



## Hava Trafik Kontrolörü Adaylarının Gerçek Zamanlı Simülasyon Senaryolarındaki Hata Sayıları ve Performans Skorlarının İncelenmesi

### Investigation of Error Numbers and Performance Scores of Air Traffic Controller Candidates in Real-time Simulation Scenarios

Ebru Yazgan<sup>1</sup> , Fulya Aybek Çetek<sup>2</sup> , Deniz Şimşek<sup>3</sup> , Nazım Ata<sup>4</sup> , Nihal Erginel<sup>5</sup> , Seçkin Tuncer<sup>6</sup> ,  
Barış Karabayrak<sup>1\*</sup> , Ahmet Aydın<sup>7</sup> , Kadir Dönmez<sup>8</sup> , Çağla Yıldızlar<sup>2</sup> , Tuğçe Toktay<sup>3</sup> 

<sup>1</sup>Eskişehir Teknik Üniversitesi, Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Uçak Gövde ve Motor Bakımı Bölümü, Eskişehir, TÜRKİYE

<sup>2</sup>Eskişehir Teknik Üniversitesi, Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Hava Trafik Kontrol Bölümü, Eskişehir, TÜRKİYE

<sup>3</sup>Eskişehir Teknik Üniversitesi, Spor Bilimleri Fakültesi, Beden Eğitimi ve Spor Öğretmenliği Bölümü, Eskişehir, TÜRKİYE

<sup>4</sup>Uçucu Sağlığı Araştırma ve Eğitim Merkezi Başkanlığı, Eskişehir, TÜRKİYE

<sup>5</sup>Eskişehir Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Eskişehir, TÜRKİYE

<sup>6</sup>Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Temel Tıp Bilimleri Bölümü, Eskişehir, TÜRKİYE

<sup>7</sup>Eskişehir Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Eskişehir, TÜRKİYE

<sup>8</sup>Samsun Üniversitesi, Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Uçak Bakım ve Onarım Bölümü, Samsun, TÜRKİYE

Başvuru/Received: 16/11/2022

Kabul / Accepted: 28/12/2022

Çevrimiçi Basım / Published Online: 31/12/2022

Son Versiyon/Final Version: 31/12/2022

#### Öz

Bu çalışmada, hava trafik kontrol simülasyon eğitimini almış ve almamış (deneyimli/deneyimsiz) iki farklı grubun zihinsel iş yükleri, farklı zorluk seviyesindeki egzersizler boyunca incelenmiştir. Simülasyon öncesi katılımcıların reaksiyon süreleri değerlendirilmiş ve iki grup arasında anlamlı bir farklılık gözlenmemiştir. İkinci aşamada, reaksiyon süreleri homojen olan bu grupların simülasyon senaryolarında yaptıkları hata sayıları ve performans skorları kıyaslanmıştır. %90 güven seviyesinde deneyimli grup daha az hata yapmıştır. Ayrıca senaryoların farklı zorluk derecesinde olması hata sayılarında istatistiksel olarak farklılık yaratmıştır. Kolay-orta senaryolarda, zor-çok zor senaryolara göre anlamlı derecede daha az hata yapılmıştır. Bununla birlikte performans skorlarının senaryo zorluk derecelerine göre değişimleri incelenmiş ve performans skorları arasında anlamlı farklılık olduğu ortaya çıkmıştır (p-değeri=0,00 < 0,05). Kolay-orta senaryolarda zor-çok zor senaryolara göre performans skorları anlamlı derecede yüksek çıkmıştır.

#### Anahtar Kelimeler

*“İnsan faktörleri, Hava trafik kontrolörü, Bilişsel iş yükü, Reaksiyon süresi”*

#### Abstract

In this study, the mental workloads of two different groups, who received air traffic control simulation training and those who did not (experienced/inexperienced), were examined during exercises at different difficulty levels. Before the simulation, the reaction times of the participants were evaluated and no significant difference was observed between the two groups. In the second stage, the error numbers and performance scores of these groups, whose reaction times were homogeneous, were compared in the simulation scenarios. At the 90% confidence level, the experienced group made fewer mistakes. In addition, the different difficulty levels of the scenarios created a statistical difference in the error numbers. Significantly fewer errors were made in easy-medium scenarios than in difficult-very difficult scenarios. Also, the changes of performance scores according to scenario difficulty levels were examined and it was revealed that there was a significant difference between performance scores (p-value=0,00 < 0,05). Performance scores were significantly higher in easy-medium scenarios compared to difficult-very difficult scenarios.

#### Key Words

*“Human factors, Air traffic controller, Cognitive workload, Reaction time”*

## 1. Giriş

Emniyetli uçuş koşullarının sağlanması, günümüz modern havacılık endüstrisinde oldukça büyük öneme sahiptir. Bu noktada, hava trafiğinin emniyetli bir şekilde yönetilmesinde hava trafik kontrolörü kritik öneme sahiptir. Hava trafik kontrolörünün görevi manevra sahasında, apronda veya uçuşun herhangi bir safhasında olası çarpışmaları önlemek, hava trafiğinin akışını düzenlemek ve hızlandırmak, pilotlara gerekli bilgi ve desteği sağlamaktır (Federal Aviation Administration, 2021a). Hava trafik kontrolörünün yapacağı bir hata uçuş emniyetini doğrudan etkileyebilir, hatta iki uçağın çarpışması gibi ciddi bir kazaya sebep olabilir. FAA tarafından sunulan raporda (Federal Aviation Administration, 2021b), Amerika Birleşik Devletleri'nde yer alan yirmi dört merkezdeki hava trafiği verilerinden hareketle 2020 yılında 31,9 milyon uçuş olarak kaydedilen hava trafiğindeki artışın 2021-2040 yılları arasında devam edeceği ve 2040 yılında yaklaşık 59 milyon uçuşa ulaşabileceği tahmin edilmektedir. Hava trafiğindeki artışla birlikte, alanında yetkin, tecrübeli ve nitelikli hava trafik kontrolörlerine olan ihtiyaç da hiç şüphesiz artacaktır.

Hava trafik kontrolü olarak görev yapan bir kişinin algılama, reaksiyon, üç boyutlu düşünme, hızlı ve doğru karar verebilme gibi özelliklere sahip olabilmesi gereklidir. Söz konusu bu özellikler arasında, karar verme sürecinde saniyelerin hayati önem taşıdığı durumlarda, reaksiyon kavramı ön plana çıkmaktadır. Reaksiyon süresinin, kişinin bir uyarana maruz kalmasıyla başlayan ve bir tepki ile biten belirli bir sabit zaman aralığı olduğu bilinmektedir. Çalışma koşullarında oldukça sık uyarılara maruz kalan hava trafik kontrolörlerinin reaksiyon sürelerinin hızlı olması beklenmektedir. Duyuların uyarılması, merkezi ve periferik sinir sistemlerine gönderilen bir sinyalle sonuçlanır. Bu sinyaller esasen elektriksel uyarılardır ve vücudun geri kalanına bilgi ileten habercilerdir. Hızlı reaksiyon süresine sahip olmak; beyne ve omuriliğe vücudun uygun hamleyi yapması için iletilen mesajların hızlıca gönderildiği anlamına gelmektedir. Tehlikeli bir durumda hızlı ve doğru reaksiyon gösterilmesi, yaşanabilecek kaza, kırım ve kayıpların azaltılmasına katkıda bulunacaktır.

Eiðfeldt vd. (2002) tarafından yapılan çalışmada hava trafik kontrolörleri için belirlenen bilgi, beceri ve bireysel özellikler kapsamında; reaksiyon süresi psikomotor boyutuyla ele alınmıştır. Kişinin motor yanıt hızındaki ve doğruluğundaki bireysel farklılıkları temsil eden psikomotor yeteneğinin ölçülmesini yapmak reaksiyon süresi ile mümkündür (Ackerman & Cianciolo, 1999). Psikomotor becerileri ile uyarıcılara karşı gösterilen reaksiyon ve bu süreçte geçen süre birbiri ile doğrudan ilişkilidir. Psikomotor gelişim sürecinde duyu organları, zihin ve kaslar birlikte çalışır ve davranışların kontrol altında gerçekleşmesini sağlar. Bir bireyin performansı (Das vd., 1997) ve duysal motor bağlantısı (Shenvi & Balasubramanian, 1994) reaksiyon süresi ile ölçülebilir.

Hava trafik kontrolörlerinin hem görsel hem işitsel reaksiyon sürelerinin iş performansına etkisi yüksektir. Abbass vd. (2014) tarafından yapılan kantitatif elektroensefalograf (QEEG) verilerini kullanarak hava trafik kontrolörleri için görsel ve işitsel reaksiyon süresinin ölçüldüğü çalışmada görsel hedeflere karşı olan reaksiyon süresinin sesli olanlara karşı daha düşük olduğu ölçülmüştür. Ayrıca hava trafik kontrolörlerinin daha fazla görsel işarete maruz kalmasıyla iş yüklerinde bir artış yaşandığı sonucuna ulaşılmıştır.

Hedefi, dikkat dağıtıcı unsurlardan ayırmanın nispeten zor olduğu durumlarda ekran boyutu görsel arama ve reaksiyon süresine etki edebilmektedir (Reynolds & Miller, 2009). Li vd. (2022) tarafından yürütülen çalışmada ekran boyutu ile hava trafik kontrolörlerinin hedef tanımlamadaki görsel davranışları ve yanıt süreleri arasındaki ilişki incelenmiştir. 43 inç ve 55 inç büyüklüğünde Out-the-Window (OTW) panorama ekran ile çalışmalar yürütülmüştür. Daha büyük ekranın, hava trafik kontrolörleri için daha kolay fark edilen daha büyük uyarılar sunduğu, ancak daha geniş baş ve göz hareketleri genliğine yol açtığı ve hedef tanımlamada daha uzun yanıt süresine neden olduğu ortaya konmuştur.

Antoško vd. (2014) ve Antoško vd. (2017) hava trafik kontrolörünün görevini yapması konusunda psikolojik hazırlığın test edilmesi üzerinde çalışmışlardır. Rastgele oluşturulmuş bir görevdeki yanıt süresini ölçebilmek amacıyla tasarlanan, el ve ayak butonlarıyla komut verilen, kontrolörün reaksiyon hızını, işitsel ve sesli uyarılara tepkisini izleyen bir cihaz aracılığı ile ölçümler yapılmış olup farklı görevlerdeki hata yüzdeleri sunulmuştur.

Yorgunluk ve stres de hava trafik kontrolörünün performansına ve reaksiyon süresine etki etmektedir. Zhang vd. (2019) tarafından yapılan çalışmada reaksiyon süresi, pilotun çağrısından kontrolörün yanıt vermesine kadar geçen zaman aralığı olarak tanımlanmıştır. Yorgunluk ve stres faktörleriyle beraber hava trafik kontrolörü için reaksiyon süresinde, hareket kabiliyetinde, iletişim performansında ve durumsal farkındalığında azalma; karar verme, pilota yanıt verme süresinde artış görülmüştür. Hem yorgunluk hem de stresin reaksiyon kabiliyetini, dolayısı ile uçuş güvenliğini önemli ölçüde etkilediği sonucuna varılmıştır.

Yapılan literatür taramasında hava trafik kontrolörleri için reaksiyon süresinin çeşitli boyutlarda ele alındığı ve emniyetli uçuş koşullarının sağlanması için üzerinde durulması gereken bir konu olduğu görülmüştür. Kaliteli bir eğitim hava trafik kontrolörünün reaksiyon süresi ve psikomotor yeteneklerini artırabilmektedir (Némethová vd., 2019).

Günümüzde artan hava trafiği talebinin kontrolörlerin iş yeri stresine etki ettiği bilinmektedir (Finkelman, 1994; Lesiuk, 2008). Artan trafik talebi hava trafik kontrolörlerinin zihinsel iş yüklerini artırdığından (Vogt vd., 2006; Ahlstrom & Friedman-Berg, 2006) özellikle dikkat, muhakeme ve iletişim problemlerinin artması sonucunda insan hatası riski de giderek artmaktadır (Stager vd., 1989; Nocera vd., 2006). Hava trafik yönetiminde emniyeti riske atacak büyük hatalarla veya daha telafi edilebilir hatalarla karşılaşılabilir. Hava trafik kontrolörlerinin iyi bir performans sergilemesi emniyetli ve verimli bir hava trafik yönetimini anlamına gelmektedir.

Hava trafik eğitiminde ise gerçek zamanlı simülasyonlar boyunca yapılan hataların belirli kriterlere göre değerlendirilip puana dönüştürülmesi ile kontrolör adaylarının performansları ölçülmektedir.

## 2. Yöntem

Çalışma simülasyon öncesi, simülasyon aşaması ve simülasyon sonrası olarak üç farklı kısımda gerçekleştirilmiştir. İlk kısımda katılımcıların reaksiyon süreleri simülasyon öncesi ölçülürken ikinci kısımda katılımcıların egzersizler (her bir simülasyon deneyi egzersiz olarak adlandırılmıştır) boyunca yaptıkları hatalar simülatör eğitmeni (STDI) yetkisine sahip eğitmenler tarafından not edilmiştir. Simülasyon sonrası aşamasında ise her bir deneyin 4 farklı egzersiz zorluk derecesindeki performansları yine eğitmenler tarafından değerlendirilerek 100'lük sistemdeki karşılığı not edilmiştir.

Simülasyon öncesi aşamada hava trafik kontrolörü olmak üzere eğitim alan Hava Trafik Kontrol bölümü öğrencilerinin reaksiyon süreleri ölçümü, antrenman sistemi FitLight Trainer™ (Fitlight Sports Corp., Canada) kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Çalışma grubunu oluşturan katılımcılar Eskişehir Teknik Üniversitesi Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi Hava Trafik Kontrol Bölümü öğrencileri arasından seçilmiştir. Katılımcılar 20-24 yaş aralığında olup gönüllülük esasına göre çalışmaya katılmışlardır ve tüm katılımcılar yazılı bir onam vererek Gönüllü Katılım Formu belgesini doldurmuşlardır. Her birinde 15'er öğrenci bulunan deneyimli ve deneyimsiz iki grup oluşturularak toplamda 30 öğrenci deneysel çalışmalara katkı sunmuştur. Deney öncesinde, gerçekleştirilecek ölçümler ve deneysel süreç hakkında katılımcılara bilgi verilmiş olup, gerekli teknik notlar açıklanmıştır. Deneyimli ve deneyimsiz gruplar için, oluşturulan farklı görev senaryoları ile reaksiyon süresi arasındaki ilişki araştırılmıştır. Reaksiyon süresi ölçümü için FitLight Trainer sistemi kullanılmıştır. FitLight, kullanıcıların zihin ve beden arasındaki bağı güçlendirmesine, reaksiyon ve tepki sürelerini iyileştirmelerine yardımcı olan, hız ve bilişsel antrenman sistemidir. Bu teknoloji genellikle sporcuların antrenmanlarında fiziksel ve bilişsel becerileri geliştirmek için kullanılmaktadır (Katanić vd., 2020). FitLight Trainer (Şekil 1), sekiz adet LED ışıktan oluşan ve katılımcıların reaksiyon zamanlarını belirlemek için kullanılan bir sistemdir (Örs vd., 2019).



Şekil 1. FitLight Trainer Reaksiyon Ölçüm Cihazı

Işıklar farklı renklere göre ayarlanmakta ve bir tablet içerisine yüklenen programla kontrol edilmektedir. Ayrıca sistem birçok farklı protokolü istenildiği şekilde düzenlemeye imkân vermektedir. Sistem içerisinde farklı renk seçenekleri de bulunmakta ve hangi ışığın hangi renkte ne zaman ve ne kadar süreyle yanabileceği ayarlanmaktadır. Araştırma kapsamında, katılımcılardan olabildiğince hızlı şekilde ışıkları söndürmeleri istenmiştir. Katılımcıların, ışıkları söndürmesi için elleriyle dokunmaları ya da ellerini üzerine getirmeleri yeterli olmaktadır.

Simülasyonlar 5, 8, 12 ve 15 uçaktan oluşan 4 farklı zorluk derecesinden oluşmaktadır. Her bir egzersiz 20 dakika sürmektedir. Dolayısıyla her bir zorluk seviyesinde birim zamanda hizmet verilmesi gereken uçak sayısı artmaktadır. Uçak sayısı literatürde hava sahasının karmaşıklığını etkileyen en önemli unsur olarak vurgulanmaktadır (Djokic vd., 2010). Uçak sayısının artması ile muhtemel çakışan rota sayıları, talimat sayıları, frekans meşgulliyet süreleri gibi birçok parametrenin değeri de artmaktadır.

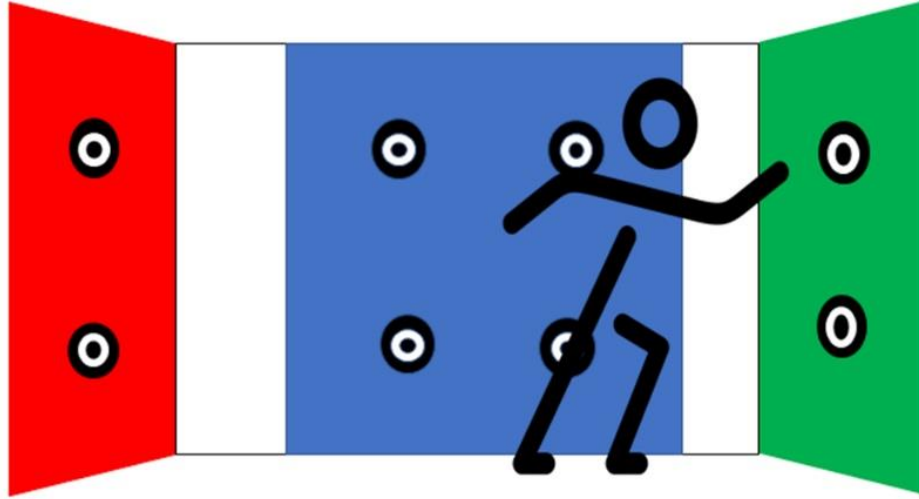
Simülasyonlar boyunca tüm zorluk seviyelerindeki her bir egzersiz simülatör eğitmenleri tarafından gerçek zamanlı olarak farklı bir ekrandan takip edilmiş ve yapılan hatalar not edilmiştir. Bu hatalar talimat hataları, uçağın son yaklaşma hattına doğru bir şekilde oturtulamaması, kontrolsüz bir şekilde alçaltılması gibi telafi edilebilir hataların yanı sıra uçakların yasaklı sahaya girmeleri, birbirine emniyetli mesafelerden daha fazla yaklaşması (conflict) gibi ciddi hataları da içermektedir. Simülasyonlar boyunca takip edilen

katılımcı performansları ise her bir egzersiz sonunda kaydedilen hataların Rogošic vd. (2021) tarafından verilen kriterlere göre eğitmenler tarafından değerlendirilmesi sonucunda belirlenmiştir.

Elde edilen veriler ışığında hata sayılarının deneyimli deneyimsiz gruplar arasında ve farklı egzersiz zorluk seviyeleri için anlamlı bir şekilde farklılaşp farklılaşmadığı incelenmiştir. Benzer şekilde katılımcıların performansları deneyimlerine ve egzersiz zorluk seviyelerine göre değerlendirilmiştir.

### 3. Deneysel Çalışmalar

FitLight ölçümleri için katılımcıların üç tarafına, üç farklı renk ve birbirleri arasında 1,5 m mesafe olacak şekilde, 8 ışık sensörü yerleştirilmiştir. Dört ışık katılımcının önündeki duvar üzerinde mavi ile belirlenen bölgeye, iki ışık katılımcının solundaki kırmızı bölgeye ve diğer iki ışık da katılımcının sağında yer alan yeşil bölgeye Şekil 2’de gösterildiği gibi yerleştirilmiştir (Simsek vd., 2021). Işık çiftleri, her bir katılımcı için sırasıyla omuz ve kalça hizasında olacak şekilde konumlandırılmıştır.



Şekil 2. FitLight Trainer Sistemi

Katılımcılar düzeneğin ortasında dururken yanlardaki ışıkları etkilememeleri adına kırmızı ve yeşil alandaki ışıklar duvardan 0,5 m uzağa ve üçer metre ara ile yerleştirilmiştir. Katılımcıların ışıklara ulaşabilmesi için oluşturulan ölçüm dizaynının tam ortasında beklemeleri istenmiştir. Işıklara ulaşabilmek için, katılımcıların stabilite sınırlarını değiştirmeleri; ya da tüm vücudunu ışığa yaklaştırmak için adım alma stratejisini yaparak destek alanını (ayağın yerle olan temas alanı) değiştirmeleri gerekmektedir. Deneysel çalışmalar esnasında alınan bir görüntü Şekil 3’te sunulmuştur.



Şekil 3. FitLight Trainer Sistemi ile Ölçümlerin Gerçekleştirilmesi

İkili görev testleri tüm denemelerin aynı olduğu 3 denemeden oluşan motor görevden oluşmaktadır. Ayrıca, bilişsel (zihinsel) görev, denemeler arasında bilişsel talebin farklılık gösterdiği bir görevdir. Motor görevin her bir denemesi, katılımcıların ışığı kapatmak için sekiz sensörden birinin önüne elini tutmalarını içeren toplam 25 tekrarlayan ulaşma görevinden oluşmaktadır. Işıklar bir kez yanacak ve bir sensörün ışığı söndüğünde, sonraki sensör 0,5 saniyelik bir gecikmeden sonra tekrar yanacak şekilde ayarlanmıştır. Farklı bölgelerdeki aktive edilmiş ışıkların sayısı, katılımcıya stabilite sınırları içinde ve ötesinde eşit bir şekilde mücadele etmesini sağlamak için tüm denemelerde eşit olarak bölünmüştür. Testlerdeki 3 deneme bilişsel içerikleri bakımından farklıdır. Görevlerde kullanmaları için, katılımcılara aşağıda belirtildiği gibi farklı ipuçları verilerek, katılımcıların bilişsel stratejileri farklı olasılıklarla kullanmaları sağlanmıştır:

1. Işıklar rastgele sıra ile üç renkten birinde yanmıştır (kırmızı, yeşil ve mavi). Diğer ışığın nerede yanacağı konusunda hiçbir ipucu verilmemiştir. Bilişsel içerik bakımından bu testin katılımcıların reaksiyon zamanını ölçmesi beklenmemiştir.
2. Işığın rengi bir sonraki ışığın pozisyonunu belirlemektedir. Bu da kişinin ikili görevlerin farkında olup olmadığını ölçmeyi amaçlamaktadır. Eğer ışık kırmızı yandıysa bir sonraki ışık kırmızı bölgede olacaktır. Işık yeşil yandıysa takip eden diğer ışık yeşil bölgede yanacaktır. Eğer ışık mavi ise, bir sonraki ışık mavi bölgede yanacaktır.
3. Işığın rengi bir sonraki ışığın pozisyonunu belirlemektedir, ancak kırmızı ve yeşil ipuçları ters olacak şekilde ayarlanmıştır. Diğer bir ifadeyle, eğer ışık kırmızı ise bir sonraki ışık yeşil bölgede, ışık yeşil ise diğer ışık kırmızı bölgede yanacaktır. Eğer ışık mavi yandıysa diğer ışık mavi bölgede olacaktır.

Her bir katılımcının üç farklı senaryo üzerinden reaksiyon süresi ölçümü yapılmış ve toplamda 30 katılımcıdan 90 adet veri seti alınarak aktivite kayıtları oluşturulmuştur. Simülasyon öncesi ölçümlerin yapılmasından sonra 4 farklı zorluk derecesinden oluşan simülasyon aşaması çalışmalarına geçilmiştir.

#### 4. Sonuç ve Tartışma

Sonuçlar reaksiyon süreleri, katılımcıların protokolleri uygularken yaptıkları hata sayıları ve performans değerleri açısından üç grupta analiz edilmiştir. Analizlerde MINITAB 17 paket programı kullanılmıştır.

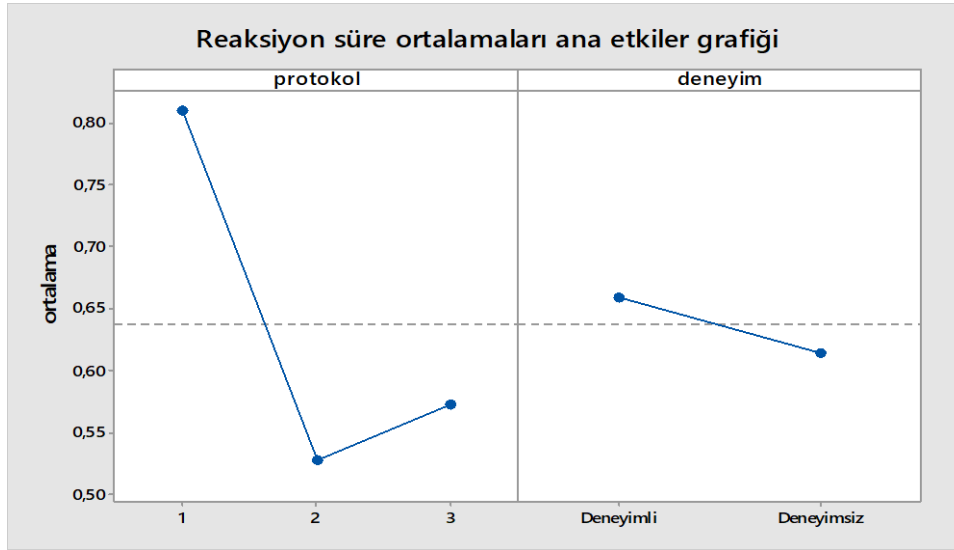
##### 4.1. Reaksiyon sürelerinin analizi

Katılımcıların reaksiyon süreleri FitLight Trainer sistemi kullanılarak üç farklı protokol üzerinden değerlendirilmiştir. Protokol ve katılımcıların deneyim durumları faktör olarak ele alınmış, reaksiyon süresine etkisi ANOVA tablosu ile analiz edilmiş ve sonuçlar Tablo 1’de verilmiştir.

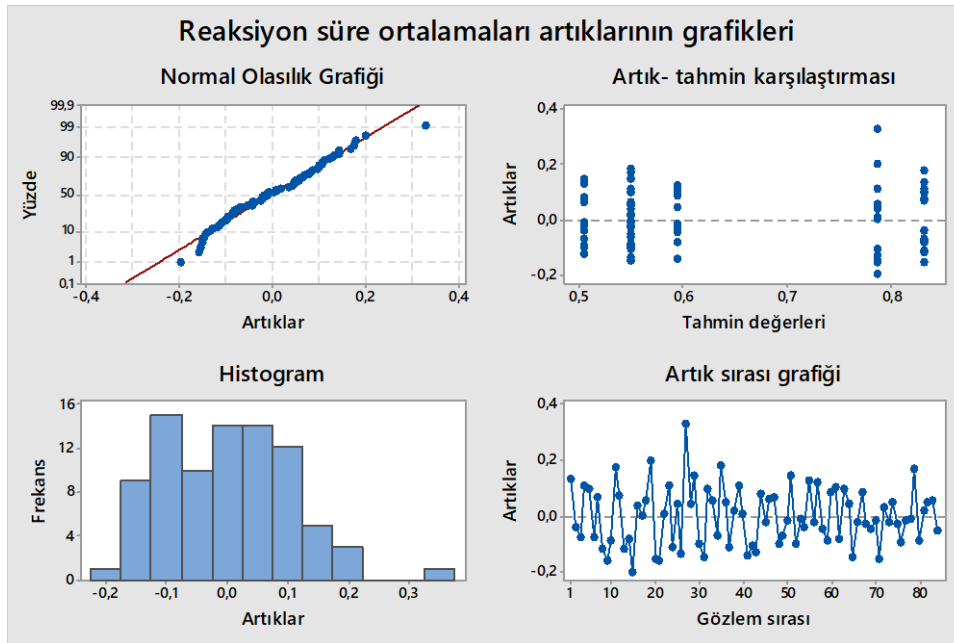
**Tablo 1.** Reaksiyon Süresi İçin ANOVA Tablosu

Kaynak	Serbestlik derecesi	Hata kareler toplamı	Hata kareler ortalaması	F	P-değeri
<b>Protokol</b>	2	862,43	431,21	56,60	0,000
<b>Deneyim</b>	1	18,56	18,56	2,44	0,123
<b>Hata</b>	80	609,48	7,62		
<b>Toplam</b>	83	1490,46			
S = 2,76016		R-Sq = %59,11		R-Sq(adj) = %57,57	

Sonuç olarak, protokollerin reaksiyon süresine etkileri %95 güven seviyesinde etkisinin olduğu tespit edilmiştir (p-değeri=0,000 < 0,05). Ancak deneyimli ve deneyimsiz gruplar arasında reaksiyon süreleri bakımından anlamlı bir farklılık gözlenmemiştir (p-değeri=0,123 > 0,05). Öğrenciler özel yetenek sınavlarından geçerek ilgili bölüme kabul edilmektedir, bu sebeple grubun homojen beceri düzeyinde olduğu kabul edilebilir. Bu durumda iki grup arasında reaksiyon süreleri bakımından farklılık görülmemesi beklenen bir durumdur. Reaksiyon sürelerinin protokol ve deneyim ortalamaları ana etkiler grafiği Şekil 4’te verilmiştir. Modelin R<sup>2</sup> değeri %57,57 ile kabul edilebilir durumdadır. Modelin hataları/artıkları incelendiğinde ise (Şekil 5), hataların Normal dağıldığı, sabit varyansa sahip olduğu ve birbirinden bağımsız oldukları söylenebilir. Bu açılardan model uygundur ve kabul edilebilir.



Şekil 4. Reaksiyon Sürelerine Protokol ve Deneyim Faktörlerinin Ana Etkiler Grafiği



Şekil 5. Reaksiyon Süreleri Modelinin Hata Grafikleri

Reaksiyon süresinin belirlenmesinde kullanılan FitLight Trainer sistemi; Hava Trafik Kontrol bölümünde öğrenci seçim ve/veya değerlendirme süreçlerinde reaksiyon süresi ölçümüne yer verilmesi gerektiğinde kullanılabilir, aynı şekilde stajyer kabul eden paydaşlar tarafından öğrenci seçim ölçütü olarak değerlendirilebilir.

#### 4.2. Hata sayılarının analizi

Katılımcıların senaryoların zorluk dereceleri (kolay-orta-zor-çok zor) ve deneyim durumlarına (deneyimli-deneyimsiz) göre yaptıkları hata sayıları belirlenmiş ve ANOVA tablosu ile analiz edilmiştir (Tablo 2).

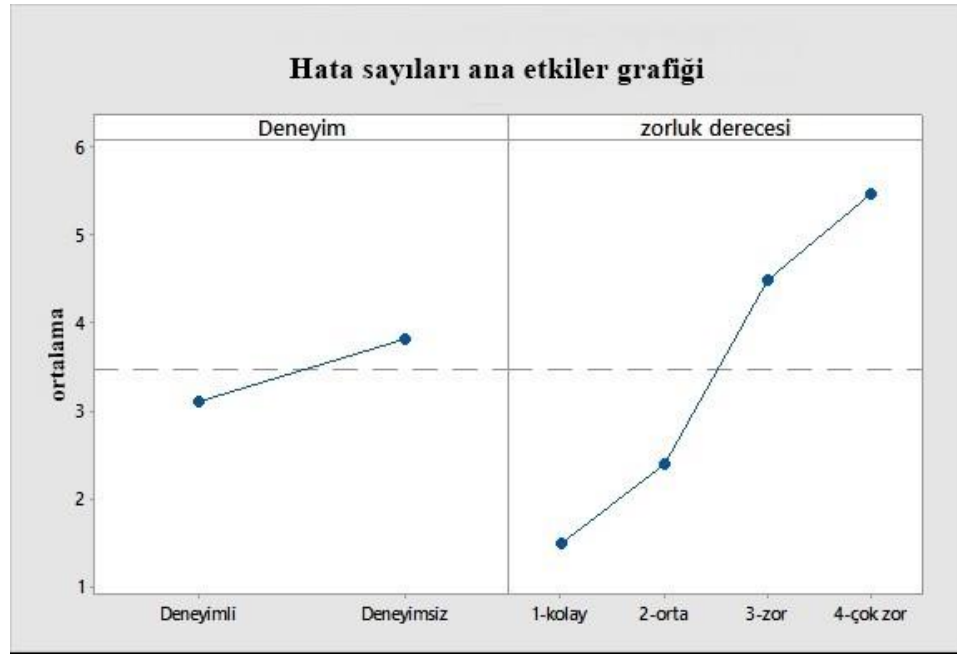


**Tablo 2.** Hata Sayıları İçin ANOVA Tablosu

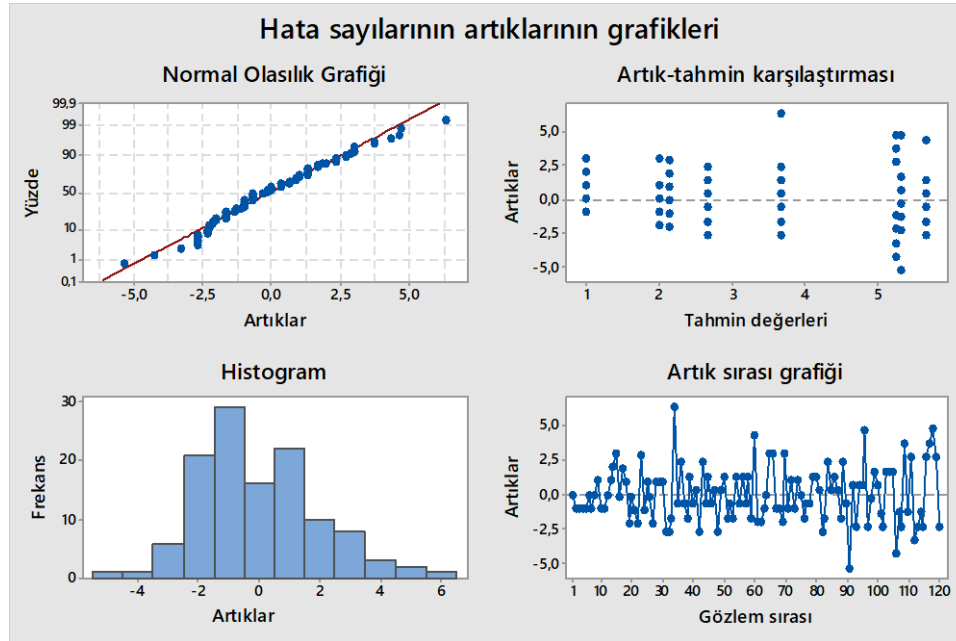
Kaynak	Serbestlik derecesi	Hata kareler toplamı	Hata kareler ortalaması	F	P-değeri
Zorluk	3	302,200	100,733	24,11	0,000
Deneyim	1	14,700	14,700	3,52	0,063
Zorluk* Deney	3	16,967	5,656	1,35	0,261
Hata	112	468,000	4,179		
<b>Toplam</b>	<b>119</b>	<b>801,867</b>			

S = 2,04416    R-Sq = %41,64    R-Sq(adj) = %37,99

Yapılan varyans analizleri sonucunda %90 güven seviyesinde deneyimli ve deneyimsiz gruplar arasında (p-değeri=0,000 < 0,10) ve %99 güven seviyesinde zorluk dereceleri arasında (p-değeri=0,063 < 0,10) hata sayıları açısından istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar olduğu belirlenmiştir. Deneyim ve zorluk derecesinin etkileşiminin ise hata sayısına etki etmediği tespit edilmiştir (p-değeri=0,261 < 0,10). Deneyimsiz grubun deneyimli gruba göre daha fazla hata yaptığı tespit edilmiştir. Tüm senaryolarda deneyimli grup ortalama olarak 3,117 adet hata yapmışken, deneyimsiz grup ortalama 3,817 adet hata yapmıştır. Şekil 6'dan görüleceği gibi, katılımcılar "zor" ve "çok zor" senaryolarda daha fazla hata yapmışken "kolay" ve "orta" senaryolarda daha az hata yapmışlardır. Deneyimli grubun hata sayısının deneyimsiz gruptan daha yüksek olması beklenen bir durumdur. Reaksiyon süreleri açısından fark bulunmayan iki grubun beceri bakımından homojen olduğu söylenebilir. Beceri bakımından homojen olan iki grup arasında hata sayıları bakımından fark görülmesi eğitimin etkisinin başarılı bir sonuç ortaya koyduğunu göstermektedir. Katılımcılara uygulanan senaryoların zorluk derecesinin hata sayısını etkilemesi, eğitilmiş veya eğitimsiz grubun verilen görevlerde hata yapma olasılığının görevin zorluğu ile ilişkili olduğunu ortaya koymaktadır. Hava trafik kontrolörlerinin ve adaylarının görevleri zorlaştıkça daha fazla hata yapmaları doğrudan uçuş emniyetini etkileyen bir durum olduğundan bu hataları azaltacak önlemler alınmalıdır. Bu çalışmada deneyimin hata sayısını azalttığı görülmüştür. Hava trafik kontrolörlerinin hata sayısını azaltmak için ilk başvurulması gereken önlem deneyimdir.

**Şekil 6.** Hata Sayılarına Deneyim ve Senaryoların Zorluk Derecelerinin Ana Etkiler Grafiği

Modelin  $R^2$  değeri %38 gibi düşük bir değer çıkmıştır. Bu da ele alınan faktörlerin hata sayılarındaki değişkenliği %38 oranında açıkladığını göstermektedir. Modelin hataları/artık değerleri incelendiğinde ise artıkların normal dağıldığı, sabit varyansa sahip olduğu ve birbirinden bağımsız oldukları söylenebilir (Şekil 7).



Şekil 7. Hata Sayıları Modelinin Artıklarının Grafikleri

#### 4.3. Performans değerlerinin analizi

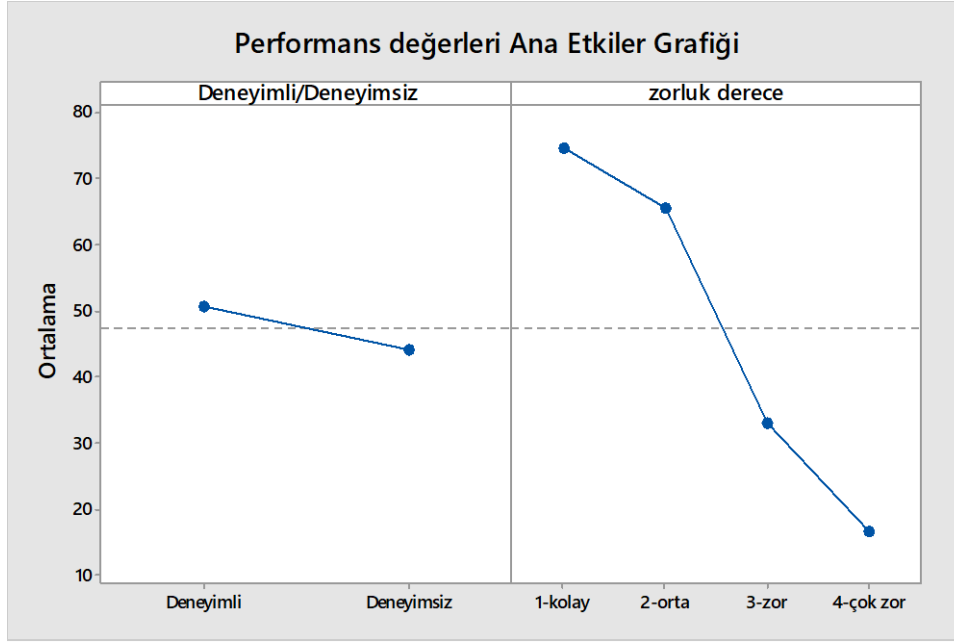
Katılımcıların performansları, eğitim ve değerlendirme yetkisine sahip iki uzman tarafından 100 üzerinden yapılan puanlama ile değerlendirilmiştir. Bu puanlama standart bir değerlendirme formu kullanılarak yapılmıştır. Bu değerlendirmede adayların hataları basit, orta ve yüksek düzey olarak sınıflandırılmış ve puanlamaları bu düzeylere göre farklılık göstermektedir. Katılımcıların 4 farklı senaryoda gösterdikleri performans, simülatör eğitmeni tarafından değerlendirilmiştir. Deneyimin ve senaryo zorluk derecelerinin performans değerlerine etkisi ANOVA tablosu ile araştırılmış ve Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Performans Değerleri İçin ANOVA Tablosu

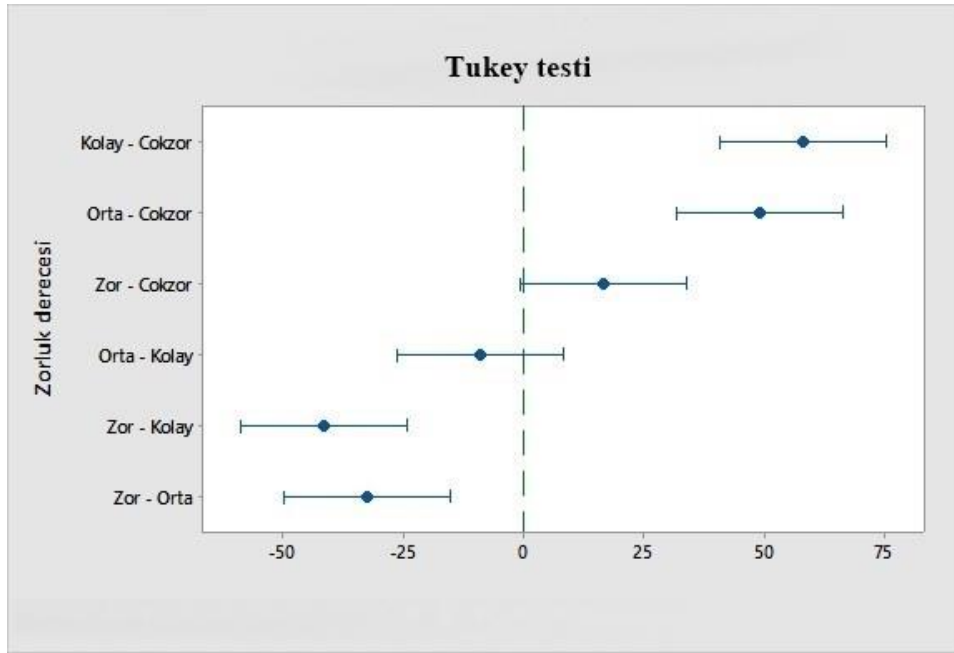
Kaynak	Serbestlik derecesi	Hata kareler toplamı	Hata kareler ortalaması	F	P-değeri
Protokol	1	1300	1300	2,00	0,160
Deneyim	3	66824	22275	34,23	0,000
Hata	115	74824	651		
<b>Toplam</b>	<b>119</b>	<b>142948</b>			
S = 25,5077    R-Sq = %47,66    R-Sq(adj) = %45,84					

Yapılan varyans analizi sonucunda %95 güven seviyesinde deneyimli ve deneyimsiz gruplar arasında performans değerleri açısından istatistiksel olarak anlamlı bir fark olmadığı gözlenmiştir ( $p$ -değeri=0,16 > 0,05). Buna göre hata sayıları bakımından anlamlı farklılık bulunan iki grubun değerlendirmesinde anlamlı fark bulunmadığı sonucu ortaya çıkmaktadır. Bu sonucun sebebi puanlandırmanın basit ve yüksek düzey hataların sayılarına bağlı olarak değerlendirme puanını aynı düzeye getirebilmesidir. Bir diğer değişle yüksek düzey bir hata ile düşük düzey çok sayıda hata aynı değerlendirme sonucunu doğurabilmektedir. Bu sonuçlar doğrultusunda hava trafik kontrol eğitimi alan kişilerin performans değerlendirmesi üzerine ayrıca çalışma yapılması önerilmektedir. Diğer yandan senaryoların zorluk derecelerinin performans etkisi istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ( $p$ -değeri=0,00 < 0,05). Şekil 8'de deneyimin ve senaryo zorluk derecelerinin ortalamaları ana etkiler grafiği verilmiştir. Buna göre, "kolay" ve "orta" görevlerde daha yüksek performans göstermelerine rağmen, "zor" ve "çok zor" görevlerde performans değerleri düşmektedir. Zorluk dereceleri ortalamaları arasında fark olup olmadığını belirlemek için yapılan Tukey testi sonuçları Şekil 9'da verilmiştir. Yapılan analizler sonucunda orta-kolay, zor-çok zor egzersiz zorluk dereceleri arasında katılımcıların performans değeri arasında fark tespit edilemezken orta-zor, orta-çok zor ve kolay-zor, kolay-çok zor egzersiz zorluk dereceleri arasında katılımcıların performans değerleri açısından anlamlı bir fark gözlenmiştir. Bu sonuçlar, hata sayılarının sonuçları ile de uyum göstermektedir.



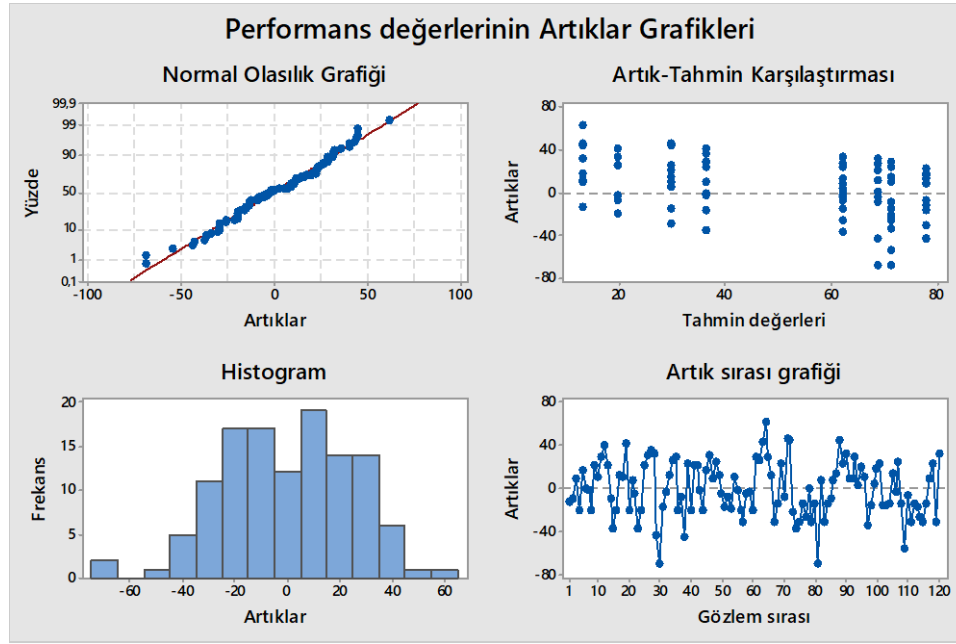


Şekil 8. Performans Değerlerine Deneyim ve Senaryoların Zorluk Derecelerinin Ana Etkiler Grafiği



Şekil 9. Zorluk Derecelerinin Tukey Testi

Performans değerleri için kurulan modelin hataları/artıkları incelendiğinde ise (Şekil 10), hataların/artıkların Normal dağıldığı, sabit varyansa sahip olduğu ve birbirinden bağımsız oldukları gözlemlenmiştir.



Şekil 10. Performans Değerleri Modelinin Artıklarının Analizi

Sonuç olarak, senaryoların zorluk derecelerinin farklı olması hata sayılarını ve performans değerlerini istatistiksel olarak anlamlı olacak şekilde etkilemiştir. Katılımcıların deneyimli/ deneyimsiz olmalarının reaksiyon sürelerini ve performans değerleri üzerinde etkisi olmamasına rağmen, %90 güven seviyesinde hata sayılarına etkisi istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. Deneyimli grup gönüllülerinin deneyimsiz gruba göre daha az hata yaptıkları belirlenmiştir. Bu durum belirli bir eğitimden geçmiş adayların eğitiminin sonucunda başarılarının arttığı şeklinde yorumlanabilir. Bu durum reaksiyon süreleri bakımından denk iki grup arasında eğitim ile elde edilen bir başarı farklılığı olduğunu göstermektedir. Eğitim ATCo'ların hatalarını azaltmak amaçlı başvurulması gereken bir çözüm iken senaryo zorluğunun düşük tutulması hatayı azaltacağından, hava trafik kontrolörlerinin çalışmaları sırasında zorluğu azaltacak önlemlerin alınması gerektiği ortadadır.

### Bilgilendirme

Bu çalışma Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından 221M224 numaralı proje kapsamında desteklenmiştir.

Bu çalışma 28. Ulusal Ergonomi Kongresi'nde sunulmuştur.

### Referanslar

Abbass, H. A., Tang, J., Ellejmi, M., & Kirby, S. (2014). Visual and auditory reaction time for air traffic controllers using quantitative electroencephalograph (QEEG) data. *Brain Inform*, 1(1-4):39-45. doi: 10.1007/s40708-014-0005-8

Ackerman, P. L., & Cianciolo, A. T. (1999). Psychomotor abilities via touch-panel testing: Measurement innovations, construct, and criterion validity. *Human Performance*, 12:3-4, 231-273. doi: 10.1080/08959289909539871

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.

Antoško, M., Piľa, J., Korba, P., & Lipovský, P. (2014). Psychological readiness of air traffic controllers for their job. In: *Our Sea* 61(1-2): 5-8. - ISSN 0469-6255

Antoško, M., Sabo, J., Hovanec, M., Korba, P., & Sekelová, M. (2017). How to Evaluate the Actual Psychological Readiness of Atco. *Proceedings of 20th International Scientific Conference, Transport Means 2017*.

Das, S., Gandhi, A., & Mondal, S. (1997). Effect of premenstrual stress on audiovisual reaction time and audiogram. *Indian J Physiol Pharmacol*, 41(1):67-70.

- Djokic, J., Lorenz, B., & Fricke, H. (2010). Air traffic control complexity as workload driver. *Transp. Res. Part C Emerg. Technol.*, vol. 18, no. 6, pp. 930-936. doi: 10.1016/j.trc.2010.03.005
- Eißfeldt, H., Heil, M. C., & Broach, D. (2002). *Staffing the ATM System: The Selection of Air Traffic Controllers* (1st ed.). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781315242538>
- Federal Aviation Administration. (2021a). Air traffic organization policy. ORDER JO 7110.65Z.
- Federal Aviation Administration. (2021b). Forecasts of IFR aircraft handled by FAA air route traffic control centers. FY 2021–2040.
- Finkelman, J. M. (1994). A large database study of the factors associated with work-induced fatigue. *Human Factors*, 36(2), 232-243.
- Katanić, B., Ilić, P., Stojmenović, A., & Vitasović, M. (2020). The application of Fitflight trainer system in sports. *Fizička kultura*, 74(2), 115-126. <https://doi.org/10.5937/fizkul74-27189>
- Lesiuk, T. (2008). The effect of preferred music listening on stress levels of air traffic controllers. *The Arts in Psychotherapy*, 35(1), 1-10.
- Li, W. C., Moore, P., Zhang, J., Lin, J., & Kearney, P. (2022). The impact of out-the-window size on air traffic controllers' visual behaviours and response time on digital tower operations. *International Journal of Human-Computer Studies*, Volume 166, 102880, ISSN 1071-5819. <https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2022.102880>
- Némethová, H., Balint, J., & Vagner, J. (2019). The Education and Training Methodology of the Air Traffic Controllers in Training, 556-563. 10.1109/ICETA48886.2019.9040125
- 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.
- Örs, B. S., Cantas, F., Onarıcı Gungor, E., & Simsek, D. (2019). ASSESSMENT AND COMPARISON OF VISUAL SKILLS AMONG ATHLETES. *Spor ve Performans Araştırmaları Dergisi*, 10 (3), 231-241. doi: 10.17155/omuspd.522342
- Reynolds, A., & Miller, J. (2009). Display Size Effects in Visual Search: Analyses of Reaction Time Distributions as Mixtures. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 62(5):988-1009. doi:10.1080/17470210802373027
- 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
- Shenvi, D., & Balasubramanian, P. A. (1994). Comparative study of visual and auditory reaction times in males and females. *Indian J Physiol Pharmacol*, 38:229–229.
- Simsek, D., Ozboke, C., & Gultekin, E. A. (2021). Evaluation of the Use of Postural Control Strategies during Dual-Tasks of Hearing-Impaired Athletes. *Montenegrin Journal of Sports Science and Medicine*, 10(1), 11-17. doi: 10.26773/mjssm.210302
- Stager, P., Hameluck, D., & Jubis, R. (1989). 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.
- 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), 297-314. <https://doi.org/10.1027/0269-8803.20.4.297>
- Zhang, X., Yuan, L., Zhao, M., & Bai, P. (2019). Effect of Fatigue and Stress on Air Traffic Control Performance. *5th International Conference on Transportation Information and Safety (ICTIS)*, pp. 977-983. doi: 10.1109/ICTIS.2019.8883823