden fazla aşamalı sınav ile en uygun adaylar belirlenir.

Avrupa'da ATCo seçim süreçlerinde EUROCONTROL'ün hazırlayıp uyguladığı yetenek sınavı olan FEAST [76] sınavı uygulanırken, FAA ve Uzak Doğu ve Avusturalya'da benzer prensiplerle hazırlanmış standart seçim sınavları uygulanmaktadır. Ülkemizde ise DHMİ personel alımında FEAST sınavı uygulanırken [41], yüksek öğretim kurumları kapsamında eğitim veren Eskişehir Teknik Üniversitesi Hava Trafik Kontrol bölümü özgün hazırlanmış özel yetenek sınavları ile seçim sürecini sürdürmektedir. Bu bölümün özel yetenek sınavına başvuran adaylar Eskişehir Teknik

Üniversitesi Lisans Programları Özel Yetenek Sınav Yönergesi'ne [77] dayalı olarak Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi Hava Trafik Kontrol Bölümü Sınav Yürütme Komisyonu tarafından hazırlanmış bir dizi sınava tabi tutulurlar.

Eleme yöntemine göre yapılan sınav aşamaları şunlardır:

1. Sayısal Yetenek Sınavı

2. Bilişsel ve Algısal Yetenek Sınavı

Bu sınavlar da;

- Sözel Algılama
- Reaksiyon Zamanı (Talimatları takip / yeniden düzenleme)
- Planlama Kabiliyeti (Çözüm, İş birliği) » Kuralları Uygulama ve Öğrenme
- Hız ve Dikkat Testi (Hafıza kapasitesi/Anlık Reaksiyon ve Gelişmeler)
- Üç Boyutlu Düşünme (Sayısal ve Şekilsel Algılama)
- Problem çözme/ortadan kaldırma

alanlarında zamana karşı yarış formatında adayların mesleğe uygunluk kriterlerinin ölçümü amaçlanmaktadır [41]. Son değerlendirme sonucun da ise belirlenen asıl adayların kayıt esnasında ICAO Annex1 3. Sınıf'ına göre belirlenmiş sağlık kriterlerine uygun olduklarını belgeledikleri sağlık raporunu teslim etmeleri gerekmektedir [77].

Bu çalışmada yer alan öğrenciler Eskişehir Teknik Üniversitesi hava trafik kontrolörü seçme sınavına tabi tutulmuş ve başarıyla eğitime hak kazanmış ATCo adaylardır.

### 2.4. Performans ve Verimlilik

Bir kontrolörün gözlemlenebilir performansı, ATC tarafından dayatılan planlama, karar verme ve izleme gibi bilişsel görev taleplerini her zaman iletemez. Beceri, eğitim, deneyim, yorgunluk ve diğer "stres faktörleri" gibi faktörlerin tümü, görev talepleri ile bir kontrolör tarafından deneyimlenen iş yükü arasındaki ilişkiye aracılık eder [27].

Performans, belirli bir görevi yerine getirmedeki etkinlik olarak tanımlanabilir. Görev performansı en yaygın olarak hız veya doğruluk açısından ölçülür. Bu performans

kriterleri arasında bir değiş tokuş vardır [78]. Daha fazla doğruluk gerektiğinde, görevi 20 tamamlamak için gereken süre artacak ve eğer görevin daha hızlı tamamlanması gerekiyorsa da doğrulukta bir azalma beklenebilir [9].

Performans ve bilişsel yük ölçümleri, öğretim koşullarının göreli verimliliğini belirlemek için birleştirilebilir. Paas ve Van Merrienboer (1993), bunun nasıl başarılabileceğine dair fikirler formüle ettiler. "Öğretim koşullarının göreceli verimliliği hakkında bilgi elde etmeyi sağlayan zihinsel iş yükü ve görev performansı ölçümlerini birleştirmek için hesaplamalı bir yaklaşım" sunarlar [79]. Belirli bir öğrenme koşulunda, öğrenenlerin performansları, harcadıkları zihinsel çaba temelinde beklenenden daha yüksekse ve/veya yatırdıkları zihinsel çaba, beklenenden daha düşükse öğrenme davranışlarının daha verimli olduğunu öne sürerler. Bu nedenle, düşük zihinsel çabayla birleştirilmiş yüksek performans en verimlidir ve yüksek zihinsel çabayla birleştirilmiş düşük performans en az verimlidir [9].

ATC görevinin oldukça karmaşık ve dinamik olduğu düşünülmektedir. Dinamik olarak değişen büyük miktarda bilginin işlenmesi, karmaşık bilişsel süreçleri gerektirir ve kontrolörlerin yeterliliklerine yüksek talepler getirir. Bu nedenle ATC, özellikle öğrenme süreçleriyle ilgili olarak karmaşık bilişsel veya yüksek performans becerisi olarak da adlandırılır [48, 80].

Ayrıca performans ve özellikle performans eksiklikleri hakkında tanısal bilgi elde etmek için bilişsel süreçlerin değerlendirilmesi gereklidir. Teşhis değerlendirmesinin havacılık alanında iyileştirme veya uzmanlık eğitimini belirlemek için [81] ve eğitimde öğrencilerin gelecekteki performansı tahmin etmek için yararlı olduğu belirtilmiştir [80,82].

Önceki araştırmalar, durum farkındalığının, hava trafik kontrolörünün operasyonel hatalarının sayısı ve ciddiyeti ile ilgili olduğunu göstermiştir. Bu nedenle hava trafik kontrolör performansının belirlenmesinde kritik bir değişken olarak kabul edilir [83-85]. Durum farkındalığı yeni hava trafik yönetimi konseptlerinin başarısını belirlemede kritik bir faktör olarak tanımlanmıştır [86]. Ancak, mevcut tüm durum farkındalığı yöntemlerinin, ATCo performansının doğru tahminlerini engelleyen sınırlamaları vardır [36]. Ne yazık ki, durum farkındalığın ölçmek için henüz küresel olarak kabul edilmiş bir standart yoktur ve mevcut her yöntemin belirli avantajları ve dezavantajları olduğu

gösterilmiştir [87]. Durum farkındalığının ölçülmesinin zorluklarından dolayı çalışmamız da performansı etkileyecek bir değişken olarak ele alınmamıştır.

# 3. DENEY TASARIMI

Deneylerin uygulanması öncesinde yoğun ve titiz bir hazırlık süresi olan deney planlaması aşamasında öncelikli olarak uygulama yapılacak hava sahasına karar verilmiştir. Bu hava sahasında farklı zorluk derecelerine sahip 4 egzersiz hazırlanmıştır. Zorluk derecesi kavramı hava trafik kontrol için çok geniş bir kavram olup bu çalışma kapsamında literatürde de zorluk derecesi olarak görev karmaşıklığının tanıtımından türetilerek uçak sayısı temel alınmıştır. Egzersiz süresi olarak eğitim sırasında uygulanmakta olan süre olan egzersiz başına 20dk referans alınmıştır. Gönüllülerin deney sırasındaki performanslarını değerlendirebilmek için bir performans kriteri tanımlanmış ve veriler bu kriterler ışığında elde edilmiştir.

## 3.1. Hava Sahasının Tasarımı

Terminal kontrol sahası bir veya daha fazla büyük havaalanının bulunduğu ve Hava Trafik Hizmet yollarının kesiştiği yerde kurulan kontrollü hava sahasıdır. Terminal kontrol sahaları; o bölgede kullanılan seyrüsefer yardımcılarının kapasiteleri dikkate alınarak, IFR veya VFR uçuşlarının uçuş yollarını veya bunların bölümlerini içerecek ve hava trafik kontrol hizmetinin uygulanabilirliğine olanak sağlayacak yeterlilikte tasarlanmalıdır [1]. Bu tez kapsamında uygulanan deneylerde hava trafik bölümünde yer alan radar simülasyon laboratuvarında verilen eğitimler sırasında kullanılan ve öğrencilerinde çalışmalarında tecrübe ettiği eski İstanbul Terminal Hava Sahası örnek alınmıştır.

### 3.1.1. Hava sahası yapısı

Kullanılan hava sahası içerisinde 6 adet seyrüsefer yardımcısı, 11 referans noktası ve hava trafik hizmet yolları bulunmaktadır. Hava sahasının güneyinde bulunan ve terminal hava sahası sınırları ile kesişen Bandırma Askeri Terminal Sahası yasaklı saha olarak yer almaktadır.

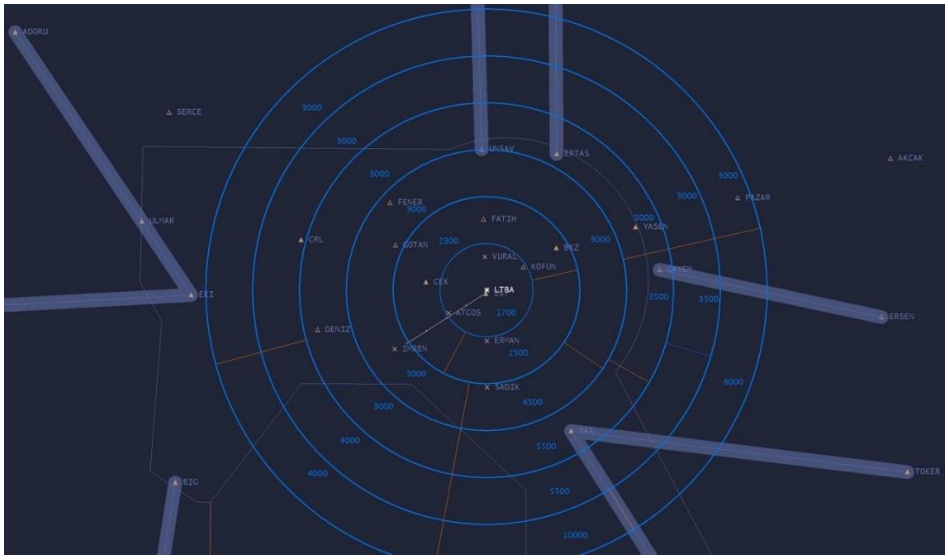
Hava sahasının batısında GOLDO; kuzey batısında VADEN, ARSEN; kuzeyinde RIXEN, MAKOL; doğusunda AKCAK, ERSEN, TOKER; güney doğusunda KARGI ve güneybatısında AMANI, BERGO olmak üzere toplam 11 adet giriş çıkış noktası vardır. Saha Kontrolün iniş trafiklerini yaklaşma kontrole devir noktaları; AMANI, BERGO

girişleri için BIG; GOLDO, ADORU girişleri için EKI; RIXEN girişleri için UNSAV; 22 ERSEN girişleri için BKZ; KARGI, TOKER girişleri için YAA'dır. Yaklaşma kontrolün kalkış trafiklerini saha kontrole devretmesi gerektiği noktalar VADEN çıkışları için FENER, GOLDO çıkışları için EKI; AMANI, BERGO çıkışları için BIG; TOKER, KARGI çıkışları için YAA'dır.

Hava sahası içerisinde yaklaşma kontrol hizmeti verilen Atatürk Havalimanı'nda 18-36, 06-24 pistleri yer almaktadır. 36 pisti için ilk yaklaşma noktası IMREN, 06 pisti için ilk yaklaşma noktası SADIK olarak belirlenmiştir (Şekil 3.1.). Bu tez kapsamında yapılan deneylerde iniş pisti olarak 06 pisti kullanılmış ve verilen eğitime paralel olarak vektör tekniği ile yaklaşma kontrol hizmeti verildiği kabul edilmiştir.

**Şekil 3.1.** *Kullanılan hava sahası*

İniş ve kalkış yapan trafikler "minimum radar vectoring altitude" (MRVA Minimum Radar Vector Altitude) chartındaki irtifa değerleri göz önüne alınarak alçaltılmalı ya da tırmandırılmalıdır. Trafikler MRVA irtifa değerlerine girmeden önce o bölgedeki MRVA değerini almış ya da geçmiş olmalıdır. İstanbul sahasının MRVA tablosu aşağıdaki şekilde gösterilmektedir (Şekil 3.2.).




**Şekil 3.2.** *MRVA seviyeleri görüntüsü*

## 3.2. Egzersiz Tasarımı

Uygulanan deneylerin amacı farklı zorluk seviyelerindeki trafik akışı ile ATCo'ların performans ve verimliliğini analiz etmektir. Zorluk seviyesi, görev karmaşıklığının tanımından türetilmiştir [88] ve simülatör eğitimindeki değerlendirme görevleri, esas olarak iyi seçilmiş simülatör senaryolarının artan karmaşıklığına bağlıdır [89]. Anekdot niteliğindeki kanıtlar, kontrolörlerin artan bir şekilde belirli bir trafik yoğunluğunun zorluğundan değil, bununla bağlantılı trafik karmaşıklığından bahsettiğini göstermektedir [90]. Trafik yoğunluğunun yalnızca karmaşıklığın önemli bir itici gücü olmadığı, aynı zamanda çakışma oranıyla da iyi bir şekilde ilişkili olduğu not edilmiştir [91]. Bu çalışma kapsamında tasarlanan egzersizler arasında uçak sayılarına ve uçakların birbirlerine göre çakışma durumlarına göre farklı zorlukta egzersizler yaratılmıştır. Egzersizler kolay (5 uçak), orta (8 uçak), zor (12 uçak) ve çok (15 uçak) zor olmak üzere 4 ayrı seviyede tasarlanmıştır.

Her seviyedeki senaryo; uçakların 06 pisti için inişe gelen yaklaşma trafiği olarak tasarlanmıştır. Yaklaşma tipi 06 pisti için aletli yaklaşma prosedürüdür ve aletli iniş sistemi (ILS- Instrument Landing System) seyrüsefer yardımcısı olarak kullanılmaktadır. Uçaklar vektör tekniği ile bu ILS korsuna yönlendirilmekte ve MRVA minimumlarına göre alçalma talimatları 24 verilmektedir. ILS korsu üzerinde IMREN noktası geliş noktası ve ATCOS noktası meydan kontrol hizmetine devir noktası olmak üzere

belirlenmiştir. Senaryolarda trafiklerin hava sahasına giriş noktaları olarak kuzeyde UNSAV noktası, batıda EKI noktası, güneydoğuda YAA noktası ve güneybatıda BIG noktasından girecek şekilde oluşturulmuştur.

Geliş trafiklerinin hava sahasına giriş seviyeleri eğitimlerde de öğrencilerin aşina olduğu ve çalıştığı FL 160 altında oluşturulmuş ve tüm uçakların tipleri B738 olarak belirlenmiştir.

Farklı zorluk seviyelerinde oluşturulan tüm egzersizler uçak sayı farklıkların yaratacağı zorlukları ölçebilmek amacı ile 20 dakika ile sınırlandırılmıştır. Ayrıca sınırlandırılmış süre ile her bir gönüllü çalışmasının bir diğeriyle oluşacağı hizmet verilen uçak sayısı gibi verilen hizmetin verimliliği açısından farklılıkları ölçmek hedef alınmıştır.

Oluşturulan egzersizlerde gönüllülerden vektör tekniği, hız tekniği kullanarak uçakların kendi aralarında yeterli ayırma minimumlarını sağlamış olmaları istenmektedir. Bununla birlikte uçakları uygun uçuş vektörleriyle yaklaştırması, uçakları localizer ve glide path için gerekli uçuş başları ve seviyelerle ILS hattına minumum ayırma kriterlerine göre sıralaması beklenmektedir. Son olarak ayırması tamamlanmış ve inişe hazır hale gelmiş uçakları meydan kontrol kulesine devretmesiyle o uçağa verilen hizmet tamamlanmış olacaktır.

Bu bölümde verilen egzersiz uçuş planı tablolarında çağrı adı sütunu altında uçak şirketlerinin kısaltmalarından oluşan her birine ayrıştırıcı olmak üzere verilen uçağı tanımlayıcı kısaltmalar yer almaktadır. Başlangıç zamanı sütunu altında; egzersiz saatinden itibaren uçağın yaklaşma kontrol ünitesine kaçıncı dakikada devir olacağı bilgisi, seviye sütunu altında; uçağın devir olduğu seviye, başlangıç noktası sütunu altında; uçağın yaklaşma kontrol ünitesine devredileceği radyal ve devir noktasına olan mesafe bilgisi, rota sütunun altında; uçağın yaklaşma kontrol tarafından herhangi bir başka vektör verilmediği sürece takip edeceği yol bilgileri yer almaktadır.

1.Egzersiz 5 uçaktan oluşan kolay senaryodur. Uçaklar 1 tane UNSAV, 2 tane EKI 2 tane YAA noktasından gelecek şekilde tasarlanmıştır (Tablo 3.1.). Bu egzersizde uçaklar terminal hava sahasına (TMA) girmeden önce kendi aralarında yeterli ayırması sağlanmış ve uçakların ILS hattına olan mesafeleri sıralı olacak şekilde tasarlanmıştır (Şekil 3.3.). Bu egzersizde gönüllülerden beklenen tüm uçakları meydan kontrol ünitesine

devredecek şekilde çalışma yapmasıdır. Bunun için uçaklara uygun vektör ve alçalma talimatı vererek ILS korsuna yönlendirmeleri beklenmektedir. Uçakların çağrı adları, başlangıç zamanları, seviyeleri, giriş noktaları, rotaları Tablo 3.1.'de gösterilmektedir.

**Tablo 3.1.** *Kolay seviyedeki egzersiz uçuş planı*

| | Uçak Çağrı Adı | Başlangıç Zamanı | Uçuş Seviyesi | Başlangıç Noktası | Rotası |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | AFR714 | 00:05:15 | FL120 | YAA/144/25 | YAA/SADIK/IMREN |
| 2 | BAW643 | 00:01:00 | FL100 | UNSAV/354/10 | UNSAV/IST/MREN |
| 3 | DLH489 | 00:05:15 | FL110 | YAA/144/15 | YAA/SADIK/IMREN |
| 4 | PGT523 | 00:03:00 | FL110 | EKI | DENIZ/IMREN |
| 5 | THY583 | 00:04:45 | FL120 | EKI | DENIZ/IMREN |

**Şekil 3.3.** *Kolay seviye egzersiz radar ekran görüntüsü*

2. Egzersiz 8 uçaktan oluşan orta seviyeli senaryodur. Uçaklar 3 tane UNSAV, 3 tane YAA, 2 tane EKI noktasından gelecek şekilde tasarlanmıştır (Tablo 3.2.). Bu egzersizde uçaklar terminal hava sahasına (TMA) girmeden önce kendi aralarında yeterli ayırması sağlanmış ve uçakların ILS hattına olan mesafeleri sıralı olacak şekilde

tasarlanmıştır (Şekil 3.4.). 1.egzersizden farklı olarak uçakların sıralanma şekli ilk egzersize göre çok yönlü düşündürmeyi gerektirmektedir. Bu egzersizde gönüllülerden beklenen uçak sıralamalarını ILS hattına göre mesafelerine göre yaklaştırması, tüm uçakların ILS hattına sıralamış ve uygun alçalma talimatı verilmiş şekilde çalışmayı tamamlamasıdır. Uçakların çağrı adları, başlangıç zamanları, seviyeleri, giriş noktaları, rotaları Tablo 3.2.'de gösterilmektedir.

**Tablo 3.2.** *Orta seviyedeki egzersiz uçuş planı*

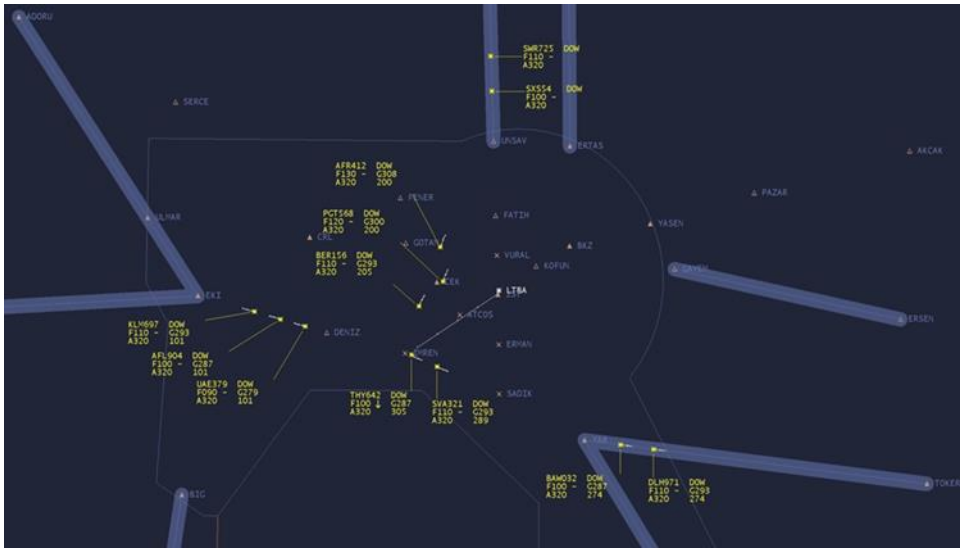
| | Uçak Çağrı Adı | Başlangıç Zamanı | Seviyesi | Başlangıç Noktası | Rotası |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | BAW157 | 00:05:00 | 110 | YAA/094/20 | YAA/SADIK/IMREN |
| 2 | BER103 | 00:01:00 | 110 | UNSAV/354/5 | UNSAV/IST/IMREN |
| 3 | KLM691 | 00:05:30 | 110 | EKI | DENIZ/IMREN |
| 4 | PGT602 | 00:01:30 | 90 | EKI | DENIZ/IMREN |
| 5 | SXS444 | 00:06:30 | 100 | UNSAV/354/20 | UNSAV/IST/IMREN |
| 6 | THY006 | 00:02:45 | 130 | UNSAV/354/21 | UNSAV/IST/IMREN |
| 7 | THY462 | 00:02:00 | 100 | YAA/144/15 | YAA/SADIK/IMREN |
| 8 | UAE010 | 00:00:30 | 110 | YAA | YAA/SADIK/IMREN |

**Şekil 3.4.** *Orta seviye egzersiz radar ekran görüntüsü*

3.Egzersiz 12 uçaktan oluşan zor sevideki senaryodur. Uçaklar 5 tane UNSAV, 4 tane YAA, 3 tane EKI noktasından gelecek şekilde tasarlanmıştır (Tablo 3.3.). Bu egzersizde uçakların aralarında yeterli ayırma olmadan ve sıralama yapılması gereken uçakların ILS hattına olan mesafeleri birbirlerine yakın ya da eşit şekilde tasarlanmıştır (Şekil 3.5). 2. egzersizden farklı olarak uçakların sıralanma şekli gönüllünün ölçme ve değerlendirmesini gerektirir şekilde oluşturulmasıdır. Bu egzersizde gönüllülerden beklenen uçakların birbirilerine göre ayırmalarını sağlamalarını, uçak sıralamalarını oluşturmaları ve maksimum sayıda uçağı ILS hattına sıralamış ve uygun alçalma talimatı verilmiş şekilde çalışmayı tamamlamasıdır. Uçakların çağrı adları, başlangıç zamanları, seviyeleri, giriş noktaları, rotaları Tablo 3.3.'de gösterilmektedir.

**Tablo 3.3.** *Zor seviyedeki egzersiz uçuş planı*

| | **Uçak Çağrı Adı** | **Başlangıç Zamanı** | **Seviyesi** | **Başlangıç Noktası** | **Rotası** |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | AFL904 | 00:07:15 | FL100 | EKI | DENIZ IMREN |
| 2 | AFR412 | 00:02:30 | FL130 | UNSAV/354/20 | UNSAV IST IMREN |
| 3 | BAW032 | 00:10:30 | FL100 | YAA/094/10 | YAA SADIK IMREN |
| 4 | BER156 | 00:00:30 | FL110 | UNSAV/354/14 | UNSAV IST IMREN |
| 5 | DLH971 | 00:10:30 | FL110 | YAA/094/17 | YAA SADIK IMREN |
| 6 | KLM697 | 00:08:30 | FL110 | EKI | DENIZ IMREN |
| 7 | PGT568 | 00:01:30 | FL120 | UNSAV/354/17 | UNSAV IST IMREN |
| 8 | SVA321 | 00:00:30 | FL110 | YAA/144/17 | YAA SADIK IMREN |
| 9 | SWR725 | 00:11:00 | FL110 | UNSAV/354/17 | UNSAV IST IMREN |
| 10 | SXS54 | 00:11:00 | FL100 | UNSAV/354/10 | UNSAV IST IMREN |
| 11 | THY642 | 00:00:30 | FL100 | YAA/144/10 | YAA SADIK IMREN |
| 12 | UAE379 | 00:06:00 | FL090 | EKI | DENIZ IMREN |

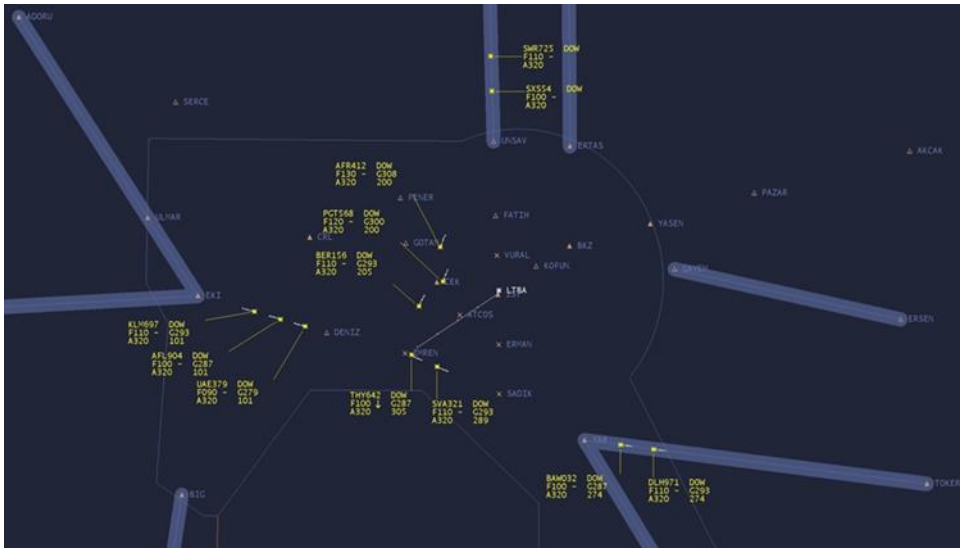



**Şekil 3.5.** *Zor seviye egzersiz radar ekran görüntüsü*

4.Egzersiz 15 uçaktan oluşan çok zor senaryodur. Uçaklar; 5 tane UNSAV, 3 tane YAA, 1 tane EKI, 2 tane BIG noktasından gelecek, 4 tane EKI noktasını geçmiş DENIZ noktasına yaklaşacak şekilde tasarlanmıştır (Tablo 3.4.). Bu egzersiz uçaklar kendi aralarında yeterli ayırma olmadan ve sıralama yapılması gereken uçakların ILS hattına olan mesafeleri birbirlerine yakın ya da eşit şekilde tasarlanmıştır (Şekil 3.6.). 3.egzersizden farklı olarak uçak giriş noktası olarak BIG ve DENIZ noktası eklenmiştir. Böylelikle sıralama ölçümleri ve kesişen trafik noktaları arttırılarak iş gücü yüklenmiştir. Uçakların DENİZ noktası civarlarında çıkması ILS hattına yakınlığından dolayı gönüllünün sıralamada daha hızlı karar verme durumunu yaratmaktadır. Ayrıca ILS hattına uçakların sıralanma şekli gönüllünün ölçme ve değerlendirmesini gerektirir şekilde oluşturulmuştur. Bu egzersizde gönüllülerden beklenen çıkan uçakların birbirilerine göre ayırmalarını sağlamalarını, hızlı karar vermelerini ve uçak sıralamalarını oluşturmaları, maksimum sayıda uçağı ILS hattına sıralamış ve alçalmalarını tamamlamış şekilde çalışmayı tamamlamasıdır. Uçakların çağrı adları, başlangıç zamanları, seviyeleri, giriş noktaları, rotaları Tablo 3.4.'de gösterilmektedir.

**Tablo 3.4.** *Çok zor seviyedeki egzersiz uçuş planı*

| | Uçak Çağrı Adı | Başlangıç Zamanı | Seviyesi | Başlangıç Noktası | Rotası |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | AFL126 | 00:08:30 | FL120 | UNSAV/354/20 | UNSAV IST IMREN |
| 2 | AFR549 | 00:05:00 | FL100 | YAA/094/10 | YAA SADIK IMREN |
| 3 | BAW4042 | 00:00:10 | FL080 | UNSAV | UNSAV IST IMREN |
| 4 | DLH163 | 00:07:00 | FL130 | BIG | DENIZ IMREN |
| 5 | KLM106 | 00:02:00 | FL080 | DENIZ/280/18 | DENIZ IMREN |
| 6 | KLM6423 | 00:04:00 | FL100 | DENIZ/280/23 | DENIZ IMREN |
| 7 | PGT589 | 00:09:00 | FL140 | EKI | DENIZ IMREN |
| 8 | PGT943 | 00:03:00 | FL100 | DENIZ/280/21 | DENIZ IMREN |
| 9 | SVA530 | 00:00:30 | FL080 | DENIZ/280/04 | DENIZ IMREN |
| 10 | SWR569 | 00:10:00 | FL120 | UNSAV/354/25 | UNSAV IST IMREN |
| 11 | SXS214 | 00:05:30 | FL120 | YAA/145/10 | YAA SADIK IMREN |
| 12 | THY5170 | 00:00:30 | FL090 | UNSAV/354/10 | UNSAV IST IMREN |
| 13 | THY8596 | 00:11:30 | FL140 | UNSAV/354/25 | UNSAV IST IMREN |
| 14 | THY986 | 00:10:30 | FL140 | BIG | DENIZ IMREN |
| 15 | UAE5012 | 00:03:00 | FL140 | YAA/094/4 | YAA SADIK IMREN |




**Şekil 3.6.** *Çok zor seviye egzersiz radar ekran görüntüsü*

### 3.3. Katılımcılar

Projeye tez kapsamında yapılan deneylere Eskişehir Teknik Üniversitesi Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Hava Trafik Kontrol Bölümü öğrencileri arasından seçilen 15'er kişiden oluşan iki grup öğrenci katılmıştır. Seçilen öğrenci grubu 20-24 yaş arası 15'i deneyimli ve 15'i deneyimsiz toplamda 30 öğrenciden oluşmaktadır. Deneyimli grup bölüm dersleri kapsamında 14 egzersizden oluşan ve yetkili eğitmen eşliğinde yaklaşma kontrol simülasyon eğitim çalışması yapan öğrencilerden oluşmaktadır. Deneyimsiz grup ise sadece Radar Kontrol Yöntemleri teori dersini almış ve yaklaşma kontrol simülasyon uygulama dersine hiç katılmamış öğrencilerden oluşmaktadır. Deneyimsiz öğrenci grubuna ön bilgi olarak zoom üzerinden sözel ve görsel yardımcılar eşliğinde simülasyon egzersizlerinde yapmaları beklenen görevler açıklanmış ve uygulama esasları anlatımı yapılmıştır.

### 3.4. Veri Toplama

Bu çalışmada toplanan veriler, not ortalamaları, bilişsel yetenek puanları ve deney değerlendirme puanları olmak üzere üç ana grupta toplanmaktadır. İlk olarak gönüllü grubunun akademik başarıları derecelerini inceleyebilmek için not ortalamaları toplanmıştır. Not ortalamaları genel not ortalaması ve sadece simülasyon derslerinin başarılarını içeren not ortalamaları olarak kendi içinde ikiye ayrılmaktadır. Gönüllülerin önsel bilgilerinin ve başarılarının simülatör başarısına etkisini incelemek amacı ile genel not ortalamasına yer verilmiştir. Gönüllülerin bölümde almış olduğu simülatör derslerindeki başarısı ile radar yaklaşma simülatörünü konu alan uygulamalı deneylerimizdeki başarısının ilişkisinin incelenebilmesi için genel not ortalamasından sadece simülatör derslerinin notları çıkartılarak her bir öğrenci için simülatör dersi not ortalaması hesaplanmıştır.

İkinci olarak, gönüllülerin bilişsel yeteneklerinin ölçüldüğü test uygulaması yapılmış ve sonuçları toplanmıştır. Bu test verilen harf, sayı ve sembollerin kombinasyonlarını hafızada tutma becerisinin ölçüldüğü görsel hafıza testi (Visual Memory Test), yapılan dönüş hareketlerinde sağ/sol dönüş sayısını tespit etmeye yönelik olan yön algılama becerisi testi (Bend Counting), uçaklara verilen dönüş açılarının sonucunda ulaşacağı yönün tespitinin ölçüldüğü uçak yön testi (Aircraft positioning test), üç boyutlu düşünme becerisinin ölçüldüğü küp testi (Cube Folding), farklı iki noktadaki

görevlerin takip becerisinin ölçüldüğü ayrılmış dikkat testi (Divided Attention Test), verilen kuralları öğrenme ve uygulama, bellekte tutma, konsantrasyon becerisinin ölçüldüğü öğrenme ve uygulama testi (Learning and Applying Rules), ve matematiksel hesap becerisinin ölçüldüğü mental aritmetik (Menthal Arithmetic) testlerini kapsamaktadır.

Üçüncü olarak, oluşturulan 4 egzersizle yapılan deney sonuçlarının performans ve verimlilik değerlendirme puanları toplanmıştır. Performans değerlendirmesi gönüllülerin çalışmalarını yapılan hata sayıları üzerinden değerlendirirken, hataların içeriği 1. derece ve 2. derece kritik hatalar olarak sınıflandırılmıştır. Verimlilik değerlendirme puanı ise egzersizin bitiş zamanı olan 20 dakikanın sonunda hizmet verilen uçak sayısı ILS korsunda sıralanmış uçak sayısı ile ilişkilendirilerek hesaplanmıştır.

### 3.5. Çalışmanın Uygulanması

Bu tezin kapsamı TÜBİTAK 1002 tarafından desteklenen araştırma projesi içeriğinden türetilmiştir. Proje ve bu tez kapsamında Eskişehir Teknik Üniversitesi Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Hava Trafik Kontrol Bölümü öğrencileri ile gerçekleştirilen deneyler konu alınmıştır. Söz konusu deneyler ilgili fakültenin ilgili bölümünde bulunan Hava Trafik Kontrol Radar Simülatörü ortamında uzman ve yetkili eğitim personeli eşliğinde araştırmanın amacı doğrultusunda gönüllülük esasına dayalı olarak belirlenmiş öğrencilerle yapılmıştır.

Yapılan deneyler sırasında laboratuvar ortamının ve deney tarih ve saatinin gönüllülerin performanslarını olumsuz yönde etkilemeyecek şekilde hazırlanmasına dikkat edilmiştir. Gönüllüler toplam 4 egzersiz çalışmış olup yorgunluk etkisinin verileri etkilememesi için bir günde en fazla 2 egzersiz çalışacakları şekilde planlanmıştır. Deneylerde her öğrenci günde zorluk seviyeleri sırasıyla günde 2 çalışma yapmıştır. Egzersizler arasında 10 dk dinlenme molası verilmiştir. Ayrıca deney günlerinin saat planlaması yapılarak gönüllülerin fakülte ortamında geçirecekleri süre azaltılarak hem performanslarına olumsuz etkisi hem de COVİD-19 pandemisi sebebiyle sağlık riski oluşturmayacak şekilde planlama yapılmıştır.

Hazırlanan egzersizler öncelikle ön test olarak bölümde yaklaşma kontrol dersini almış ve geçmiş 2 hava trafik kontrol öğrencisi üzerinde uygulanmıştır. Öğrencilerden

çalışmaların neticesinde egzersizlerin zorluk ve karmaşıklık seviyeleri açısından 1'den 10'a kadar puan vermeleri istenmiştir. Puanlar doğrultusunda egzersizlerin 4 kademeli zorluk düzeyi modifiye edilmiştir.

Deneyimsiz öğrenci grubuna 2 saat boyunca uzman bir hava trafik kontrollörü eğitmeni tarafından uzaktan sesli ve görsel yöntemlerle örnek simülasyon çalışmaları gösterilmiştir. Bu çalışmalar da egzersiz sırasında kullanılan ayırma yöntemleri, vektör ve hız teknikleri, hava sahasının tanıtımı, krtitik noktalar ve kullanılan araçlar ile ilgili ön bilgilendirme yapılmıştır.

Egzersizler öğrencilerin hali hazırda eğitim aldıkları simülatör laboratuvarında uygulanmıştır. Simülatör laboratuvarında kullanılan radar ekranlarında çalışılmıştır. Çalışmalar anında komutlar telsiz aracılığı ile sesli olarak sanal pilota iletilmiştir.

Öğrencilerden her senaryo için uçakları ILS hattına yönlendirmeleri ve meydan kontrol ünitesine devredecek şekilde ILS hattında belirli irtifalar korunarak sıralama yapmaları beklenmiştir. Bu görevi yerine getirirken, tüm uçakların kontrollü hava sahası içinde kalmasını ve diğer uçaktan minimum dikey ve yatay mesafeyi sağlamaları gerekmektedir. Öğrenciler çalışmalardaki tüm uçakların irtifa ve uçuş yönünü standart frezyoloji kullanmışlardır.

Egzersiz çalışmaları uzman eğitmen tarafından eş zamanlı olarak izlenmiştir. Gerçekleşen hatalar ve durumlar, hata kriterleri önceden belirlenen değerlendirme formlarına o an not edilmiştir. Talimatlar verilen komut sayıları da dahil olmak üzere detaylı olarak ayrıca yazılı olarak not edilmiştir. Veriler hem sesli hem de görsel olarak kayıt edilmiş ve daha sonra tekrar izlenerek daha detaylı bir raporlamaya olanak sağlamıştır.

### 3.6. Kabuller

ATC hizmetinin amacı hava sahasındaki uçaklar arasında gerekli minimum ayırmayı ve en verimli trafik akışını sağlamaktır. Bir anlamda, ICAO tarafından zorunlu kılınan 5NM ve 1000ft (RVSM hava sahasında) ayırma standartlarına uymanın ötesinde, bir kontrolörün hava trafiğini verimli şekilde idare etmesi konusu standartlaştırması zor bir kavramdır. ATC hizmetinde, uygunsuz davranışın mutlaka olumsuz bir sonuca yol açmadığı [92] ve hava trafik kontrol hizmeti olasılıklı bir ortamı temsil eder [93]. Bu

açıdan aynı kabul edilebilir sonuca ulaşmak için birçok farklı strateji kullanılabildiğinden, ATC performansının kriter ölçümlerinin anlaşılması zor bir husustur [27,94,95].

ATC hizmetlerinin emniyetli ve verimli olması gerektiği tüm ATC hizmetleri tanımlarının içinde yer almaktadır [1]. Buna göre öğrencilerin verimlilik açısından performanslarının değerlendirilmesi de önem arz etmektedir. ATC hizmetinde verimlilik ölçütü çok geniş bir kavram olup pek çok farklı yaklaşım bulunmaktadır. Güvenliğin yanı sıra, ATC hizmeti uçuşlarda gereksiz gecikmeleri önlemek için kontrolörler verimlilik gereksinimlerini karşılamalıdır [80]. Bu çalışmada gecikme olmaksızın verilen süre içinde hizmet verilen uçak sayısını verimlilik olarak tanımlanmıştır. Diğer bir ifade ile uçakların saha kontrol ünitesinden devir alınması ve meydan kontrol kulesine devretmesiyle tamamlanmış bir hizmetin birim zamanda ne kadar çok uçağa verildiğinden söz edilmektedir. Burada verimlilik ölçütleri uçakların ILS hattına uygun ayırmalar ve irtifada dizilmesidir. Ancak ILS korsu uzun ve temsil etmekte olduğundan uçakların egzersiz bitiş zamanında bulundukları pozisyonların da dikkate alınması gerekmektedir. Bu yaklaşımla yeni bir verimlilik ölçütü oluşturulmuş ve öğrenciler egzersizleri buna göre değerlendirilmiştir. Bu konuda yapılan hesaplama "Değerlendirme ölçütleri" bölümünde ayrıntılı açıklanmaktadır.

Bir trafik akışının düzgün şekilde sağlanması emniyet ve trafik akış düzenini sağlayacak kararlara ve bu bağlamda verilen talimatlara bağlıdır. Bu çalışmada 1. dereceli hataları emniyet kriterleri açısından ve 2. dereceli hatalar da düzenli trafik akışını sağlayan talimatlar olarak değerlendirilmiştir. Bu iki kriterin bütünü performans olarak tanımlanmıştır. ATC simülatör eğitiminde ve OJT'de değerlendirme genellikle performans değerlendirmesi olarak tanımlanır [96]. Bu nedenle öğrencilerin performansları değerlendirme ölçütleri Bölüm 3.7.'deki kriterler ışığında performansları değerlendirilmiştir.

Çalışmada yapılan deneylerde kullanılan hava sahasında ayırma miniması olarak 5NM ve 1000ft kullanılmıştır. Egzersizlerde sadece geliş trafiklerine yer verilmiş olup kalkış uçakları bulunmamaktadır. Uçak performans farklılıklarına yer verilmemiş ve tüm trafiklerin uçak tipi olarak B738 tipi seçilmiştir.

### 3.7. Değerlendirme Ölçütleri

Bu çalışmada öğrencilerin radar yaklaşma simülatörü egzersizlerinde gösterdikleri performansın ölçülebilmesi için literatürde yer alan değerlendirme tablosu incelenmiştir] [97]. Bu değerlendirme tablosunda bulunan ölçütlerin ağırlıklandırılması değiştirilmeden çalışmamıza uygun ayrıntılar eklenmiş ve daha açıklayıcı bir hale getirilmiştir. Oluşturulan değerlendirme ATCo tarafından verilen talimatların sonucunda uçaklar arsındaki ayırma minimumlarının düşme durumunu performans puanını en çok etkileyen katsayısına sahiptir. Hava trafik kontrol hizmetinde emniyetin birinci derecede öncelikli olduğu düşünüldüğünde bu yaklaşımın doğru olduğu ortadadır. Bu tabloya göre uçaklar arasındaki bulunması gereken ayırmanın düştüğü durumda öğrencilerin bu durumu çözebilmek için yeni bir talimat verip vermemesi ve oluşan durumun kritikliği göz önüne alınarak derecelendirme yapılmıştır. Diğer yandan verilen talimatlarda yapılan frezyoloji hataları ve amacına uygun olmayan vektör talimatları ikincil derecede önem verilerek değerlendirmeye alınmaktadır.

Çalışmalar 1.derece hatalar, 2.derece hatalar ve tamamlanan hizmet yani ILS korsu üzerinde sıralanan uçak sayısı göz önünde bulunarak ölçeklendirilmiştir. Değerlendirmeler hata düzeylerine göre hatalara kat sayı atanarak oluşturulmuştur. Farklı zorluklara göre yapılan egzersizlerin her biri eşit şekilde değerlendirilmiş ve hata kat sayıları her egzersiz için sabit tutulmuştur. 1. derece hata kat sayıları Tablo 3.5.'de 2. derece hata katsayıları Tablo 3.6.'da ve ILS korsu üzerindeki uçak sayılarına ilişkin verimlilik değerlendirme ölçütleri Tablo 3.7'de gösterildiği şekildedir.

**Tablo 3.5.** *1. Derece hata değerlendirme tablosu*

| **Yapılan Hata** | **Puan değeri** |
|---|---|
| Uçaklar arası Çakışma | 10 |
| MRVA alti seviye verilmesi | 10 |
| ILS hatti üzerinde düşük ayirma | 8 |
| Düşük ayirmalı kontrolsüz alçalma | 8 |
| Kontrolsüz alçalma | 6 |
| Yasakli sahaya girme (müdahalesiz) | 10 |
| Yasakli sahaya girme (müdahaleli) | 8 |

1. Derece hatalar trafik akışında hava trafiğini çok ciddi kazalara sebebiyet verecek durumları içermektedir. Bunlar iki uçak arsındaki çakışma, MRVA seviyelerinin altına seviye verme, yasaklı sahaya girmek, ILS hattı üzerinde düşük ayırma, kontrolsüz alçalma, olarak gruplandırılmıştır.

Uçaklar arasındaki çakışma, iki uçağın hem seviye hem de yatay mesafede yeterli ayırmasının sağlanmadığı durumu ifade eder. Bu durumlarda radar ekranında kırmızı halkalar görülür bu durum emniyet açısından 1. derece de tehlikeli durumdur. MRVA uçakların manialardan gerekli emniyet payı oluşturularak alçaltılmasını gerektiren seviyeleri içermektedir. Uçakların bu seviyelerin altında uçması olası çarpışma riski sebebiyle 1.derece risk taşıyan durumlardır.

Tasarlanan hava sahasında yasaklı saha; içerisinde atış tatbikatları yapılan saha olarak tanımlanmıştır. Dolayısıyla uçakların yasaklı sahaya girmesi çakışma derecesinde tehlikeli bir durum oluşturmaktadır ancak bu konuda sahanın sınırından müdahale edilerek döndürülmesi ve hiçbir müdahale edilmemesi şeklinde 2 grupta kategorilendirme yapılmıştır. Müdahaleli durum ve müdahalesiz durum için iki ayrı kat sayısı atanmıştır.

Uçakların emniyetli şekilde iniş yapmalarını sağlamak amacıyla meydan kontrol ünitesine devredilmeden önce uçakların ILS hattı üzerinde yeterli mesafede olması gerekmektedir. ILS hattı üzerinde farklı seviyelerde olsa dahi yeterli ayırma miniması bulunmayan iki uçak son yaklaşma safhasında tehlikeli durum oluşturacaktır. Bu durumdaki hata ILS üzerinde düşük ayırma olarak adlandırılmıştır.

Kontrolsüz alçalma uçakların yanlamasına göre yeterli ayırmasının bulunmadığı durumlarda 2 uçağa birden alçalma verilerek emniyetli irtifanın tehlikeye girebileceği durumları ifade eder. Bu kategoride kontrolsüz alçalan ancak aralarında gerekli dikey ayırmanın olduğu (6 puan) ve kontrolsüz alçalan ancak anlık olarak aralarında gerekli ayırmanın sağlanmadığı durumlar (8 puan) olarak iki gruba ayrılmıştır (Tablo 3.5.).

2.derece hatalar düzenli trafik akışını ve hızını etkileyecek durumları içermektedir. Bunlar pas geçme, ILS hattını delme, ILS hattında taşma, gereksiz uçuş başları olarak gruplandırılmıştır.

Pas geçme hata tipi; uçağın olması gereken irtifadan daha yüksek irtifada olmasından ya da ILS hattına oturamamış olmasından kaynaklı inişini

tamamlayamayarak uçağın pas geçmesi durumudur. Pas geçişleri yönetilen trafiğin verimliliğini etkilemekte hem pilota hem kontrolöre daha fazla iş yükü oluşturmaktadır.

ILS hattını delme hata tipinde; ILS hattına uygun başla oturtulmayan uçaklar ya da uçaklara ILS iznini vermeyip ILS hattına oturmadan hattı kat etmesi durumudur. Bu durumda kontrolörün uçağı korsa oturtabilmek için yeniden bir uçuş başı vermesi gerekmektedir. Bu da trafik akış hızını ve emniyeti etkilemektedir. ILS hattında taşma hata tipi; ILS izni verilen ancak hat üzerinde savrularak ilave uçuş başı gerektirmeden oturan durumlardır. Uygunsuz baş hata tipi; uçaklar trafiğin olağan akışına uygun olmayan uçuş başları verilmesi durumlarıdır ve gecikmelere neden olmaktadır (Tablo 3.6.).

**Tablo 3.6.** *2.derece hata değerlendirme tablosu*

| **Yapılan Hata** | **Puan değeri** |
|---|---|
| Pas geçme | 5 |
| ILS hatti delme | 4 |
| ILS hatti taşma | 2 |
| Uygunsuz baş verme | 1 |

ATCo tarafından verilen hizmetin verimliliğinin ölçülmesi karmaşık bir konu olup literatürde yapılan çalışmalar da sınırlı sayıdadır. Yapılan çalışmalar yakıt analizi üzerine olup ATCo verimliliğini yakıt sarfiyatı üzerinden değerlendirmektedir [97, 98]. Literatürdeki verimlilik yaklaşımlarından farklı olarak bu çalışmada ATCo hizmet verimliliğine hizmet verilen uçak sayısı dikkate alınarak bir hesaplama önerilmektedir. Buna göre 3. grup ölçeklendirmede verilen hizmetin verimliliği ve sunulan hizmetin sonuçlandırılması göz önünde bulundurulmuş ve Meydan kontrol ünitesine devredilen ya da ayırması tamamlanmış devredilmek üzere olan uçak sayılarına göre ölçeklendirme yapılmıştır Bunun için ILS hattı 3 kısma bölünmüştür. İlk kısım meydan kontrol ünitesine devredilen uçak yani ATCOS noktasına gelmiş uçak sayısını, 2. kısım devredilmek üzere olan ve ilk yaklaşma noktası olan IMREN noktasını geçmiş uçak sayısını, 3. kısımda ilgili ayırması tamamlanmış ve ILS hattına oturmuş ancak daha IMREN noktasına gelmemiş uçak sayısını ifade etmektedir (Tablo 3.7.).

**Tablo 3.7.** *ILS korsu üzerindeki uçak sayılarına ilişkin verimlilik değerlendirme ölçütü*

| **Uçak Pozisyonu** | **Katsayı değeri** |
|---|---|
| ILS 1. kisim | 1 |
| ILS 2. kisim | 0,75 |
| ILS 3. kisim | 0,5 |

Bu değerlendirme ölçütlerine göre verilen performans puanlarının yüksek olması hata sayısının fazla olmasından kaynaklanmakta olup, bu puanın yüksek olması düşük performansı göstermektedir. Yapılan bu çalışmada hata sayısının öngörülemez olması ve 0-100 puan aralığı değerinin değerlendirmeye yeterli gelmediği görülmüştür. Bu sebeple üst ve alt sınır olmaksızın değerlendirme yapılması uygun görülmüştür.

# 4. SİMÜLASYON SONUÇLARININ DEĞERLENDİRMESİ VE ANALİZİ

Analiz sonuçları 4 farklı kısımda incelenmiştir. İlk olarak değişkenler tanıtılmış ve deneylere katılan iki grubun (GRUP-1: hem teori hem de uygulama eğitimini alan grup, GRUP-2: sadece teorik eğitim alan grup) betimsel istatistikleri verilmiştir. Daha sonra iki grup için değişken ortalamaları arasında anlamlı farklılıklar olup olmadığı bağımsız örneklem t-testi kullanılarak incelenmiştir. Üçüncü kısımda ise elde edilen sonuçların iki grup için de egzersiz seviyelerine göre farklılaşıp farklılaşmadığını test etmek için Tek yönlü varyans analizi (One-way anova) gerçekleştirilmiştir. Bu kısımda ayrıca tüm değişkenler için hangi egzersiz seviyeleri arasında farklılık olup olmadığını test etmek için post-hoc testleri gerçekleştirilmiştir. Son kısımda iki grup için ayrı ayrı korelasyon ve regresyon analizlerini içeren ilişki testleri gerçekleştirilmiştir.

## 4.1. Betimsel istatistikler

Betimsel istatistiklerin sunulduğu tablolarda kullanılan değişken kısaltmalarının açık halleri aşağıda gösterilmiştir.

BYT: Bilişsel yetenek testi sonucu (0-100 arası, yüksek skor yüksek bilişsel yetenek demektir)

KH: Kritik hata ölçeği (0-∞ arası, yüksek skor daha çok hata yapmak anlamına gelir)

IKH: İkinci derece hata ölçeği (0-∞ arası, yüksek skor daha çok hata yapmak anlamına gelir)

ILS: ILS hattındaki uçak sayısı (0-15 arası, yüksek skor daha çok uçağa hizmet verilerek ILS hattına güvenli bir şekilde ulaştırıldığı anlamına gelmektedir).

SIMO: Simülasyon dersleri ortalaması (0-4 arası, yüksek skor daha iyi bir ortalama anlamına gelir).

GANO: Genel ağırlıklı ders ortalaması (0-4 arası, yüksek skor daha iyi bir ortalama anlamına gelir).

Bu değişkenlerden KH, IKH ve ILS simülasyon çıktıları iken, SIMO, GANO ve BYT simülasyon öncesi elde edilen parametrelerdir. İlk olarak her iki grubun birlikte ele alındığı betimsel istatistikler Tablo 4.1'de özetlenmiştir.

**Tablo 4.1.** *Tüm katılımcıların betimsel istatistikleri*

| | N | Minimum | Maksimum | Ortalama | Std. Sapma |
|---|---|---|---|---|---|
| GANO | 27 | 2,23 | 3,70 | 2,8385 | ,34089 |
| SIMO | 28 | 1,00 | 3,66 | 2,5132 | ,66606 |
| BYT | 29 | 48,4 | 80,3 | 66,317 | 7,5349 |
| KH | 30 | ,0 | 34,0 | 12,333 | 7,4224 |
| IKH | 30 | 4,50 | 28,00 | 13,6667 | 6,97172 |
| ILS | 30 | 2,8750 | 6,8125 | 5,081250 | 1,0455867 |

Tablo 4.1.'de deneylere katılan tüm öğrenciler için değişkenlerin minimum, maksimum, ortalama ve standart sapma değerleri verilmiştir. Buna göre örneğin genel not ortalaması en düşük olan kişinin 2,23 (4'lük sisteme göre) puanı varken en yüksek ortalamaya sahip katılımcı 3,7 ortalamaya sahiptir. Tüm katılımcıların GANO ortalaması ise 2,83 puandır. Sadece GRUP-1'nin betimsel istatistikleri ise Tablo 4.2'de gösterilmiştir.

**Tablo 4.2.** *GRUP-1'in betimsel istatistikleri*

| | N | Minimum | Maksimum | Ortalama | Std. Sapma |
|---|---|---|---|---|---|
| GANO | 14 | 2,23 | 3,35 | 2,7543 | ,34270 |
| SIMO | 14 | 1,86 | 3,14 | 2,7243 | ,38322 |
| BYT | 14 | 48,4 | 79,8 | 64,921 | 7,1287 |
| KH | 15 | ,0 | 34,0 | 12,500 | 8,1196 |
| IKH | 15 | 5,25 | 27,25 | 11,1667 | 6,25975 |
| ILS | 15 | 3,6250 | 6,8125 | 5,541667 | ,9509942 |

Tablo 4.2.'ye göre yine GANO üzerinden örneklendirmek gerekirse en düşük GANO'ya sahip grup üyesinin ortalaması 2,23 iken en yüksek GANO'ya sahip grup üyesinin ortalaması 3,35 olarak gözlenmiştir. Bu grubun GANO ortalaması ise 3,35 olarak elde edilmiştir. Tablo 4. 3'te ise GRUP-2 ye ait betimsel istatistikler paylaşılmıştır.

**Tablo 4.3.** *GRUP-2'nin betimsel istatistikleri*

| | N | Minimum | Maksimum | Ortalama | Std. Sapma |
|---|---|---|---|---|---|

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| GANO | 13 | 2,30 | 3,70 | 2,9292 | ,32765 |
| SIMO | 14 | 1,00 | 3,66 | 2,3021 | ,82376 |
| BYT | 15 | 49,8 | 80,3 | 67,620 | 7,9116 |
| KH | 15 | 2,0 | 24,0 | 12,167 | 6,9376 |
| IKH | 15 | 4,50 | 28,00 | 16,1667 | 6,93572 |
| ILS | 15 | 2,8750 | 6,3750 | 4,620833 | ,9518153 |

Bu grup için de GANO üzerinden örnek vermek gerekirse; en düşük GANO'ya sahip grup üyesnin ortalaması 2.3 iken en yüksek GANO'ya sahip grup üyesinin puanı 3,7 ve grup ortalaması 2,92'dir. Diğer tüm egzersiz çıktıları benzer şekilde yorumlanabilmektedir.

## 4.2. Bağımsız Örneklem T Testi Sonuçları

Bağımsız örneklem t-testi birbirinden bağımsız iki grup ortalaması arasında farklılık olup olmadığını test etmek için kullanılmaktadır. Bu testin iki varsayımı bulunmaktadır. Bunlardan ilki verilerin normal dağılıma uyması diğeri ise verilerin varyanslarının homojen dağılmasıdır. İlk varsayımı test etmek için her bir değişkene ayrı ayrı Kolmogorov-Smirnov ve Shapiro-Wilk testleri uygulanmıştır. Normallik testi sonuçlarını Tablo 4.4'te verilmiştir.

**Tablo 4.4.** *Normallik testi sonuçları*

| | **Grup** | **Kolmogorov - Smirnov[a]** | | | **Shapiro-Wilk** | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | **Statistic** | **Df** | **Sig.** | **Statistic** | **df** | **Sig.** |
| GANO | 1 | ,178 | 13 | ,200* | ,955 | 13 | ,669 |
| | 2 | ,235 | 13 | ,048 | ,905 | 13 | ,155 |
| SIMO | 1 | ,157 | 13 | ,200* | ,925 | 13 | ,291 |
| | 2 | ,092 | 13 | ,200* | ,977 | 13 | ,963 |
| BYT | 1 | ,210 | 13 | ,119 | ,877 | 13 | ,066 |

**Tablo 4.4. (Devam)** *Normallik testi sonuçları*

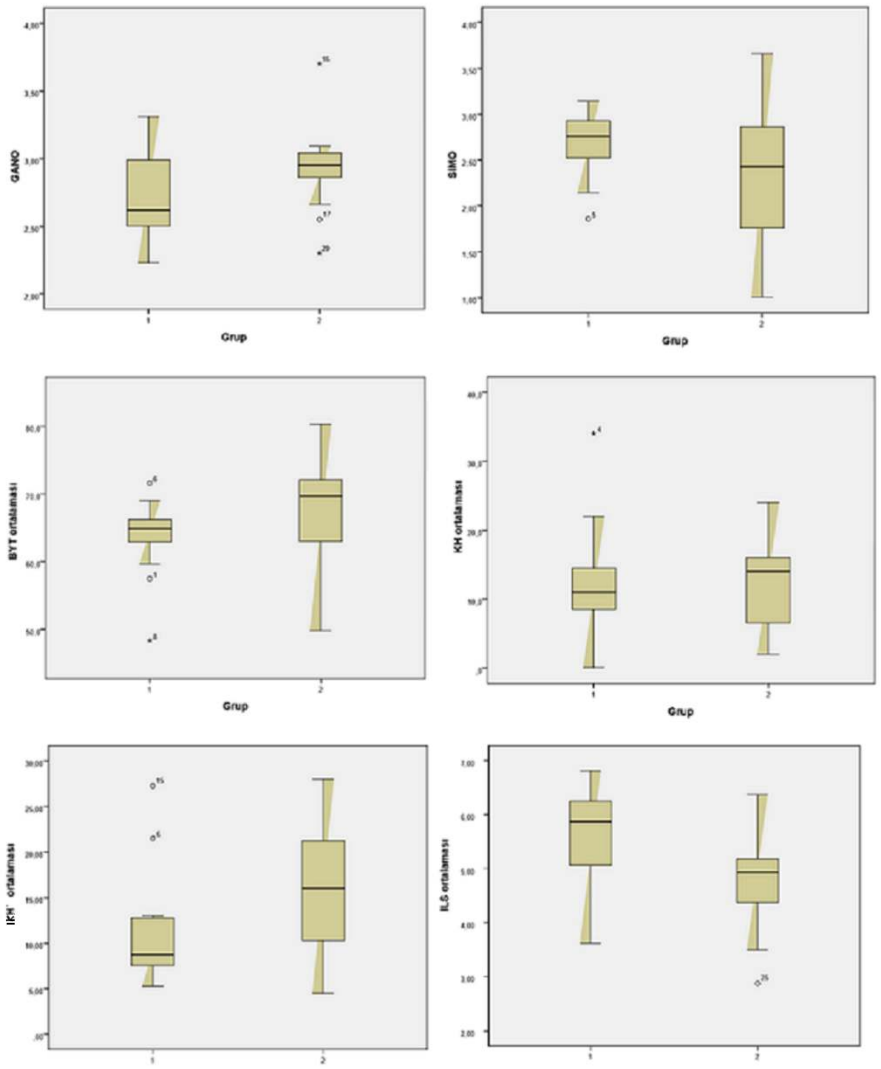
| | Grup | Kolmogorov - Smirnov[a] | | | Shapiro-Wilk | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Statistic | Df | Sig. | Statistic | df | Sig. |
| BYT | 2 | ,117 | 13 | ,200* | ,967 | 13 | ,858 |
| KH | 1 | ,170 | 13 | ,200* | ,907 | 13 | ,169 |
| | 2 | ,148 | 13 | ,200* | ,959 | 13 | ,733 |
| IKH | 1 | ,261 | 13 | ,016 | ,788 | 13 | ,005 |
| | 2 | ,101 | 13 | ,200* | ,962 | 13 | ,781 |
| ILS | 1 | ,183 | 13 | ,200* | ,905 | 13 | ,157 |
| | 2 | ,117 | 13 | ,200* | ,980 | 13 | ,981 |

Tablo 4.4.'te görüleceği üzere her bir değişken puanları ayrı ayrı değerlendirildiğinde Kolmogorov-Smirnov veya Shapiro-Wilk testlerinden en az birinde normal dağılıma uyduğu gözlenmiştir ($p \geq 0.05$). İkinci varsayım olan varyansların homojenliği ise t testi sonuçları ile birlikte değerlendirilmiştir. Sonuç olarak tüm değişkenler için varyansların homojen dağıldığı gözlenmiştir ($p \geq 0.05$). Tablo 4.5.'te iki grup ortalamalarının karşılaştırmalarını vermektedir.

**Tablo 4.5.** *Grup ortalamalarının karşılaştırılması*

| | Grup | N | Mean | Std. Deviation | Std. Error Mean |
|---|---|---|---|---|---|
| GANO | 1 | 14 | 2,7543 | ,34270 | ,09159 |
| | 2 | 13 | 2,9292 | ,32765 | ,09088 |
| SIMO | 1 | 14 | 2,7243 | ,38322 | ,10242 |
| | 2 | 14 | 2,3021 | ,82376 | ,22016 |
| BYT | 1 | 14 | 64,921 | 7,1287 | 1,9052 |
| | 2 | 15 | 67,620 | 7,9116 | 2,0428 |
| KH | 1 | 15 | 12,500 | 8,1196 | 2,0965 |
| | 2 | 15 | 12,167 | 6,9376 | 1,7913 |
| IKH | 1 | 15 | 11,1667 | 6,25975 | 1,61626 |
| | 2 | 15 | 16,1667 | 6,93572 | 1,79079 |
| ILS | 1 | 15 | 5,541667 | ,9509942 | ,2455456 |
| | 2 | 15 | 4,620833 | ,9518153 | ,2457577 |

Şekil 4.1. her iki grubun ilgili tüm değişkenler açısından ortalamalarını ve dağılımlarını daha net bir şekilde kıyaslayabilmek için oluşturulmuştur.




**Şekil 4.1.** *İki grup ortalamaları*

Tablo 4.5'te ve Şekil 4.1'de verilen grup ortalamaları arasında istatistiksel açıdan anlamlı bir farklılık olup olmadığının test edildiği bağımsız örneklem t-testi sonuçları ise Tablo 4.6'da verilmiştir.

**Tablo 4.6.** *Bağımsız örneklem t-testi sonuçları*

| | t | df | Sig.(2-tailed) |
|---|---|---|---|
| GANO | -1,354 | 25 | ,188 |
| SIMO | 1,739 | 26 | ,094 |
| BYT | -,962 | 27 | ,344 |
| KH | ,121 | 28 | ,905 |
| **IKH** | **-2,073** | **28** | **,048** |
| **ILS** | **,918** | **28** | **,011** |

Tablo 4.6'ya göre iki grup için sadece IKH ve ILS skorları arasında anlamlı farklılıklar tespit edilmiştir. Buna göre Grup-1'in ortalama IKH puanı 11,16 iken Grup-2'nin IKH ortalaması 16,16 olarak ölçülmüştür ($p<0.05$, $t=-2,073$). Bu Grup-2'nin daha çok ikinci derece kritik hata yaptığı anlamına gelmektedir. Diğer bir yandan Grup-1'in ILS ortalaması 5,54 iken Grup-2'nin ILS ortalaması 4,62 olarak gözlenmiştir ($p<0.05$, $t=,918$). Bu durum egzersiz süresi içerisinde Grup-1'in ILS hattına daha fazla uçak dizmeyi başardığı anlamına gelmektedir. Diğer değişkenler için gruplar arası anlamlı bir farklılık gözlenmemiştir. Sırasıyla performans ve verimlilik göstergeleri olan IKH ve ILS değişkenleri açısından tecrübeli grup daha başarılı sonuçlar elde etmiştir.

### 4.3. Tek yönlü varyans analizi (One-way ANOVA) sonuçları

Her iki grup için de simülasyon çıktılarının egzersiz zorluklarına göre anlamlı bir şekilde farklılaşıp farklılaşmadığını test etmek için tek yönlü varyans analizi testi kullanılmıştır. Bu test üç ya da daha fazla bağımsız grubun (bu durumda egzersiz zorlukları) ortalamaları arasında anlamlı farklılık olup olmadığını test etmek için kullanılmaktadır. Çalışmanın bu kısmında yalnızca egzersizle ilgili parametreler değerlendirilmiştir (KH, IKH, ILS). Daha önce t-testi için verilen normal dağılıma uygunluk ve varyansların homojen dağılımı varsayımları bu test için de geçerli olup bu koşulların sağlandığı daha önce teyit edilmiştir. Tablo 7 Grup-1 için tek yönlü varyans analizi sonuçlarını göstermektedir.

**Tablo 4.7.** *Tek yönlü varyans analizi sonuçları (Grup-1)*

| | | Sum of Squares | df | Mean Square | F | Sig. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| KH | Between Groups | 9425,867 | 3 | 3141,956 | 22,497 | **,000** |
| | Within Groups | 16200,800 | 116 | 139,662 | | |
| | Total | 25626,667 | 119 | | | |
| IKH | Between Groups | 3928,800 | 3 | 1309,600 | 14,198 | **,000** |
| | Within Groups | 10699,867 | 116 | 92,240 | | |
| | Total | 14628,667 | 119 | | | |
| ILS | Between Groups | 116,056 | 3 | 38,685 | 21,109 | **,000** |
| | Within Groups | 212,590 | 116 | 1,833 | | |
| | Total | 328,645 | 119 | | | |

Tablo 4.7'ye göre tüm katılımcıların KH, IKH ve ILS puanları için egzersiz düzeyleri arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık tespit edilmiştir ($p<0.001$). Bu sonuçlar egzersizlerin zorluk seviyelerinin doğru bir şekilde tasarlandığının göstergesidir. Bahsedilen değişken ortalamalarının hangi egzersiz düzeyleri arasında farklılık gösterdiğini tespit edebilmek için Tukey HSD post-hoc testi yürütülmüştür. Grup-1 için Tukey HSD testi sonuçları Tablo 4.8'de verilmiştir.

**Tablo 4.8.** *Tukey HSD post-hoc test sonuçları (Grup-1)*

| Dependent Variable | (I) Seviye | (J) Seviye | Mean Difference (I-J) | Std. Error | Sig.(p) |
|---|---|---|---|---|---|
| KH | 1,0 | 2,0 | -2,7333 | 3,0514 | ,807 |
| | | 3,0 | -13,4000* | 3,0514 | **,000** |
| | | 4,0 | -22,2667* | 3,0514 | **,000** |
| | 2,0 | 1,0 | 2,7333 | 3,0514 | ,807 |
| | | 3,0 | -10,6667* | 3,0514 | **,004** |
| | | 4,0 | -19,5333* | 3,0514 | **,000** |
| | 3,0 | 1,0 | 13,4000* | 3,0514 | **,000** |
| | | 2,0 | 10,6667* | 3,0514 | **,004** |
| | | 4,0 | -8,8667* | 3,0514 | **,022** |
| | 4,0 | 1,0 | 22,2667* | 3,0514 | **,000** |
| | | 2,0 | 19,5333* | 3,0514 | **,000** |
| | | 3,0 | 8,8667* | 3,0514 | **,022** |
| IKH | 1,0 | 2,0 | -3,4000 | 2,4798 | ,520 |
| | | 3,0 | -10,2000* | 2,4798 | **,000** |
| | | 4,0 | -14,6667* | 2,4798 | **,000** |
| | 2,0 | 1,0 | 3,4000 | 2,4798 | ,520 |
| | | 3,0 | -6,8000* | 2,4798 | **,035** |
| | | 4,0 | -11,2667* | 2,4798 | **,000** |
| | 3,0 | 1,0 | 10,2000* | 2,4798 | **,000** |
| | | 2,0 | 6,8000* | 2,4798 | **,035** |
| | | 4,0 | -4,4667 | 2,4798 | ,278 |
| | 4,0 | 1,0 | 14,6667* | 2,4798 | **,000** |
| | | 2,0 | 11,2667* | 2,4798 | **,000** |
| | | 3,0 | 4,4667 | 2,4798 | ,278 |
| ILS | 1,0 | 2,0 | -1,33333* | ,34954 | **,001** |
| | | 3,0 | -1,51667* | ,34954 | **,000** |
| | | 4,0 | -2,77500* | ,34954 | **,000** |
| | 2,0 | 1,0 | 1,33333* | ,34954 | **,001** |
| | | 3,0 | -,18333 | ,34954 | ,953 |
| | | 4,0 | -1,44167* | ,34954 | **,000** |
| | 3,0 | 1,0 | 1,51667* | ,34954 | **,000** |
| | | 2,0 | ,18333 | ,34954 | ,953 |
| | | 4,0 | -1,25833* | ,34954 | **,003** |
| | 4,0 | 1,0 | 2,77500* | ,34954 | **,000** |
| | | 2,0 | 1,44167* | ,34954 | **,000** |
| | | 3,0 | 1,25833* | ,34954 | **,003** |

Tablo 4.8'de p değerinin sunulduğu son sütunda egzersiz düzeyleri arasında anlamlı farklılık gözlenen satırlar kalın işaretlenmiştir. Buna göre örneğin KH değişkeni için

katılımcıların ortalama puanlarında 1. ve 2. egzersizler arasında anlamlı fark yok iken, 1. ve 3. ve 1. ve 4. egzersiz ortalamaları arasında anlamlı farklılıklar gözlenmiştir. Tablo genel olarak yorumlanırsa 3 değişken (KH, IKH ve ILS) için de katılımcıların ortalama puanları ardışık olmayan tüm egzersiz düzeylerinde anlamlı farklılık gösterirken, ardışık egzersizlerin çoğunda (hepsinde değil) anlamlı farklılıklar gözlenmiştir. Anlamlı farklılık gözlenmeyen bir örnek ise ILS değişkeni için 2. ve 3. egzersizler için verilebilir (p=0.953). Anlamlı farklılık gözlenmeyen egzersizler Tablo 4.9'da özetlenmiştir.

**Tablo 4.9.** *Anlamlı farklılık gözlenmeyen seviyeler (Grup-1)*

| **Değişken** | **Seviyeler** | **P değeri** |
|---|---|---|
| KH | 1-2 | 0.807 |
| IKH | 1-2 | 0.520 |
| IKH | 3-4 | 0.278 |
| ILS | 2-3 | 0.953 |

Grup -2 için gerçekleştirilen tek yönlü varyans analizi sonuçları Tablo 4.10'da verilmiştir.

**Tablo 4.10.** *Tek yönlü varyans analiz sonuçları (Grup-2)*

| | Sum of Squares | df | Mean Square | F | Sig. |
|---|---|---|---|---|---|
| Between Groups | 4067,400 | 3 | 1355,800 | 11,777 | ,000 |
| Within Groups | 6446,933 | 56 | 115,124 | | |
| Total | 10514,333 | 59 | | | |
| Between Groups | 1752,067 | 3 | 584,022 | 5,888 | ,001 |
| Within Groups | 5554,267 | 56 | 99,183 | | |
| Total | 7306,333 | 59 | | | |
| Between Groups | 68,036 | 3 | 22,679 | 13,039 | ,000 |
| Within Groups | 97,400 | 56 | 1,739 | | |
| Total | 165,436 | 59 | | | |

Tablo 4.10'da görüldüğü üzere 3 değişken için de egzersiz seviyeleri arasında anlamlı farklılıklar gözlenmiştir. Bu farklılıkların hangi seviyeler arasında olduğunu tespit etmek için yapılan post-hoc testi sonuçları Tablo 4.11'de verilmiştir.

**Tablo 4.11.** *Tukey HSD post-hoc test sonuçları (Grup-2)*

| Dependent Variable | (I) Seviye | (J) Seviye | Mean Difference (I-J) | Std. Error | Sig.(p) |
|---|---|---|---|---|---|
| KH | 1,0 | 2,0 | -4,0000 | 3,9179 | ,738 |
| | | 3,0 | -15,2000* | 3,9179 | **,002** |
| | | 4,0 | -20,4000* | 3,9179 | **,000** |
| | 2,0 | 1,0 | 4,0000 | 3,9179 | ,738 |
| | | 3,0 | -11,2000* | 3,9179 | **,030** |
| | | 4,0 | -16,4000* | 3,9179 | **,001** |
| | 3,0 | 1,0 | 15,2000* | 3,9179 | **,002** |
| | | 2,0 | 11,2000* | 3,9179 | **,030** |
| | | 4,0 | -5,2000 | 3,9179 | ,550 |
| | 4,0 | 1,0 | 20,4000* | 3,9179 | **,000** |
| | | 2,0 | 16,4000* | 3,9179 | **,001** |
| | | 3,0 | 5,2000 | 3,9179 | ,550 |
| IKH | 1,0 | 2,0 | -1,6000 | 3,6365 | ,971 |
| | | 3,0 | -11,1333* | 3,6365 | **,017** |
| | | 4,0 | -11,9333* | 3,6365 | **,009** |
| | 2,0 | 1,0 | 1,6000 | 3,6365 | ,971 |
| | | 3,0 | -9,5333 | 3,6365 | ,053 |
| | | 4,0 | -10,3333* | 3,6365 | **,031** |
| | 3,0 | 1,0 | 11,1333* | 3,6365 | **,017** |
| | | 2,0 | 9,5333 | 3,6365 | **,053** |
| | | 4,0 | -,8000 | 3,6365 | ,996 |
| | 4,0 | 1,0 | 11,9333* | 3,6365 | **,009** |
| | | 2,0 | 10,3333* | 3,6365 | **,031** |
| | | 3,0 | ,8000 | 3,6365 | ,996 |

**Tablo 4.12. (Devam)** *Tukey HSD post-hoc test sonuçları (Grup-2)*

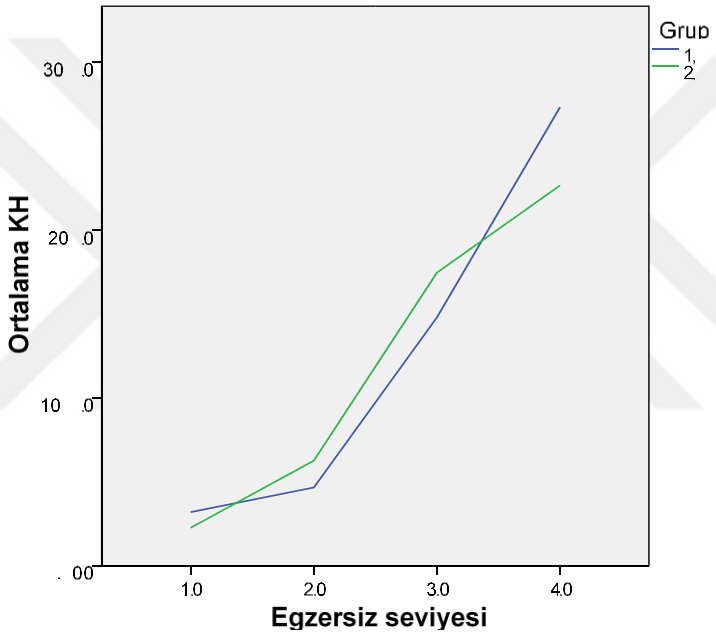
| Dependent Variable | (I) Seviye | (J) Seviye | Mean Difference (I-J) | Std. Error | Sig.(p) |
|---|---|---|---|---|---|
| ILS | 1,0 | 2,0 | -1,26667 | ,48156 | ,052 |
| | | 3,0 | -1,78333* | ,48156 | **,003** |
| | | 4,0 | -2,96667* | ,48156 | **,000** |
| | 2,0 | 1,0 | 1,26667 | ,48156 | ,052 |
| | | 3,0 | -,51667 | ,48156 | ,707 |
| | | 4,0 | -1,70000* | ,48156 | **,005** |
| | 3,0 | 1,0 | 1,78333* | ,48156 | **,003** |
| | | 2,0 | ,51667 | ,48156 | ,707 |
| | | 4,0 | -1,18333 | ,48156 | ,078 |
| | 4,0 | 1,0 | 2,96667* | ,48156 | **,000** |
| | | 2,0 | 1,70000* | ,48156 | **,005** |
| | | 3,0 | 1,18333 | ,48156 | ,078 |

Tablo 4.11'de p değerinin sunulduğu son sütunda egzersiz düzeyleri arasında anlamlı farklılık gözlenen satırlar kalın işaretlenmiştir. Tüm tabloyu özetlemek için aralarında anlamlı farklılık gözlenmeyen seviyeler tablo halinde verilmiştir. Tablo 4.12 Grup-2 için değişken ortalamaları arasında anlamlı farklılık gözlenmeyen egzersiz seviyelerini özetlemektedir.

**Tablo 4.12.** *Anlamlı farklılık gözlenmeyen seviyeler (Grup-2)*

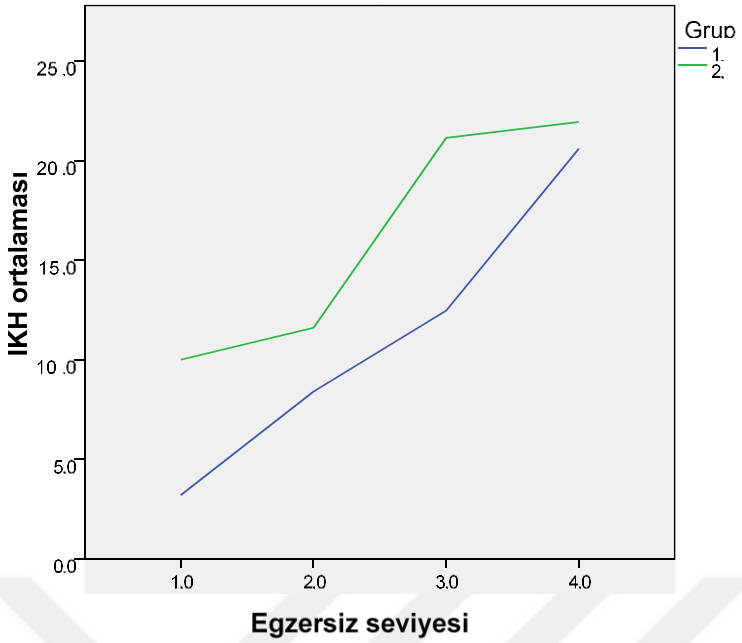
| Değişken | Seviyeler | P değeri |
|---|---|---|
| KH | 1-2 | 0.738 |
| | 3-4 | 0.550 |
| IKH | 1-2 | 0.971 |
| | 2-3 | 0.053 |
| | 3-4 | 0.996 |
| ILS | 1-2 | 0.052 |
| | 2-3 | 0.707 |
| | 3-4 | 0.078 |

Grup-2 için ardışık olmayan tüm seviyeler arası anlamlı farklılıklar gözlenirken ardışık seviyelerin neredeyse tümü için anlamlı farklılıklar gözlenmemiştir. Grup-2 için 49 aralarında anlamlı farklılık gözlenmeyen seviye sayısı artmıştır. Başka bir deyişle simülasyon derslerine katılmamış grup için egzersiz zorluğu değiştikçe KH, IKH ve ILS skorları diğer gruba göre seviyeler arasında daha az farklılık göstermektedir. Yukarıda verilen 3 değişkenin her iki grup için egzersiz seviyelerine göre nasıl farklılaştığını daha iyi anlayabilmek adına çeşitli grafikler oluşturulmuştur. Şekil 2 her iki grubun ortalamalarının egzersiz zorluğu arttıkça nasıl değiştiğini göstermektedir.



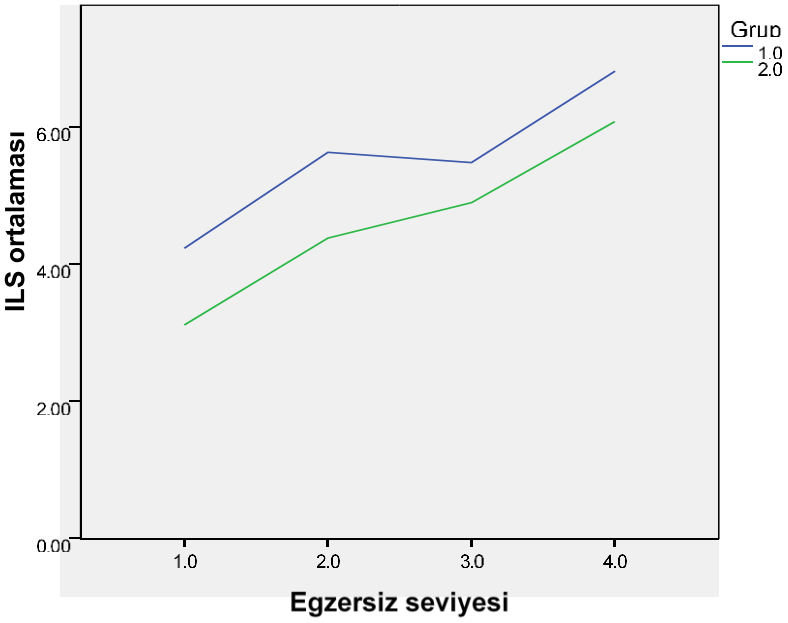

**Şekil 4.2.** *Grupların KH ortalamalarının egzersiz zorluklarına göre değişimi*

Şekil 4.2.'e göre en basit egzersizde iki grup KH ortalaması birbirine yakın iken 4. egzersizde Grup-1 ortalaması daha yüksek sonuçlanmıştır. Şekil 2 her iki grubun IKH ortalamalarının egzersiz zorluğu arttıkça nasıl değiştiğini göstermektedir. Grup 1'in 4. seviye egzersizde verimliliği artırmak adına daha fazla risk aldığı (araya uçak alma vb.) gözlenmiştir. Diğer yandan grup 2'nin özellikle son egzersizde risklerden daha kaçınmaya çalıştığı gözlenmiştir.




**Şekil 4.3.** *Grupların IKH ortalamalarının egzersiz zorluklarına göre değişimi*

Şekil 4.3.'den görüldüğü üzere Grup-1'in ortalama IKH sayıları her seviyede Grup 2'den daha az sonuçlanmıştır. Şekil 4.4. her iki grubun ortalama ILS skorlarının egzersiz seviyelerine göre değişimlerini vermektedir.




**Şekil 4.4.** *Grupların ILS ortalamalarının egzersiz zorluklarına göre değişimi*

Şekil 4.4.'te ILS her iki grubun ILS ortalamaları egzersiz seviyelerine göre verilmiştir. Buna göre Grup-1 her seviyede daha yüksek ILS ortalaması elde etmiştir. Genel olarak Grup 1'in IKH ve ILS ortalamaları açısından tüm egzersiz seviyelerinde Grup-2'ye göre daha başarılı olduğu söylenebilir. Ancak KH ölçekleri kıyaslandığında Grup-1, 2. ve 3. seviyelerde daha az hata yaparken 1. ve 4. Seviyelerde Grup-2 ye göre daha çok hata yapmıştır.

### 4.4. İlişki Analizleri

Bu kısımda ilk olarak tüm değişkenler arasındaki korelasyon katsayıları incelenmiştir. İlk olarak tüm katılımcılar için aralarında anlamlı korelasyon olan değişken çiftleri Tablo 4.13'te gösterilmiştir.

**Tablo 4.13.** *Tüm katılımcılar için elde edilen anlamlı korelasyonlar*

| Pair | r | p |
|---|---|---|
| **IKH*ILS** | -,766** | **,000** |

Tüm katılımcıların dahil olduğu grupta 6 değişken arasında sadece IKH ve ILS skorları arasında anlamlı korelasyon gözlenmiştir ($p<0.001$, $r=-,766$). Bu iki değişken arasında gözlenen korelasyon yüksek düzeyde negatif yönlüdür. Yani yapılan 2.kritik hatalarının artışı ile ILS'teki uçak sayısı ortalaması negatif yönlü ilişkilidir. Sadece Grup-1 için değişkenler arasındaki anlamlı korelasyonlar ise Tablo 4.14'te verilmiştir.

**Tablo 4.14.** *Grup-1 için elde edilen anlamlı korelasyonlar*

| Pair | r | p |
|---|---|---|
| **GANO*BYT** | -,681* | **,010** |
| **IKH*ILS** | -,861** | **,000** |

İlk grup için de tüm katılımcılara benzer şekilde IKH ile ILS skorları arasında negatif yüksek düzeyde bir korelasyon tespit edilirken ($p<0.001$, $r=-,861$), GANO ve BYT skorları arasında da negatif orta düzeyde bir korelasyon tespit edilmiştir ($p\leq0.01$,

r=-,681). Tablo 4.15. Sadece Grup-2 için değişkenler arasındaki anlamlı korelasyonları vermektedir.

**Tablo 4.15.** *Grup-2 için elde edilen anlamlı korelasyonlar*

| Pair | r | p |
|---|---|---|
| **GANO*IKH** | -,771** | **,002** |
| **KH*IKH** | ,626** | **,013** |
| **KH*ILS** | -,602* | **,018** |

Buna göre Grup-2 için GANO ve IKH değişkenleri arasında yüksek düzeyde negatif ($p<0.01$, r=-,771), KH ve IKH değişkenleri arasında orta düzeyde pozitif ($p<0.05$, r=,626), ve son olarak KH ile ILS ortalamaları arasında orta düzeyde negatif ($p<0.05$, r=-,602) ilişkiler gözlenmiştir. Yukarıdaki istatistiksel ifadeler sırası ile özetlenecek olursa: Yüksek GANO'ya sahip öğrencilerin daha az ikinci kritik hata yaptıkları gözlenmiştir. Ayrıca 2.kritik hatalar ve 1.kritik hatalar arasında pozitif bir ilişki olduğu gözlenmiştir. Ek olarak kritik hata sayıları ve ILS'e dizilen uçak sayısı arasında negatif yönlü bir ilişki tespit edilmiştir.

Yapılan korelasyon analizlerinden sonra simülasyon çıktıları olan KH, IKH ve ILS skorlarının bağımlı değişken olduğu simülasyon öncesi parametrelerinin (BYT, GANO ve SIMO) bağımsız değişken olarak eklendiği çeşitli regresyon modelleri test edilmiştir. Tablo 4.16. test edilen modelleri ve istatistiksel olarak anlamlı olup olmadıklarını göstermektedir.

**Tablo 4.16.** *Regresyon testleri ve anlamlılıkları*

| Grup | Bağımlı değişken | Bağımsız değişkenler | İstatistiksel olarak anlamlı mı? |
|---|---|---|---|
| 1 | RH | BYT+GANO+SIMO | Hayır |
| 1 | IKH | BYT+GANO+SIMO | Hayır |
| 1 | ILS | BYT+GANO+SIMO | Hayır |
| 2 | RH | BYT+GANO+SIMO | Hayır |
| **2** | **IKH** | **BYT+GANO+SIMO** | **Evet** |
| 2 | ILS | BYT+GANO+SIMO | Hayır |
| ALL | RH | BYT+GANO+SIMO | Hayır |
| ALL | IKH | BYT+GANO+SIMO | Hayır |
| ALL | ILS | BYT+GANO+SIMO | Hayır |

Buna göre kurulan regresyon modellerinden yalnızca 2. Grup için IKH'ın bağımlı değişken olduğu model istatistiksel olarak anlamlı olmuştur. Buna göre elde edilen regresyon denklemi aşağıda verilmiştir.

IKH = 70,6-17,10*GANO+0,067*SIMO-0,069*BYT (p=0.034, $r^2$=0.6, VIF değerleri ≤ 2)

Regresyon denklemine göre GANO, SIMO ve BYT skorlarındaki değişimler ile IKH skorunun varyansının %60'ın açıklanabildiği gözlenmiştir. VIF değerleri 2'den küçük olduğundan bağımsız değişkenler arasında çoklu doğrusallık olmadığı gözlenmiştir.

## 5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada 6 farklı değişken, 2 farklı katılımcı grubu, 4 farklı egzersiz seviyesinden oluşan girdiler ile çeşitli istatistiksel analizler yürütülmüştür. Ele alınan değişkenlerden üçü simülasyon öncesine ait verilerden oluşurken diğer üçü simülasyon sonrası elde edilen verilerden oluşmaktadır. İlk olarak bu değişkenlere ait betimsel istatistikler değerlendirilmiş daha sonra bu değişken ortalamalarının gruplar arasında istatiksel açıdan anlamlı derecede farklılaşıp farklılaşmadığı bağımsız örneklem t-testi ile test edilmiştir. Ayrıca egzersiz zorluk seviyeleri arasında bu değişken ortalamalarının nasıl değiştiği tek yönlü varyans analizleri ile test edilmiştir. Varyans analizi kısmında hangi seviyeler arasında fark olduğunu ortaya koymak için post-hoc testleri yürütülmüştür. Son kısımda ise ilişki analizleri yapılarak değişkenler arasındaki korelasyonlar incelenmiş ve nedensellik ilişkisi regresyon modellemesi ile test edilmiştir.

Çalışmada ele alınan 3 simülasyon çıktısından KH, IKH katılımcıların performans göstergeleri iken ve ILS çıktısı verimlilik göstergesidir. KH katılımcıların emniyetli hava trafik yönetimi başarılarını temsil eden bir değişkendir. IKH ise hava trafik akışının düzgün bir şekilde sağlanıp sağlanmadığını temsil eden değişkendir. ILS değişkeni ise kontrolör adaylarının hava trafiğini verimli bir şekilde sağlayıp sağlamadığını gösteren değişkendir.

Elde edilen bulgular özetlenecek olursa, İki grup arasında egzersizlerde elde edilen ILS skorları ortalamalarında anlamlı bir fark bulunduğu görülmüştür. Uygulama dersi alan öğrencilerin uçakları ILS hattına dizme sayılarının ortalamaları 5,54 puan iken sadece teorik eğitim alan grup ortalaması 4,62 puan olarak hesaplanmıştır. Bu grupların trafiği yönlendirme verimliğinin ölçüldüğü 2.kritik hatalar (IKH) puan ortalamalarında anlamlı bir fark bulunduğu görülmüştür. Uygulama dersi alan öğrencilerin ortalaması yaklaşık 11 puan iken sadece teorik eğitim alan grup ortalaması yaklaşık 16 puan olarak hesaplanmıştır. Bu durum sadece teori dersi alan grubun daha çok 2.derece kritik hata yaptığı anlamına gelmektedir. Bu grupların trafiği emniyetli olarak yönlendirme puanını temsil eden KH ortalamalarında anlamlı bir fark bulunmadığı görülmüştür. Sonuç olarak iki grubun ciddi kritik hatalarda benzer algıya sahip oldukları ama verimliliği etkileyen hatalarda uygulama eğitimi alan grubun daha az hata yaptığı vurgulanabilir. Bu iki grubun bilişsel yetenek testi puanları arasında da anlamlı bir fark bulunmadığı, deneye katılan

tüm gönüllü adayların hafıza, dikkat gibi özelliklerini ölçen bu skorlarının benzer ortalamalara sahip olduğu gözlenmiştir.

Yapılan varyans analizlerine göre Grup-1 için 3 değişken (KH, IKH ve ILS) için de katılımcıların ortalama puanları ardışık olmayan tüm egzersiz düzeylerinde anlamlı farklılık gösterirken, ardışık egzersizlerin çoğunda (hepsinde değil) anlamlı farklılıklar gözlenmiştir. Grup-2 için ise ardışık olmayan tüm seviyeler arası anlamlı farklılıklar gözlenirken ardışık seviyelerin neredeyse tümü için anlamlı farklılıklar gözlenmemiştir. Grup-2 için aralarında anlamlı farklılık göstermeyen seviye sayısı Grup-1'e göre artmıştır.

Yapılan korelasyon testleri sonucuna her grup için (tüm katılımcılar, Grup-1 ve Grup-2) hata sayıları ve ILS ortalamaları arasında negatif orta-yüksek düzeyde korelasyonlar tespit edilmiştir. Hata sayısı arttıkça katılımcıların egzersiz performanslarının azaldığı varsayılmaktadır. Bu da performans ve verimlilik göstergeleri arasında doğru orantılı bir ilişki olduğunu göstermektedir. Buna göre 2. Derece kritik hatası yüksek olduğunda verimlilik göstergesi olan ILS skorları daha az olmaktadır. Yapılan regresyon testlerinde ise sadece Grup-2 için istatistiksel olarak anlamlı bir model elde edilmiştir. Elde edilen modelde katılımcıların GANO, SIMO ve BYT skorlarındaki değişimler ile IKH skorunun varyansının %60'ın açıklanabildiği gözlenmiştir.

## KAYNAKÇA

[1] ICAO (2022) DOC 4444, Air Traffic Managment, Montreal.

[2] Marchitto, M., Benedetto, S., Baccino, T., & Cañas, J. J. (2016). Air traffic control: Ocular metrics reflect cognitive complexity. International journal of industrial ergonomics, 54, 120-130.

[3] Cavcar, A., & Cinar, E. (2011). Air Traffic Control Service Quality Perceptions of Domestic Airline Pilots in Turkey. Journal of aircraft, 48(6), 2024-2030.

[4] Cavcar, A., & Cavcar, M. (2004). New directions for ATC training: A discussion. The International Journal of Aviation Psychology, 14(2), 135-150.

[5] Truschzinski, M., Betella, A., Brunnett, G., & Verschure, P. F. (2018). Emotional and cognitive influences in air traffic controller tasks: An investigation using a virtual environment ?. Applied ergonomics, 69, 1-9.

[6] Ryu, K., & Myung, R. (2005). Evaluation of mental workload with a combined measure based on physiological indices during a dual task of tracking and mental arithmetic. International Journal of Industrial Ergonomics, 35(11), 991-1009.

[7] Baddeley, A. D. (1997). Human memory: Theory and practice. Psychology press.

[8] Chi, M. T., Glaser, R., & Rees, E. (1981). Expertise in problem solving. Pittsburgh Univ PA Learning Research and Development Center.

[9] Camp, G., Paas, F., Rikers, R., & van Merrienboer, J. (2001). Dynamic problem selection in air traffic control training: A comparison between performance, mental effort and mental efficiency. Computers in Human Behavior, 17(5-6), 575-595.

[10] Niessen, C., Eyferth, K., & Bierwagen, T. (1999). Modelling cognitive processes of experienced air traffic controllers. Ergonomics, 42(11), 1507-1520.

[11] Çetek, C., Aybek, F., Cinar, E., & Cavcar, A. (2013). New directions for air traffic control simulators: A discussion to guide the selection and renovation of simulators. The Aeronautical Journal, 117(1190), 415-426.

[12] Lesiuk, T. (2008). The effect of preferred music listening on stress levels of air traffic controllers. The Arts in Psychotherapy, 35(1), 1-10.

[13] Finkelman, J. M. (1994). A large database study of the factors associated with work-induced fatigue. Human factors, 36(2), 232-243.

[14] 19. Federal Aviation Administration. (2018). Forecasts of IFR aircraft handled by FAA air route traffic control centers. FAA FY 2017-2040.

[15] Collet, C., Averty, P., Delhomme, G., Dittmar, A., Vernet-Maury, E. 2003. "Subjective Aspects of Mental Workload in Air Traffic Control", Operator Functional State. Editör: G. R. J, Hockey. France: IOSS Press.

[16] Langan-Fox, J., Sankey, M. J., & Canty, J. M. (2009). Human factors measurement for future air traffic control systems. Human factors, 51(5), 595-637.

[17] Palma Fraga, R., Reddy, P., Kang, Z., & Izzetoglu, K. (2020, July). Multimodal analysis using neuroimaging and eye movements to assess cognitive workload. In International Conference on Human-Computer Interaction (pp. 50-63). Springer, Cham.

[18] Vogt, J., Hagemann, T., & Kastner, M. (2006). The impact of workload on heart rate and blood pressure in en-route and tower air traffic control. Journal of psychophysiology, 20(4), 297.

[19] Ahlstrom, U., & Friedman-Berg, F. J. (2006). Using eye movement activity as a correlate of cognitive workload. International journal of industrial ergonomics, 36(7), 623-636.

[20] Stager, P., Hameluck, D., & Jubis, R. (1989, October). Underlying factors in air traffic control incidents. In Proceedings of the Human Factors Society Annual Meeting (Vol. 33, No. 2, pp. 43-46). Sage CA: Los Angeles, CA: SAGE Publications.

[21] Nocera, F. D., Fabrizi, R., Terenzi, M., & Ferlazzo, F. (2006). Procedural errors in air traffic control: effects of traffic density, expertise, and automation. Aviation, space, and environmental medicine, 77(6), 639-643.

[22] Palma Fraga, R. (2020). Multimodal Neuroergonomic Approaches to Human Behavior and Cognitive Workload in Complex High-Risk Semantically Rich Environments: A Case Study of Local & En-Route Air Traffic Controllers, Norman, University of Oklahoma.

[23] Giraudet, L., Imbert, J. P., Tremblay, S., & Causse, M. (2015). High rate of inattentional deafness in simulated air traffic control tasks. Procedia Manufacturing, 3, 5169-5175.

[24] Aricò, P., Borghini, G., Di Flumeri, G., Colosimo, A., Pozzi, S., & Babiloni, F. (2016). A passive brain–computer interface application for the mental workload assessment on professional air traffic controllers during realistic air traffic control tasks. Progress in brain research, 228, 295-32.

[25] Cummings, M. L., & Tsonis, C. (2005, September). Deconstructing complexity in air traffic control. In Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting (Vol. 49, No. 1, pp. 25-29). Sage CA: Los Angeles, CA: Sage Publications.

58

[26] Mogford, R. H., Guttman, J. A., Morrow, S. L., & Kopardekar, P. (1995). The

Complexity Construct in Air Traffic Control: A Review and Synthesis of the Literature.

[27] Hilburn, B. (2004). Cognitive complexity in air traffic control: A literature review. EEC note, 4(04), 1-80.

[28] Histon, J. M., Hansman, R. J., Gottlieb, B., Kleinwaks, H., Yenson, S., Delahaye, D., & Puechmorel, S. (2002, October). Structural considerations and cognitive complexity in air traffic control. In Proceedings. The 21st Digital Avionics Systems Conference (Vol. 1, pp. 1C2-1C2). IEEE.

[29] Majumdar, A., & Ochieng, W. Y. (2007). Air traffic control complexity and safety: framework for sector design based on controller interviews of complexity factors. Transportation research record, 2007(1), 70-80.

[30] Pawlak, W. S., Brinton, C. R., Crouch, K., Lancaster, K. M. 1996. “A Framework for the Evaluation of Air Traffic Control Complexity”, Proceedings of the AIAA Guidance Navigation and Control Conference. Air Traffic Control Competencies Measurements Based on Functional Near-Infrared Spectroscopy, 1-11, San Diego, CA.

[31] Athènes, S., Averty, P., Puechmorel, S., Delahaye, D., & Collet, C. (2002, October). ATC complexity and controller workload: Trying to bridge the gap. In Proceedings of the International Conference on HCI in Aeronautics (pp. 56-60). AAAI Press Cambridge, MA.

[32] Li, L., Cho, H., Hansman, R. J., & Palacios, R. (2010, September). Aircraft-based complexity assessment for radar controllers in the multi-sector planner experiment. In 10th aiaa aviation technology, integration, and operations (atio) conference (p. 9005).

[33] Eurocontrol, 2004. Cognitive complexity in air traffic control a literature review. EEC note no. 04/04, Brussels.

[34] Falzon, P. (1982, June). Display structures: Compatibility with the operator's mental representation and reasoning process. In Proceedings of the 2nd European Annual Conference on Human Decision Making and Manual Control (pp. 297-305).

[35] Whitfield, D., & Jackson, A. (1982). The air traffic controller's picture as an example of a mental model. IFAC Proceedings Volumes, 15(6), 37-44.

[36] Pierce, R. S., Strybel, T. Z., & Vu, K. P. L. (2008, September). Comparing situation awareness measurement techniques in a low fidelity air traffic control simulation. In Proceedings of the 26th International Congress of the Aeronautical Sciences (ICAS), Anchorage, AS

[37] Di Stasi, L. L., Marchitto, M., Antolí, A., Baccino, T., & Cañas, J. J. (2010). Approximation of on-line mental workload index in ATC simulated multitasks. Journal of Air Transport Management, 16(6), 330-333.

[38] Conzelmann, K., & Keye, D. (2014). Which aspects of a semistructured interview, besides cognitive ability tests, contribute incrementally to predicting the training success of air traffic controller trainees?. International Journal of Selection and Assessment, 22(3), 240-252.

[39] Bruder, C., & Hasse, C. (2019). Differences between experts and novices in the monitoring of automated systems. International Journal of Industrial Ergonomics, 72, 1-11.

[40] Borst, C., Visser, R. M., Van Paassen, M. M., & Mulder, M. (2019). Exploring short-term training effects of ecological interfaces: A case study in air traffic control. IEEE Transactions on Human-Machine Systems, 49(6), 623-632.

[41] https://www.dhmi.gov.tr/Sayfalar/Ssd/HavaTrafikSbMd/Hakkinda.aspx Son erişim tarihi: 27.09.2022

[42] Hopkin, V.D. (1995). Human factors in air traffic control. London: Taylor & Francis.

[43] SHGM (Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü). 2019. “Hava Trafik Kontrol Eğitimine

İlişkin Usul ve Esaslar Talimatı (SHT-ATCO/EĞİTİM)", Ankara.

http://web.shgm.gov.tr/documents/sivilhavacilik/files/mevzuat/sektorel/talimatlar/2019/SHT-ATCO_EGITIM.pdf. Son erişim tarihi: 19. Ağustos.2022.

[44] EASA (European Union Aviation Safety Agency),2015. "Commission Regulation (EU) 2015/340",https://www.easa.europa.eu/document-library/regulations/commission-regulation-eu-2015340. Son erişim tarihi: 19. Ağustos.2022.

[45] ICAO (International Civil Aviation Organization), DOC 10056, 2017. "Manual on Air Traffic Controller Competency-based Training and Assessment", First edition. ISBN 978-92-9258-253-1.

[46] EUROCONTROL, 2015. "EUROCONTROL Specifications for the ATCO Common Core Content Initial Training", Edition 2, Reference Number: EUROCONTROL-SPEC-157.

[47] Devlet Hava Meydanları İşletmesi, 2020. "Hava Trafik Kontrol Eğitim Organizasyonu El Kitabı", Ankara.

[48] Schneider, W. (1990). Training high performance skills: Fallacies and guidelines. In M. Venturino (Ed.), Selected reading in human factors (pp. 297-311). Santa Monica, CA: Human Factors Society.

[49] Van Merriënboer, J. J. (1997). Training complex cognitive skills: A four-component instructional design model for technical training. Educational Technology.

[50] Allermand, G. & Rosenkvist, C. (2011). Training philosophy, guiding training technology. ICAO Training Report, 1(1), 41-44.

[51] Blanken, M. J. S. (2002). Chapter 13: Theory and Research – Training for Future ATM. In H. Eissfeldt, M. C. Heil, & D. Broach (Eds.), Staffing the ATM system:

The selection of air traffic controllers (pp. 155–167). Burlington, VT: Ashgate.

[52] Phillips, M. R., & Marsh, D. T. (2000). The validation of fast-time air traffic simulations in practice. Journal of the Operational Research Society, 51(4), 457-464.

[53] Updegrove, J. A., & Jafer, S. (2017). Optimization of air traffic control training at the Federal Aviation Administration Academy. Aerospace, 4(4), 50.

[54] Prevot, T., Lee, P., Callantine, T., Mercer, J., Homola, J., Smith, N., & Palmer, E. (2010). Human-in-the-loop evaluation of NextGen concepts in the Airspace Operations Laboratory. In AIAA Modeling and Simulation Technologies Conference (p. 7609).

[55] Coyne, W., Rice, S. C., Winter, S., Tamilselvan, G., & Drechsel, P. V. (2017). Simulation challenges–student perception of air traffic control simulation. International Journal of Aviation, Aeronautics, and Aerospace, 4(3), 1.

[56] Ones, D. S., Sinangil, H. K., Viswesvaran, C., & Anderson, N. (2015). The SAGE handbook of industrial, work & organizational psychology: Personnel psychology and employee performance. The SAGE Handbook of Industrial, Work & Organizational Psychology, 1-672.

[57] https://sharpbrains.com/what-are-cognitive-abilities Son erişim tarihi: 19. Ağustos.2022

[58] Ćosić, K., Popović, S., Šarlija, M., Mijić, I., Kokot, M., Kesedžić, I., ... & Zhang, Q. (2019). New tools and methods in selection of air traffic controllers based on multimodal psychophysiological measurements. Ieee Access, 7, 174873-174888.

[59] Conzelmann, K., Heintz, A., & Eißfeldt, H. (2011). A Large Scale Validation Study on Air Traffic Controller Selection and Training–Design, Challenges and Results.

In 16th International Symposium on Aviation Psychology (p. 375).

[60] Turhan, U., & Usanmaz, Ö. (2004). Hava Trafik Kontrolde Otomasyon ve İnsan. Sivil Havacılık Sempozyumu, 345-350.

[61] Kirwan, B. (2001). The role of the controller in the accelerating industry of air traffic management. Safety Science, 37(2-3), 151-185.

[62] Turhan, U. (2007). Hava trafik kontrolörü adaylarının seçimi ve Türkiye'deki uygulama. Yayımlanmamış Doktora Tezi. Eskişehir. Anadolu Üniversitesi. Sosyal Bilimler Enstitüsü

[63] Villena, J., Acevedo, J. M., Cruz, J. A., & LeGal, S. (2008). Is it possible to observe air traffic controller mental workload. In Proceedings of the 28th Conference of the European Association for Aviation Psychology.

[64] Parasuraman, R., Caggiano, D., 2002. Mental workload. In: Ramachandran, V.S. (Ed.), Encyclopedia of the Human Brain. Academic Press, San Diego.

[65] Galy, E., Paxion, J., & Berthelon, C. (2018). Measuring mental workload with the NASA-TLX needs to examine each dimension rather than relying on the global score: an example with driving. Ergonomics, 61(4), 517-527.

[66] Sanders, M. S., McCormick, E. J. 1993. "Human Factors in Engineering and Design", Michigan University: McGraw Hill Education

[67] Bisseret, A. (1971). Analysis of mental processes involved in air traffic control. Ergonomics, 14(5), 565-570.

[68] Sperandio, J. C. (1971). Variation of operator's strategies and regulating effects on workload. Ergonomics, 14(5), 571-577

[69] Arad, B. A. (1964). The control load and sector design. Journal of Air Traffic Control.

[70] Kalsbeek, J. W. H. (1976, April). Some aspects of stress measurement in air traffic control officers at Schiphol Airport. In Symposium on stresses of air traffic control officers (University of Manchester, Dept. of Postgraduate Medical Studies) (pp. 39-42).

[71] Cardosi, K. M., & Murphy, E. (1995). Human factors in the design and evaluation of air traffic control systems (No. DOT-VNTSC-FAA-95-3). United States. Federal Aviation Administration.

[72] Hurst, M. W., & Rose, R. M. (1978). Objective job difficulty, behavioural response, and sector characteristics in air route traffic control centres∗. Ergonomics, 21(9), 697-708.

[73] Wyndemere (1996). An Evaluation of Air Traffic Control Complexity, Final report contract NAS2-14284. Boulder, Colorado USA: Wyndemere.

[74] Scott, B. C., Dargue, J., & Goka, T. (1991). Evaluation of Advanced Microwave Landing System Procedures in the New York Terminal Area. Federal Aviation Administration Washigton Dc Associate Administrator for Nas Development

[75] Mogford, R.H., Murphy, E.D., Roske-Hofstrand, R.J., Yastrop, G. & Guttman, J.A. (1994). Research techniques for documenting cognitive processes in air traffic control: sector complexity and decision making (Report DOT/FAA/CT-TN94/3). Pleasantville, New Jersey: CTA Incorporated.

[76] https://feast-info.eurocontrol.int Son erişim tarihi: 19. Ağustos.2022

[77]https://ozelyetenek.eskisehir.edu.tr/K%C4%B1lavuz/HTK_SINAV_KILAVUZU_2022.pdf . Son erişim tarihi: 19. Ağustos.2022

[78] Chi, C. F., & Lin, C. L. (1997). Speed and accuracy of eye-gaze pointing. Perceptual and motor skills, 85(2), 705-718.

[79] Paas, F. G., & Van Merriënboer, J. J. (1993). The efficiency of instructional conditions: An approach to combine mental effort and performance measures. Human factors, 35(4), 737-743.

[80] Oprins, E., Burggraaff, E., & van Weerdenburg, H. (2006). Design of a competencebased assessment system for air traffic control training. The international journal of aviation psychology, 16(3), 297-320.

[81] Seamster, T. L., & Redding, R. E. (2017). Applied cognitive task analysis in aviation. Routledge.

[82] Regian, J. W., & Schneider, W. (2013). Assessment procedures for predicting and optimizing skill acquisition after extensive practice. In Diagnostic monitoring of skill and knowledge acquisition (pp. 315-342). Routledge.

[83] Endsley, M. R. (1995). Measurement of situation awareness in dynamic systems. Human factors, 37(1), 65-84.

[84] Durso, F. T., Truitt, T. R., Hackworth, C. A., Crutchfield, J. M., & Manning, C. A. (1998). En route operational errors and situational awareness. The International Journal of Aviation Psychology, 8(2), 177-194.

62

[85] Strybel, T. Z., Vu, K. P. L., Dwyer, J. P., Kraft, J., Ngo, T. K., Chambers, V., & Garcia, F. P. (2007, July). Predicting perceived situation awareness of low altitude aircraft in terminal airspace using probe questions. In International Conference on Human-Computer Interaction (pp. 939-948). Springer, Berlin, Heidelberg.

[86] Next Generation Air Transportation System 2005 Progress Report. (2005). Joint Planning and Development Office.

[87] Jeannot, E. Situation Awareness, Synthesis of Literature Research. EEC 16/00. Eurocontrol Experimental Center.

[88] Wood, R. E. (1986). Task complexity: Definition of the construct. Organizational behavior and human decision processes, 37(1), 60-82.

[89] Farmer, E., Van Rooij, J., Riemersma, J., & Jorna, P. (2017). Handbook of simulator-based training. Routledge.

[90] Kirwan, B., Scaife, R. & Kennedy, R. (2001). Investigating Complexity Factors in UK Air TrafficManagement. Human factors and Aerospace Safety, 1(2), June 2001.

[91] EUROCONTROL (2002b). USA/ECAC complexity comparison. Draft report. January, 2002.

[92] Reason, J. (1988). Cognitive under-specification: its varieties and consequences. In B. Baars (Ed.) The psychology of error: a window on the mind. New York: Plenum Press.

[93] Leroux, M. (1993). The PATS cooperative tools. In The proceedings of the scientific seminar on PHARE. Braunshweig, Germany: DLR Institute for Flight Guidance.

[94] Hopkin, V. D. (1979). Mental workload measurement in air traffic control. In Mental Workload (pp. 381-385). Springer, Boston, MA.

[95] Stein, E. S. (1987). Where will all our air traffic controllers be in the year 2001. In Proceedings of the 4th Symposium on Aviation Psychology (pp. 195-201).

[96] Wickens, C. D., Mavor, A. S., & McGee, J. P.(1997). Flight to the future: Human factors in air traffic control. Washington, DC: National Academy.

[97] Rogošić, T., Juričić, B., Aybek Çetek, F., & Kaplan, Z. (2021). ATCO radar training assessment and flight efficiency: The correlation between trainees' scores and fuel consumption in real-time simulations. The Aeronautical Journal, 125(1287), 949-965. doi:10.1017/aer.2020.142.

[98] Donmez K., Kaplan Z., Aybek Cetek F., Rogošić T., Juričić B., Ivana Francetić I. (2022). Service quality and efficiency-oriented training design in air traffic management. Transportation Research Procedia, International Scientific Conference “The Science and Development of Transport - Znanost i razvitak prometa- ZIRP Conference”, volume 64, ISSN 2352-1465. pp 345 – 355.