

**HAVA ARACI BAKIM TEKNİSYENLERİNDE MEYDANA GELEN ZİHİNSEL
İŞ YÜKÜNÜN TESPİT EDİLMESİNDE KULLANILAN YÖNTEMLERİN VE
ETKİNLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

Barış KARABAYRAK

Doktora Tezi

Uçak Gövde Motor Bakım Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Alper ULUDAĞ

(İkinci Danışman: Doç. Dr. Ebru YAZGAN)

Eskişehir

Eskişehir Teknik Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Ağustos 2023

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

Barış KARABAYRAK'ın HAVA ARACI BAKIM TEKNİSYENLERİNDE MEYDANA GELEN ZİHİNSEL İŞ YÜKÜNÜN TESPİT EDİLMESİNDE KULLANILAN YÖNTEMLERİN VE ETKİNLİKLERİNİN İNCELENMESİ başlıklı çalışması 03/08/2023 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından değerlendirilerek “Eskişehir Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliği”nin ilgili maddeleri uyarınca, Uçak Gövde Motor Bakım Anabilim dalında Doktora Tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Unvan Adı Soyadı

İmza

Üye	: Dr. Öğr. Üyesi Alper ULUDAĞ
Üye	: Prof. Dr. Önder TURAN
Üye	: Doç. Dr. Nilgün ÖZDAMAR
Üye	: Doç. Dr. Işıl YAZAR
Üye	: Dr. Öğr. Üyesi Nevzet KAYA

Prof. Dr. Semra KURAMA

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

DANIşMAN ONAYI

Danişmanlığını yürüttüğüm Doktora ğrencisi Barış KARABAYRAK, HAVA ARACI BAKIM TEKNİSYENLERİNDE MEYDANA GELEN ZİHİNSEL İş YÜKÜNÜN TESPİT EDİLMESİNDE KULLANILAN YÖNTEMLERİN VE ETKİNLİKLERİNİN İNCELENMESİ başlıklı tez çalışmasını tamamlamıştır. Hazırlamış olduğu tez tarafımca incelenmiş ve öğrencinin tez savunma sınavına alınması bilimsel ve etik açıdan uygun görülmüştür.

Tez Danişmanı

Dr. Öğr. Üyesi Alper ULUDAğ

ÖZET

HAVA ARACI BAKIM TEKNİSYENLERİNDE MEYDANA GELEN ZİHİNSEL İŞ YÜKÜNÜN TESPİT EDİLMESİNDE KULLANILAN YÖNTEMLERİN VE ETKİNLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Bariş KARABAYRAK

Uçak Gövde Motor Bakım Anabilim Dalı

Eskişehir Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Ağustos 2023

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Alper ULUDAĞ

(İkinci Danışman: Doç. Dr. Ebru YAZGAN)

Bu çalışmada stres ve zaman baskısı altında çalışan hava aracı bakım teknisyenlerinin artan görev zorluklarında performanslarının ne şekilde değiştiği ve zihinsel iş yükünün nasıl etkilendiği araştırılmıştır. Bu kapsamda yürütülen deneysel çalışmalar için zorluk düzeyleri kolay, orta ve zor olan senaryolar bulanık mantık kullanılarak hazırlanmıştır. Tecrübeli ve tecrübesiz hava aracı bakım teknisyenlerinin farklı zorluk düzeyindeki bakım görevlerini gerçekleştirirken meydana gelen zihinsel iş yükünün ölçümünde fNIRS ve NASA-TLX yöntemleri kullanılmıştır. Ayrıca katılımcıların performans skorları ölçülmüştür. Yapılan analizlerde deneyimin ve senaryo zorluk düzeyinin zihinsel iş yüküne etkisi araştırılmıştır. Her bir ölçüm yöntemi için en az bir senaryo zorluk düzeyinde tecrübesiz ve tecrübeli gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar bulunmuştur. Tecrübeli grubun NASA-TLX sonuçlarının daha düşük olduğu, gerçekleştirilen görevlerde daha az zorlandığı; performans skorlarının daha yüksek olduğu, gerçekleştirilen görevlerde daha yüksek performans gösterdiği; oksihemoglobin konsantrasyonlarının daha düşük olduğu, bilişsel olarak daha az zorlandığı görülmüş olup, deneyimin etkisi ve önemi ortaya çıkmıştır. Tecrübesiz ve tecrübeli gruplar için kolay senaryodan zor senaryoya doğru ortalama NASA-TLX sonuçları, performans skorları ve fNIRS sonuçları için istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar bulunmuştur. Senaryo zorluğunun artmasıyla NASA-TLX sonuçlarında artış olduğu, katılımcıların gerçekleştirilen görevlerde daha çok zorlandığı; performans skorlarında azalma olduğu, katılımcıların gerçekleştirilen görevlerde daha düşük performans gösterdiği; oksihemoglobin konsantrasyonlarında artış olduğu, katılımcıların zihinsel iş yükünün arttığı görülmüştür.

Anahtar Sözcükler: NASA iş yükü indeksi, Fonksiyonel yakın kızılötesi spektroskopisi, Zihinsel iş yükü

ABSTRACT

INVESTIGATION OF THE METHODS AND THEIR EFFECTIVENESS USED IN DETERMINING THE MENTAL WORKLOAD OCCURRING IN AIRCRAFT MAINTENANCE TECHNICIANS

Bariş KARABAYRAK

Department of Airframe and Powerplant Maintenance

Eskişehir Technical University, Institute of Graduate Programs, August 2023

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Alper ULUDAĞ

(Co-Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Ebru YAZGAN)

In this study, it has been investigated how the performance of aircraft maintenance technicians working under stress and time pressure changes and how their mental workload is affected in increasing task difficulties. For the experimental studies carried out, scenarios with easy, medium and hard difficulty levels were prepared using fuzzy logic. fNIRS and NASA–TLX methods were used to measure the mental workload of experienced and inexperienced aircraft maintenance technicians while performing maintenance tasks of different difficulty levels. Moreover, the performance scores of the participants were measured. The effects of experience and scenario difficulty level on mental workload were investigated in the analyses. Statistically significant differences were found between inexperienced and experienced groups in at least one scenario difficulty level for each measurement method. It was seen that the experienced group had lower NASA–TLX results, had less difficulty in the tasks; had higher performance scores, showed higher performance in the tasks; had lower oxyhemoglobin concentrations, had less cognitive difficulty, and the effect and importance of the experience were revealed. Statistically significant differences were found for mean NASA–TLX results, performance scores and fNIRS results from easy to hard scenario for inexperienced and experienced groups. As the scenario difficulty increased it was observed that, there was an increase in NASA–TLX results, the participants had more difficulty in the tasks; there was a decrease in performance scores, the participants showed lower performance in the tasks; there was an increase in oxyhemoglobin concentrations and the mental workload of the participants increased.

Keywords: NASA task load index, Functional near-infrared spectroscopy, Mental workload

TEŞEKKÜR

Doktora tez çalışmamda bilgi ve tecrübelerini paylaşan, beni yönlendiren ve her zaman motive eden danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Alper ULUDAĞ'a, tezin şekillenmesinde görüş ve önerileri ile katkı sunan, tez çalışmasının kalitesine zenginlik katan danışman hocam Doç. Dr. Ebru YAZGAN'a, lisansüstü eğitim sürecinde bana her zaman destek olan, yardımlarını esirgemeyen, manevi danışmanım, çok kıymetli hocam Prof. Dr. Dilek TURAN'a, çalışmada kullanılan fNIRS cihazını temin eden, sonuçların yorumlanmasında katkı sunan Doç. Dr. Nazım ATA'ya, deneysel çalışmaların hazırlanmasında ve yürütülmesinde destek olan Cem ŞAHİNOĞLU'na, verilerin istatistiksel analizinde yardımcı olan Prof. Dr. Nihal ERGİNEL'e ve Arş. Gör. Dr. Şura TOPTANCI'ya, çalışma arkadaşlarım Dr. Mehmet Emin ÇILGIN, Dr. Süleyman Kağan AYAZ ve Nedim SUNAY'a çok teşekkür ederim.

Sevgilerini her zaman kalbimde hissettiğim, benim için hiçbir fedakârlıktan kaçınmayan değerli aileme emekleri için teşekkür ederim.

Tez çalışmam boyunca beni destekleyen, cesaret veren, sabır gösteren değerli eşim Esra'ya, ilham kaynağım kızım Eda'ya sonsuz teşekkürler.

Barış KARABAYRAK

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.

Barış KARABAYRAK

İÇİNDEKİLER

Sayfa

BAŞLIK SAYFASI	I
JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI.....	II
DANIŞMAN ONAYI	III
ÖZET	IV
ABSTRACT.....	V
TEŞEKKÜR	VI
ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ.....	VII
İÇİNDEKİLER	VIII
TABLolar DİZİNİ	X
ŞEKİLLER DİZİNİ	XII
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	XIII
1. GİRİŞ	1
1.1. Tezin Amacı	5
1.2. Tezin Önemi ve Özgün Değeri	6
1.3. Tezin Ekonomik ve Sosyal Katkıları	6
2. LİTERATÜR TARAMASI.....	8
3. FONKSİYONEL YAKIN KIZILÖTESİ SPEKTROSKOPİSİ (FNIRS).....	12
4. NASA İŞ YÜKÜ İNDEKSİ (NASA-TLX)	16
5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	21
5.1. Bulanık Mantık, Bulanık Kümeler ve Bulanık Aritmetik İşlemler.....	22
5.2. Amaçlanan Model	25
5.3. Uygulama	27
5.4. Kolay, Orta ve Zor Senaryoların Oluşturulması	33
5.5. Araştırma Grubu ve Araştırma Dizaynı.....	37
5.6. Deneysel Çalışmaların Uygulanması	40
5.7. Sınırlılıklar.....	43

6. SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	44
6.1. NASA–TLX Sonuçları	44
6.1.1. Deneyimin etkisi için analiz ve bulgular.....	46
6.1.2. Senaryo zorluk düzeyinin etkisi için analiz ve bulgular	48
6.2. Performans Skoru Sonuçları.....	51
6.2.1. Deneyimin etkisi için analiz ve bulgular.....	53
6.2.2. Senaryo zorluk düzeyinin etkisi için analiz ve bulgular	54
6.3. fNIRS Sonuçları	57
6.3.1. Deneyimin etkisi için analiz ve bulgular.....	59
6.3.2. Senaryo zorluk düzeyinin etkisi için analiz ve bulgular	62
7. GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER	66
KAYNAKÇA.....	69
EKLER	
ÖZGEÇMİŞ	

TABLÖLAR DİZİNİ

Sayfa

Tablo 4.1. NASA–TLX alt ölçütlerinin tanımları	18
Tablo 4.2. NASA–TLX ağırlıklandırma ölçeği	20
Tablo 5.1. Kabiliyetlerin ağırlıklandırılması için kullanılan sözel terimler ve YBS değerleri	26
Tablo 5.2. Karar vericilerin görüşlerinin önem ağırlıklarının belirlenmesinde kullanılan YBS değerleri.....	26
Tablo 5.3. Temel Pratik Eğitim Kayıt Defteri’nde yer alan kabiliyetler	28
Tablo 5.4. Karar vericilerin sosyo-demografik özellikleri.....	29
Tablo 5.5. Karar vericilerin görüşlerinin önem ağırlığı	29
Tablo 5.6. Kabiliyetlerin zorluk derecesi için her karar vericiye ait değerlendirme matrisleri	30
Tablo 5.7. Kabiliyetlerin zorluk dereceleri	32
Tablo 5.8. K-Ortalamalar Kümeleme sonucuna göre zorluk derecelerinin sınıflandırılması	33
Tablo 5.9. Kolay düzeydeki senaryoyu oluşturan görevler.....	33
Tablo 5.10. Orta düzeydeki senaryoyu oluşturan görevler	35
Tablo 5.11. Zor düzeydeki senaryoyu oluşturan görevler.....	36
Tablo 5.12. Katılımcıların sosyo-demografik özellikleri.....	38
Tablo 6.1. NASA–TLX için altı alt ölçüte ait elde edilen sonuçlar	44
Tablo 6.2. Normallik testi sonuçları.....	46
Tablo 6.3. Grup istatistikleri	47
Tablo 6.4. Levene’s Test ve t-test sonuçları	47
Tablo 6.5. Tecrübesiz grup için ANOVA sonuçları	48
Tablo 6.6. Tecrübesiz grup için Tukey testi sonuçları	49
Tablo 6.7. Tecrübeli grup için ANOVA sonuçları.....	50
Tablo 6.8. Tecrübeli grup için Games-Howell testi sonuçları	50

Tablo 6.9. Tecrübesiz ve tecrübeli grup için ortalama performans skorları	52
Tablo 6.10. Normallik testi sonuçları.....	53
Tablo 6.11. Mann-Whitney U testi sonuçları.....	53
Tablo 6.12. Tecrübesiz grup için Kruskal-Wallis H test sonuçları	54
Tablo 6.13. Tecrübesiz grup için Kruskal-Wallis H hipotez testi sonuçları	55
Tablo 6.14. Tecrübeli grup için Kruskal-Wallis H test sonuçları	55
Tablo 6.15. Tecrübeli grup için Kruskal-Wallis H hipotez testi sonuçları	56
Tablo 6.16. Normallik testi sonuçları.....	59
Tablo 6.17. Grup istatistikleri	59
Tablo 6.18. Levene's Test ve t-test sonuçları (HbO ₂).....	60
Tablo 6.19. Levene's Test ve t-test sonuçları (HbR)	60
Tablo 6.20. Levene's Test ve t-test sonuçları (HbT)	60
Tablo 6.21. Tecrübesiz grup için ANOVA sonuçları (HbO ₂).....	62
Tablo 6.22. Tecrübesiz grup için ANOVA sonuçları (HbR)	62
Tablo 6.23. Tecrübesiz grup için ANOVA sonuçları (HbT)	62
Tablo 6.24. Tecrübesiz grup için Tukey testi sonuçları (HbO ₂)	63
Tablo 6.25. Tecrübesiz grup için Tukey testi sonuçları (HbT)	63
Tablo 6.26. Tecrübeli grup için ANOVA sonuçları (HbO ₂).....	63
Tablo 6.27. Tecrübeli grup için ANOVA sonuçları (HbR)	64
Tablo 6.28. Tecrübeli grup için ANOVA sonuçları (HbT).....	64
Tablo 6.29. Tecrübeli grup için Tukey testi sonuçları (HbO ₂)	64
Tablo 6.30. Tecrübeli grup için Tukey testi sonuçları (HbR)	64

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 1.1. Ticari havacılık için küresel boyutta ihtiyaç duyulan insan sayısı	2
Şekil 1.2. Havacılık kazalarının sebeplerinin geçmişten günümüze değişimi	4
Şekil 1.3. Hava aracı bakım teknisyenlerinde meydana gelen zihinsel iş yüküne etki eden faktörler.....	5
Şekil 3.1. fNIRS cihazı için ışık kaynağı, ışık detektörü ve kanal konfigürasyonu	12
Şekil 3.2. Elektromanyetik spektrum üzerinde kızılötesi ışınların gösterimi.....	13
Şekil 3.3. fNIRS yönteminde HbO ₂ ve HbR absorpsiyon spektrumları.....	14
Şekil 3.4. Hemogloblin konsantrasyonlarının emilme ve saçılma yöntemiyle elde edilmesi	14
Şekil 4.1. NASA–TLX yöntemindeki altı alt ölçütün gruplandırılması.....	17
Şekil 4.2. NASA iş yükü indeksi için oranlama skalası	19
Şekil 5.1. Yamuk bulanık sayı için grafiksel gösterim.....	23
Şekil 5.2. Bakım görevlerinin gerçekleştirildiği SOCATA TB-9 uçağı.....	34
Şekil 5.3. Anahtar takımlarının inç ölçü sistemine göre sıralanması	34
Şekil 5.4. Pervane civatası için torklama ve emniyet teli yapılması	35
Şekil 5.5. Zor düzeydeki senaryo için kullanılan föy örneği.....	37
Şekil 5.6. Çalışmada kullanılan fNIRS cihazının bileşenleri	39
Şekil 5.7. Deneysel çalışmalarda kullanılan el aletleri.....	41
Şekil 5.8. Verilerin elde edilmesinde kullanılan yöntemler	42
Şekil 5.9. Katılımcıların deneysel çalışmalar esnasında çekilen fotoğrafları.....	42
Şekil 6.1. Tecrübesiz grup için senaryo zorluk düzeyleri ortalamaları grafiği.....	49
Şekil 6.2. Tecrübeli grup için senaryo zorluk düzeyleri ortalamaları grafiği.....	50
Şekil 6.3. Tecrübesiz grup için senaryo zorluk düzeylerinin ikili karşılaştırmaları	55
Şekil 6.4. Tecrübeli grup için senaryo zorluk düzeylerinin ikili karşılaştırmaları	56
Şekil 6.5. Seçilen örnek çalışmada fNIRS verilerine filtreleme işleminin uygulanması	58

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

v_k	: Karar Vericilerin Görüşlerinin Önem Dereceleri
$\tilde{M}$	: Bulanık Küme
$\tilde{N}$	: Bulanık Küme
$\mu_{\tilde{N}}$	: Üyelik Derecesi
$\sim$	: Bulanıklık
$<$	: Küçüktür
$=$	: Eşittir
$>$	: Büyüktür
$\forall$	: Her
$\in$	: Elemanıdır
$\notin$	: Elemanı Değildir
$\prod$	: Çarpım
$\neq$	: Eşit Değildir
$\mathbb{R}$	: Gerçek Sayılar
λ	: Skaler Sayı
AMM	: Uçak Bakım Manueli
COBI	: Bilişsel Optik Beyin Görüntüleme
ÇD	: Çok Düşük
ÇY	: Çok Yüksek
D	: Düşük
EASA	: Avrupa Havacılık Emniyeti Ajansı
EEG	: Elektroensefalografi
EL	: Efor Seviyesi
EUROCONTROL	: Avrupa Hava Seyrüsefer Emniyeti Teşkilatı
FAA	: Federal Havacılık İdaresi
FL	: Rahatsızlık Seviyesi
fMRI	: Fonksiyonel Manyetik Rezonans Görüntüleme
fNIRS	: Fonksiyonel Yakın Kızılötesi Spektroskopisi
HbO ₂	: Oksihemoglobin

HbR	: Deoksihemoglobin
HbT	: Toplam Hemoglobin
ICAO	: Uluslararası Sivil Havacılık Teşkilatı
IPC	: Parça Kataloğu
K1 - K17	: Kabiliyet 1 - Kabiliyet 17
KV	: Karar Verici
MD	: Zihinsel Talep
n	: Karar Verici Sayısı
N	: Evrensel Kümenin Alt Kümelerinden Biri
NASA-TLX	: NASA İş Yüğü İndeksi
nm	: Nanometre
O	: Orta
p	: Anlamlılık Seviyesi
PD	: Fiziksel Talep
PL	: Performans Seviyesi
PWT	: İkili Karşılaştırma Tekniğı
sd	: Serbestlik Derecesi
SHY-147	: Hava Aracı Bakım Eğitimi Kuruluşları Yönetmeliğı
SHY-66	: Hava Aracı Bakım Personeli Lisans Yönetmeliğı
TD	: Zamansal Talep
ÜBS	: Üçgen Bulanık Sayı
X	: Evrensel Küme
x	: Tek Bir Eleman
Y	: Yüksek
YBS	: Yamuk Bulanık Sayı
YBS_AGO	: Yamuk Bulanık Sayı Ağırlıklandırılmış Geometrik Ortalama

1. GİRİŞ

Geleceğimizin saklı olduğu gökyüzünde hava araçları her gün milyonlarca insana hizmet verirken, emniyetli uçuşların gerçekleştirilmesinde hava aracı bakım teknisyenlerinin önemi büyüktür.

Emniyetli uçuş koşullarının sağlanması, hava aracı yapı ve sistemlerinin bakım süreçlerinin hatasız gerçekleştirilmesini gerektirmektedir. Bu bağlamda, bakım teknisyenlerinin alanında uzman, teorik ve pratik bilgilerle donanmış, kalifiye ve tecrübeli olması beklenmektedir. Çünkü uçuş emniyetini hava aracı operasyonu ve bakımı açısından en üst düzeye çıkartmak, teknik nedenli gecikme ve aksaklıkları en aza indirmek doğrudan doğruya insan faktörleri ile ilişkilendirilmektedir.

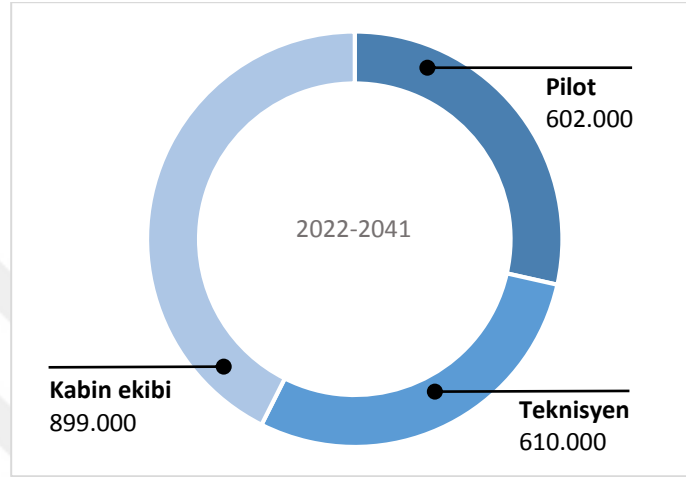
21. yüzyılda havacılık alanında küresel boyutta meydana gelen değişim ve gelişmeler sonucunda, hava trafiğinde muazzam bir artış yaşanmış olup, bu artışın yüksek bir ivmeyle devam edeceği öngörülmektedir. Ülkemizin de üyesi olduğu Avrupa Hava Seyrüsefer Emniyeti Teşkilatı (EUROCONTROL) tarafından yayımlanan raporda Avrupa kıtasındaki hava trafiğinin 2040 yılında, 2017 yılına kıyasla %50'den fazla artarak 16,2 milyon uçuşa ulaşacağı tahmin edilmiştir (EUROCONTROL, 2018). Pandemi sürecinin havacılık sektörüne etkileri göz önünde tutularak hazırlanan raporda ise 2022-2028 yılları için çalışmalar yürütülmüş ve 2028 yılında 13 milyon uçuşun olacağı öngörülmüştür (EUROCONTROL, 2022).

Amerika Birleşik Devletleri Ulaştırma Bakanlığına bağlı Federal Havacılık İdaresi (FAA) tarafından yayımlanan raporda, yirmi beş merkezden alınan hava trafiği verilerine göre 2022 yılında 41,4 milyon uçuş gerçekleşmiş olup, 2022-2050 yılları arasında hava trafiğindeki artışın devam edeceği ve 2050 yılında 74,4 milyon uçuşa ulaşacağı tahmin edilmektedir (FAA, 2023).

Uçuş sayılarında meydana gelecek artışa paralel olarak, küresel uçak filosunda da bir artış yaşanması beklenmektedir. Airbus (2022) Küresel Pazar Tahmini 2022-2041 raporunda, 39.490 yeni teslimatın yapılacağı ve 2041 yılı itibariyle yeni nesil yolcu uçaklarının filonun %95'inden fazlasını oluşturacağı sunulmuştur. Ayrıca önümüzdeki yirmi yıl boyunca işgücü için, %32'si teknisyen olmak üzere iki milyondan fazla yeni insana ihtiyaç olduğundan bahsedilmiştir.

Boeing (2022a) tarafından yayımlanan raporda ise, 2019 yılında filodaki uçak sayısının 23.880 olduğu, bu sayının 2041 yılı itibariyle 43.470 uçağa ulaşacağı sunulmuştur. Bununla birlikte, 2022-2041 yılları boyunca küresel boyutta ticari

havacılık filosu için 602.000 yeni pilota, 610.000 yeni teknisyene ve 899.000 yeni kabin ekibi personeline ihtiyaç duyulacaktır (Boeing, 2022b). Gelecek yıllarda uçuşların sürdürülebilirliği ve bakım süreçlerinin yönetimi için toplamda 2.111.000 insana gereksinim duyulmaktadır ve bu sayının yaklaşık %29'unu teknisyenler oluşturmaktadır (Şekil 1.1).



Şekil 1.1. Ticari havacılık için küresel boyutta ihtiyaç duyulan insan sayısı (Boeing, 2022b)

Hava aracı bakım teknisyenleri, havacılık endüstrisinde çok önemli bir rol oynamaktadır. Hızla gelişen ve büyüyen havacılık sektöründe, hava trafiğinde beklenen bu artışın etkileri uçak bakım onarım alanında da görülecek ve sahada daha yoğun bir iş yükü olacaktır. Dolayısıyla uçakların kapsamlı kontrolleri, bakımı ve uçuşa elverişli hale getirilmesi gibi karmaşık görevlerin yapılabilmesi için bu alanda yetkin, farkındalığı yüksek, tecrübeli ve nitelikli hava aracı bakım teknisyenlerine olan ihtiyaç artacaktır.

Küresel uçak filosuna yeni nesil uçakların eklenmesiyle, hava aracı bakım teknisyenlerinin rolü gelişmeye devam edecektir. Yeni sensörler ve uçuş veri kayıt sistemleri, bakım organizasyonlarına yeni ve tahmine dayalı çözümler uygulamasına olanak tanımaktadır. Endüstri 4.0'ın bir alt kümesi olan Bakım 4.0 hataları tahmin eden, teşhis koyan ve bakım eylemleri oluşturan, kendi kendine öğrenen akıllı sistemleri içermektedir (Martinetti vd., 2020). Bu yenilikler, üretilen bilgileri doğru bir şekilde analiz edebilen, yorumlayabilen ve bunlara göre hareket edebilen teknisyenlere olan talebi de artırmaktadır. Gelecek yıllarda hem geleneksel bakım yöntemlerine hâkim hem de analitik becerileri gelişmiş teknisyenlere ihtiyaç duyulacaktır.

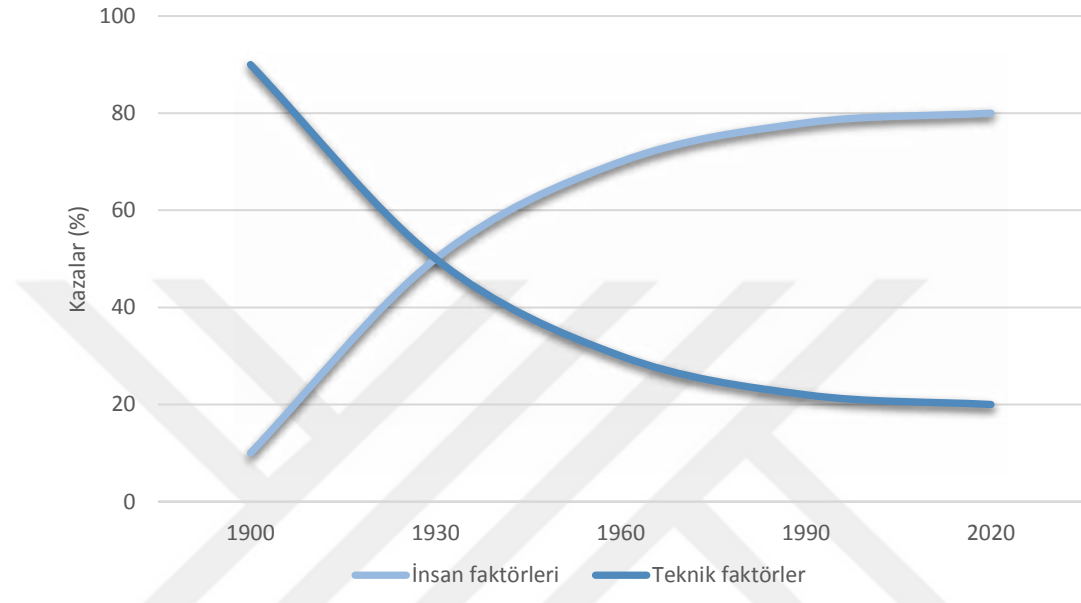
Bu noktada okullarda verilen eğitimin önemi ortaya çıkmaktadır. Öğrencilerin daha hızlı, verimli ve etkili bir şekilde öğrenmelerine yardımcı olacak, dijital teknolojilerle desteklenen, yenilikçi, yapay zekâ, makine öğrenimi ve karma gerçeklik uygulamaları içeren eğitimler daha emniyetli bir havacılık endüstrisinin oluşmasına zemin hazırlayacaktır. Yeni mezun öğrencilerden asgari düzeyde yetkinliğe sahip olmaları beklendiği için bilişsel becerileri yüksek adaylar ön plana çıkacaktır. Havacılık otoriteleri de bir paydaş olarak eğitim dinamiklerindeki bu değişim sürecine destek olmaktadır. Uluslararası Sivil Havacılık Teşkilatı (ICAO) tarafından yürütülen çalışmalarda uçak bakım personeli için yetkinlik temelli eğitim ve değerlendirmelerin yapılmasına rehberlik edilmektedir (ICAO, 2021).

Hava aracı bakım teknisyenleri hava aracı yapıları ve parçaları üzerinde planlı ve/veya plansız bakımları yapan, gerekli kontrol ve testleri gerçekleştiren, arızaları tespit edip düzeltici eylemleri uygulayan, güç sistemleri, mekanik ve elektrik sistemlerini kapsayan hat bakım işlemlerini yapan, onaylayıcı personel olarak sahip olunan tip yetkisi ile bakım çıkış sertifikası düzenleyebilen kişilerdir. Hava aracı bakım teknisyenleri mesleklerini sivil havacılık yönetmeliklerine uygun olarak yapmakla yükümlüdürler. Hava araçlarının uçuşa elverişliliğini sağlamak üzere bakım, tamir, revizyon, kontrol ve servis işlemlerinin yapılabilmesi için SHY-66 Hava Aracı Bakım Personeli Lisans Yönetmeliği'ne uygun olarak alınmış, geçerli bir hava aracı bakım personeli lisansına sahip olunması gereklidir (SHGM, 2022). Hava aracı bakım teknisyeninin temel görevi, uçuşa elverişliliği tehdit edebilecek kritik problemleri değerlendirmek ve kategorize etmek; hava aracının operasyonlarına devam edebilmesi için uygun bakımı yapmaktır (Pettersen ve Aase, 2008).

Tasarım ve üretim teknolojisinin gelişmesiyle birlikte, meydana gelen havacılık kazalarında azalma olmakla beraber, kazaların kök sebebi incelendiğinde teknik faktörlerden kaynaklı kazaların oranı düşmesine rağmen insan faktörleri kaynaklı kazaların oranında artış yaşandığı görülmektedir (Santos ve Melicio, 2019; Madeira vd., 2021). Havacılık kazalarının sebeplerinin geçmişten günümüze değişimi, Madeira vd., (2021) tarafından yapılan çalışmadan uyarlanarak çizilen, Şekil 1.2'de gösterilmiştir. Şekil 1.2 incelendiğinde, insan faktörleri kaynaklı kazaların oranının yaklaşık %80 olduğu görülmektedir.

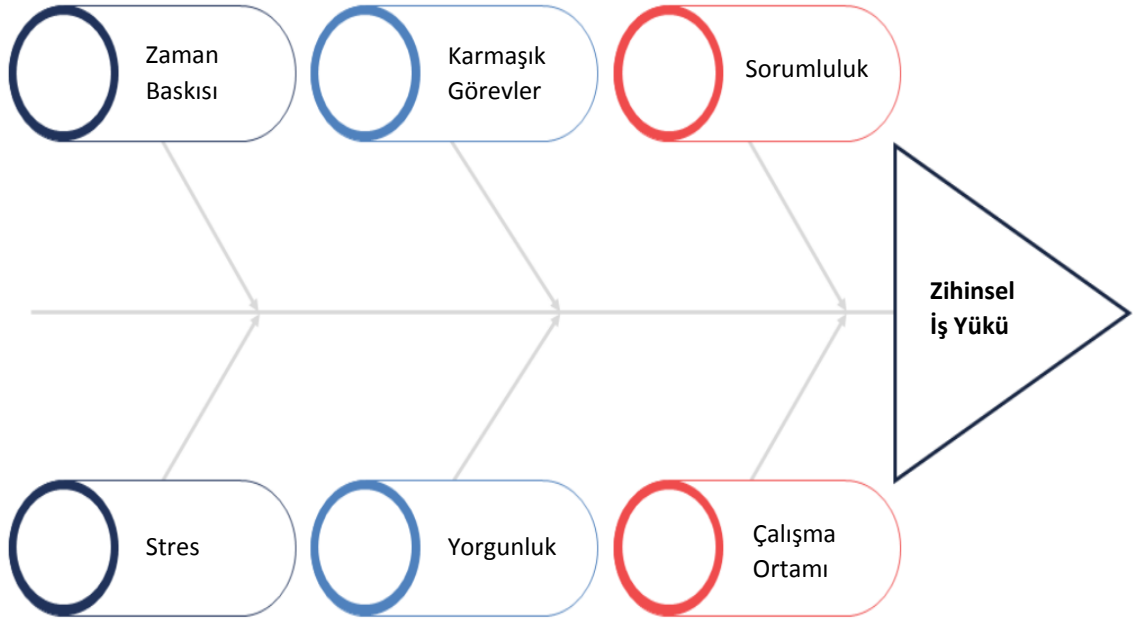
Yaşanan havacılık kazalarını azaltmak için önlemler almak ve havacılık kazalarının nedenlerini insan faktörleri bağlamında araştırmak oldukça değerlidir.

Havacılıkta insan faktörleri alanında yapılan çalışmalar çoğunlukla uçuş personeli ve hava trafik kontrolörleri üzerinde yoğunlaşmıştır, ancak bakım ve kontrol süreçlerinde meydana gelen hatalardaki artış insan faktörleri açısından incelenmeyi gerektirmektedir (Gramopadhye ve Drury, 2000).



Şekil 1.2. Havacılık kazalarının sebeplerinin geçmişten günümüze değişimi (Madeira vd., 2021)

Hatanın kabul edilmediği havacılık sektöründe hava aracı bakım teknisyenleri zaman baskısı altında karmaşık görevleri büyük bir sorumlulukla yürütmekte ve işin doğası gereği stres altında çalışmaktadırlar. Ayrıca içinde bulunulan yoğun çalışma temposu da yorgunluğa neden olmaktadır. Yorgunluk ve stres, teknisyenlerin hata yapma eğilimini artırmaktadır (ICAO, 2003). Çalışılan ortamın sıcak/soğuk ve gürültülü olması ise iş performansına etki etmektedir. Şekil 1.3'te yer alan balık kılçığı diyagramında hava aracı bakım teknisyenlerinde meydana gelen zihinsel iş yüküne etki ettiği düşünülen en temel faktörler gösterilmiştir. Bu faktörler aynı zamanda; uçak bakımında hatalara ve kazalara yol açan, emniyet şartlarını tehlikeye sokan en yaygın on iki sebebin sıralandığı ve günümüzde halen geçerliliğini koruyan Dirty Dozen maddeleriyle de uyusmaktadır (Dupont, 1997).



Şekil 1.3. Hava aracı bakım teknisyenlerinde meydana gelen zihinsel iş yüküne etki eden faktörler

Hava aracı bakım faaliyetleri bütüncül bir sistem olarak düşünülecek olursa, bu sistemin iyileştirilmesi ve emniyet açısından gerekli kısımların revize edilmesi kaçınılmazdır. Stres ve zaman baskısı altında çalışan hava aracı bakım teknisyenlerinin artan görev zorluklarında performanslarının ne şekilde değiştiğini ve zihinsel iş yükünün nasıl etkilendiğini araştırmak tezin motivasyon konusu olmuştur. Bu tez çalışması kapsamında hava aracı bakım teknisyenlerinde meydana gelen zihinsel iş yükünün araştırılmasına yönelik deneysel çalışmalar yürütülmüş olup, elde edilen sonuçlarla bu alanda literatüre öncü olabilecek kıymetli bir katkıda bulunulmuştur.

Tez çalışması yedi bölümden oluşmaktadır. İkinci bölümde zihinsel iş yükü ve zihinsel iş yükü ölçüm yöntemlerine yönelik bir literatür taraması sunulmuştur. Üçüncü ve dördüncü bölümlerde sırasıyla, deneysel çalışmalarda kullanılan Fonksiyonel Yakın Kızılötesi Spektroskopisi (fNIRS) ve NASA İş Yüğü İndeksi (NASA-TLX) yöntemleri açıklanmıştır. Beşinci bölümde deneysel çalışmaların metodolojisi yer almaktadır. Altıncı bölümde deneysel çalışmalardan elde edilen bulgular (sonuçlar) ve tartışmaya yer verilmiştir. Son olarak yedinci bölümde genel sonuçlar ve öneriler sunulmuştur.

1.1. Tezin Amacı

Bu araştırmanın amacı, tecrübeli ve tecrübesiz hava aracı bakım teknisyenlerinin farklı zorluk düzeyindeki (kolay, orta, zor) bakım görevlerini gerçekleştirirken ortaya çıkan zihinsel iş yüklerinin karşılaştırılarak incelenmesidir. Deneysel çalışmalarda

gerçekleştirilen görevlerde SHY-147 (Hava Aracı Bakım Eğitimi Kuruluşları Yönetmeliği) onaylı bir Temel Eğitim Kuruluşu'nda verilen Temel Pratik Eğitim içeriğinde yer alan, emniyetli ve doğru bir şekilde uçak bakımı yapabilmek için gerekli nitelikleri ifade eden kabiliyetlerin değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

Bu amaç doğrultusunda farklı zorluk düzeyinde hazırlan senaryolarda, zihinsel iş yüklerindeki değişimin objektif ve subjektif ölçüm yöntemleri kullanılarak değerlendirilmesi ve çok boyutlu analizinin yapılması hedeflenmiştir. Ayrıca gerçekleştirilen görevlerin kıdemli bir eğitmen tarafından değerlendirilmesi ve katılımcıların performans skorlarının ölçülmesi amaçlanmıştır.

Bunların yanı sıra, hava aracı bakım teknisyenlerinin maruz kaldıkları zihinsel iş yükü hakkında bir farkındalık oluşturmak, havacılık emniyeti açısından teknisyenlerin çalışma koşullarının daha iyi anlaşılması ve iyileştirilmesi konusunda yapılacak çalışmalara rehber olabilmek, bu alanın paydaşları olan karar vericilere, havacılık otoritelerine ve eğitim kurumlarına bir geri bildirimde bulunmak amaçlanmıştır.

1.2. Tezin Önemi ve Özgün Değeri

Zihinsel faaliyetlerin yürütüldüğü birim beyindir. Dolayısıyla zihinsel iş yükü ölçümü yapabilmek adına beynin incelenmesi neticesinde alınan sonuçlar oldukça değerli veriler olup, gerçek çalışma koşullarının optimize edilmesine katkı sunmaktadır.

Yapılan literatür incelemesi sonrasında, hava aracı bakım teknisyenlerinin zihinsel iş yükünün değerlendirilmesi konusundaki çalışmaların yetersiz olduğu, çalışmaların özellikle pilotlar ve hava trafik kontrolörleri üzerinde yoğunlaştığı görülmüştür.

Bu tez çalışması hava aracı bakım teknisyenlerinde meydana gelen zihinsel iş yükünün ölçülmesinde hem objektif (fNIRS) hem subjektif (NASA-TLX) yöntemlerin kullanılması, deneysel çalışmalarda yürütülen senaryoların bulanık mantık kullanılarak hazırlanması, otuz katılımcıdan üç farklı zorluk düzeyindeki senaryolara ait doksan veri seti içinde on binlerce verinin elde edilmesi yönleriyle literatürdeki ilk kapsamlı çalışmadır.

1.3. Tezin Ekonomik ve Sosyal Katkıları

Uçuş emniyetinin, güvenilirliğin, kalitenin artırılması ve havacılıkta yaşanan kazaların önüne geçilmesi insan kaynaklı hataların en aza indirilmesi ile mümkündür.

Bu kapsamda, hatalara yol açan insan faktörlerinin zihinsel iş yükü bağlamında ele alınması sürece ışık tutacaktır.

Hava aracı bakım sürecinin merkezindeki teknisyenlerin zihinsel iş yüküne etki eden faktörlerin analizi ve düzeltici eylemlerin uygulanmasıyla olası hataların önüne geçilmesi, bakım sürelerinin ve bakım maliyetlerinin azaltılarak ekonomik çıktı yaratılması mümkün olabilecektir.

Artan uçuş sayıları ve küresel uçak filosuna yeni uçakların eklenmesi, iş gücüne duyulan talebi de artıracak olup; zihinsel iş yükü gözetilerek iş gücünün daha verimli kullanılması, havacılık ekosistemi kaynaklı çevre kirliliğinin azaltılması ve sürdürülebilir bir gelecek için dolaylı yoldan katkı sunacaktır.



2. LİTERATÜR TARAMASI

İş yükü, belirli bir görevi tamamlamak için gereken bilişsel kaynakları ifade etmektedir (Wickens, 2002). İş yükü, fiziksel veya zihinsel olarak ya da aynı anda bu fonksiyonların kullanılmasıyla ortaya çıkabilmektedir. Bu tez çalışması kapsamında iş yükünün zihinsel etkisine odaklanılmıştır. Çok boyutlu ve çok yönlü zihinsel iş yükü kavramının evrensel olarak kabul görmüş bir tanımı yoktur. Zihinsel iş yükü, bir dizi eşzamanlı görevi gerçekleştirmek için gereken zihinsel kaynak miktarını yansıtır ve bir görevin bilişsel talebi olarak tanımlanabilir (Miyake, 2001; Hoedemaeker, 2002). 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. Algısal-bilişsel aktivite beyin anatomisi ile ilişkilidir (Wickens, 2008). Bu bağlamda bireyin bilişsel düzeyi ve zihinsel iş yükünün oluşması arasında bir etkileşim söz konusudur.

İş yükünde meydana gelen artış daha fazla zihinsel yüke yol açabileceği için özellikle dikkat, durumsal farkındalık, muhakeme ve iletişim eksikliği nedeniyle insan hatası oluşma riski de artacaktır. Hava aracı bakım teknisyenleri stres ve zaman baskısı altında kritik kararlar aldıklarında bilişsel olarak zorlanmaktadır. Bu durum bireysel düzeyde algı karmaşıklığına ve görev performansının düşmesine yol açmakta, sonuç olarak kişiyi hataya sevk etmektedir. Karmaşık sistemler üzerinde yüksek bilişsel beceri gerektiren faaliyetlerde bulunan hava aracı bakım teknisyenlerinin maruz kaldıkları iş yükünün doğru yönetilmesi havacılık emniyetinin sağlanması için bir gerekliliktir.

Zihinsel iş yükünün değerlendirilmesinde kullanılan doğrudan bir metot yoktur, bunun yerine bazı ölçüm teknikleri geliştirilmiştir. Subjektif ölçüm, performans ölçümü ve fizyolojik ölçüm zihinsel iş yükü ölçümünün başlıca yöntemleridir (Vidulich ve Tsang, 2012; Radüntz, 2017; Stanton vd., 2017). Zihinsel iş yükünün değerlendirmesinde her bir yöntemin sınırlamalara sahip olmasından dolayı, son yıllarda zihinsel iş yükünü eş zamanlı olarak ölçmek için bu üç yöntem önerilmektedir. Tez çalışması kapsamında hava aracı bakım teknisyenlerinin zihinsel iş yükünün değerlendirilmesinde bu üç yöntem de kullanılmıştır.

Maruz kalınan iş yükünün subjektif olarak ölçülmesinde birçok farklı yöntemin kullanıldığı görülmektedir (Cain, 2007; Funke vd., 2013; Chenani ve Madadizadeh, 2020). Bu yöntemlerden NASA İş Yükü İndeksi, özellikle havacılık alanında sıklıkla kullanılan, Hart ve Staveland (1988) tarafından geliştirilmiş bir iş yükü ölçüm

teknikiğidir. Tez çalışmasında subjektif ölçüm yöntemi olarak seçilen NASA İş Yüğü İndeksi, dördüncü bölümde detaylıca açıklanmıştır. Kişinin kendi kendini değerlendirmesine dayalı olan bu yöntemde çok boyutlu ölçüm yapılabilmekte ve yöntemin alt ölçütlerinden birisini zihinsel talep oluşturmaktadır.

Performans temelli ölçeklerde, bireysel performans ölçümünde görevlere ilişkin nesnel kriterlerin kullanımına odaklanılmaktadır. Verilen görevin ne kadar sürede tamamlandığı, yapılan hata sayısı, görevlere tepki verme süresi gibi kriterler değerlendirilmektedir (Vidulich ve Tsang, 2012; Marinescu vd., 2016; Liu vd., 2020).

Zihinsel iş yükü, çeşitli fizyolojik veriler kullanılarak karakterize edilmektedir. En yaygın fizyolojik ölçümler şu şekilde sıralanabilir (Tinga, de Back ve Louwerse, 2019; Butmee, Lansdown ve Walker, 2019; Charles ve Nixon, 2019):

- Kardiyovasküler ölçümler (örneğin kalp atım hızı, kalp atım hızı değişkenliği)
- Oküler ölçümler (örneğin gözbebeği genişlemesi, göz hareketi ölçümleri)
- Beyin aktivitesi ölçümleri
- Deri iletkenliği ölçümü
- Kan basıncı ölçümü
- Solunum ölçümü

Bu tez çalışmasında fizyolojik ölçümlerden, beyin aktivitesi ölçümlerine odaklanılmıştır. Çünkü beyin aktivitesi zihinsel iş yükünü doğrudan yansıtabilir, beyin ölçümleri görev taleplerine karşı duyarlıdır ve gelişmekte olan nöroergonomi alanındaki uygulamalarda öne çıkmaktadır (Parasuraman ve Rizzo, 2007; Vidulich ve Tsang, 2012). İnsan beyni, bilginin işlenmesi, karar verme ve eyleme geçmeden sorumlu olup, görev esnasında kritik kararların alındığı havacılık alanında beyin aktiviteleri ve zihinsel iş yükü arasındaki etkileşimi anlamlandırabilmek oldukça önemlidir.

Beyin aktivitesi ölçümlerinde yüksek zamansal çözünürlüğe sahip elektroensefalografi (EEG) ve fNIRS yöntemleri öne çıkmaktadır. fNIRS yönteminde uzamsal çözünürlük EEG yöntemine göre daha iyi sonuç vermektedir (Li vd., 2022). Alternatif bir beyin görüntüleme yöntemi olan fonksiyonel manyetik rezonans görüntüleme (fMRI) laboratuvar ortamları için yararlı olabilir, ancak düşük zamansal çözünürlük ve taşınabilir olmama gibi özelliklere sahiptir (van Weelden vd., 2022).

Havacılık alanında güncel çoğu çalışmada EEG yönteminin kullanıldığı görülmektedir (Trapsilawati vd., 2019; Dehais vd., 2019; Bernhardt vd., 2019; Rice vd., 2019; Klaproth vd., 2020; Binias vd., 2020; Feltman, Bernhardt ve Kelley, 2021; Gorji

vd., 2023; Kouba vd., 2023; Li vd., 2023). Elektroensefalografik ölçümler, doğrudan kafa derisi üzerine yerleştirilen yüzey elektrotlarından kaydedilir ve görev taleplerindeki anlık değişikliklere duyarlıdır. Havacılık araştırmalarında nörofizyolojiyi inceleyen çoğu çalışmada EEG kullanılmış olsa da, fNIRS çalışmaları bu alanda nispeten yenidir. fNIRS yönteminde EEG'ye benzer şekilde anlık ölçüm yapılabilmekte olup, beyindeki hemodinamik yanıtların non-invaziv incelenmesi için kafa derisine nüfuz edebilen farklı dalga boylarına sahip ışınlar kullanılmaktadır. Bu tez çalışması kapsamında beyin aktivitesi ölçümleri için fNIRS yöntemi seçilmiştir.

Serebral kan akışı ölçümleri, zihinsel süreçlerle ilişkili nöronal aktivitenin, beynin kan akışı tepkilerinin ölçülerek değerlendirilebileceği ilkesine dayanır (Kramer ve Parasuraman, 2007). Beynin ön bölümünde yer alan prefrontal korteks, bilişsel işlemlerin nörofizyolojik kaynağı olan ve kontrol işlevini yürüten bir beyin yapısı olup; fNIRS genellikle beyindeki prefrontal korteksin oksijenlenmesini ölçmek için kullanılmıştır ve yapılan çalışmalarda yüksek düzeyde bilişsel talep sırasında bu yapının etkinleştiği görülmüştür (Kikukawa, Kobayashi ve Miyamoto, 2008; Ayaz vd., 2010; Ayaz vd., 2012; Ayaz vd., 2013; Durantin vd., 2014; Harrison vd., 2014; Gateau vd., 2015; Durantin vd., 2016; Causse vd., 2017; Gateau, Ayaz ve Dehais, 2018; Verdière, Roy ve Dehais, 2018; Dehais vd., 2018; Ayaz ve Dehais, 2019; Causse, Chua ve Rémy, 2019; Sun vd., 2019; Dehais, Karwowski ve Ayaz, 2020; Li vd., 2021; Çakır, 2021; Tang vd., 2022). Yapılan çalışmalarda, görev zorluğundaki artışın uçak sayılarındaki artış ile ya da görevin kontrol zorluğundaki artış ile sağlandığı görülmüş olup, sonuçların istatistiksel analizinde görev zorluğunda meydana gelen artış sonrasında oksijenizasyon değişikliğinin daha yüksek ölçüldüğü belirtilmiştir. Yapılan çalışmalar değerlendirildiğinde; fNIRS yönteminin gerek askeri gerek sivil havacılıkta uygulandığı, çalışma grubu olarak pilotlar, hava trafik kontrolörleri ve insansız hava aracı operatörlerinin seçildiği, laboratuvar, simüle edilmiş ortamlar ya da gerçek çalışma koşullarında uygulamalarının olduğu görülmektedir. Çalışmalardaki ortak bulgular doğrudan beyin temelli yapılan ölçümlerde fizyolojik durumların anlık olarak izlenebildiği, artan iş yükü ve yüksek zihinsel çaba gerektiren durumlarda prefrontal kortekste oksihemoglobin (HbO₂) miktarında artış deoksihemoglobin (HbR) miktarında azalma olduğu, fNIRS cihazının karmaşık insan-makine ara yüz sistemlerinin tasarlanmasında ve geliştirilmesinde kullanılabileceği yönündedir.

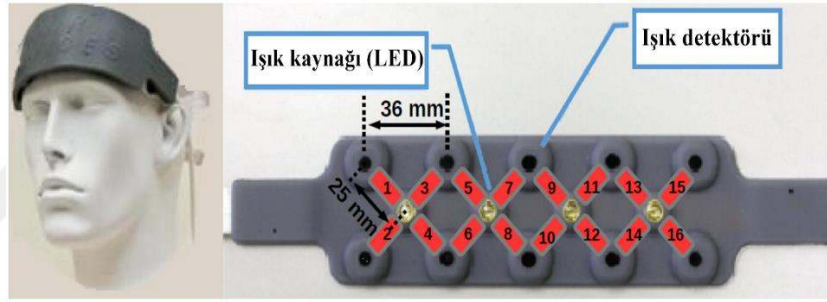
Havacılık çalışmalarında kullanılan fNIRS güvenli, taşınabilir, sessiz, kullanıcı dostu olması; hızlı uygulama süresi ve sıfıra yakın çalışma süresi maliyetleri; giyilebilir olmasından dolayı gerçek ortamlarda ölçüm yapılabilmesi; uzun süreli sürekli ölçüme uygun olması ve tüm yaş gruplarına uygulanabilmesi yönleriyle zihinsel iş yükünün ölçülmesinde ne çıkan bir yöntemdir.

Havacılığa bilişsel ve nroabilimsel yaklaşımın son yıllarda artmış olduğu görülmekte olup, gelecekte de insan performansı, eğitim ve emniyet ile ilgili birçok önemli bulguya sahip olan havacılıkta nrofizyolojinin, nroabilim ve ergonomi içinde ayrı bir alan olarak ele alınacağı tahmin edilmektedir. İnsan faktörleri bağlamında zihinsel iş yükü ölçümü ve nörofizyolojik araştırmalar kapsamında fNIRS çalışmaları açısından literatüre eleştirel bir bakış açısıyla bakıldığında, çalışmaların pilotlar ve hava trafik kontrolörleri üzerinde yoğunlaştığı, hava aracı bakım teknisyenlerinin zihinsel iş yükünün araştırılması konusunda literatürde bir boşluk olduğu görülmektedir.

3. FONKSİYONEL YAKIN KIZILÖTESİ SPEKTROSKOPİSİ (fNIRS)

Bu bölümde, tez çalışması kapsamında gerçekleştirilen senaryolardaki zihinsel iş yükünün tespit edilmesinde beyin aktivitesi ölçümleri için kullanılan fNIRS yöntemi hakkında bilgi verilmiştir.

Çalışmada kullanılan fNIRS yöntemi, çeşitli disiplinlerde zihinsel iş yükünün tespit edilmesinde beyin aktivitelerinin ölçülmesine olanak sunan, katılımcıya hiçbir zarar ve acı vermeyen, non-invaziv bir görüntüleme yöntemidir. Bu görüntüleme yönteminde alın bölgesine yerleştirilen esnek bir sensör yardımıyla beynin ön kısmındaki kan akışında meydana gelen değişiklikler ölçülür. fNIRS yönteminde kullanılan 16 kanala, 4 ışık kaynağına ve 10 ışık detektörüne sahip esneyebilir sensör, Durantin vd., (2016) tarafından yapılan çalışmadan uyarlanarak çizilen, Şekil 3.1’de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. fNIRS cihazı için ışık kaynağı, ışık detektörü ve kanal konfigürasyonu (Durantin vd., 2016)

fNIRS görüntüleme yönteminde, kullanılan dalga boylarıyla elde edilen iki analog veri vardır. Bunlar, oksijen taşıyan hücreler olan hemoglobinlerin oksijenlenmiş formu olan oksihemoglobin (HbO_2) ve oksijeni bırakmış formu olan deoksihemoglobindir (HbR). Toplam hemoglobin (HbT) ise ikisinin toplamından elde edilmektedir. fNIRS yönteminde, alın bölgesinde kafa derisine yerleştirilen yakın kızılötesi dedektörler kullanılarak serebral kan akışındaki değişikliklerin, oksihemoglobin/deoksihemoglobin konsantrasyonlarının ölçülebildiği ve artan bellek yüküyle oksihemoglobin konsantrasyonlarının arttığı gösterilmiştir (Ayaz vd., 2012).

fNIRS yöntemi, hemodinamik değişikliklerin birer göstergesi olan HbO_2 ve HbR ile nöral aktivite arasındaki doğal ilişki nedeniyle beyindeki fonksiyonel aktivasyonu incelemek için oldukça faydalı bir yöntemdir (Ferrari ve Quaresima, 2012). Beynin herhangi bir bölgesinde nöronlar aktifleştigi zaman, glikoz ve oksijen için metabolik talep artmakta ve bu durum beyin kan akışında aşırı talebe yol açmaktadır. Nöronlara

gerekli enerjinin sağlandığı glikoz metabolizması için gerekli oksijen hemoglobin ile HbO_2 şeklinde birleşerek kanla gerekli bölgeye taşınmaktadır. Zihinsel iş yükünün arttığı durumlarda HbO_2 konsantrasyonundaki artış ve HbR konsantrasyonundaki azalma fNIRS yöntemi ile tespit edilmektedir.

Nörogörüntüleme tekniklerinden biri olan fNIRS yönteminin temelleri Jöbsis (1977) tarafından atılmış ve yakın kızıl ötesi aralıkta beyin dokusunun geçirgen olduğu tespit edilmiştir. Kızılötesi ışınlar üç gruba ayrılmakta ve 700-2500 nanometre (nm) arasındaki bölge yakın kızılötesi, 2500-25000 nm arasındaki bölge orta kızılötesi, 25000-100000 nm arasındaki bölge uzak kızılötesi olarak adlandırılmaktadır (Şekil 3.2). fNIRS cihazında 700-900 nm dalga boyunda, elektromanyetik spektrumda yakın kızılötesi ışın olarak adlandırılan ışınlar kullanılmaktadır.

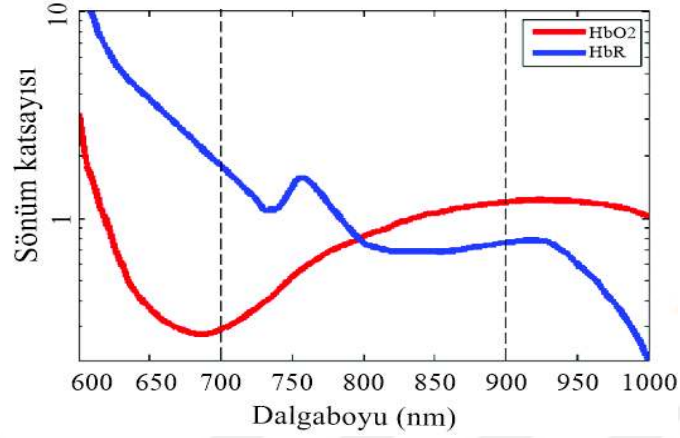


Şekil 3.2. Elektromanyetik spektrum üzerinde kızılötesi ışınların gösterimi

fNIRS yönteminin çalışma prensibinde hemoglobin konsantrasyon değişikliklerini ölçmek amacıyla beyin dokusu içinde dağılan bir ışık modeli gerekmektedir. Modifiye edilmiş Beer Lambert yasası, ışığın soğurulmasını ışığın içinden geçtiği maddenin özelliğine bağlar (Delpy vd., 1988). fNIRS yönteminde hemoglobin konsantrasyonları değişimi bu yasa kullanılarak ölçülmektedir (Izzetoglu vd., 2005; Kocsis, Herman ve Eke, 2006; Ferrari ve Quaresima, 2012).

fNIRS cihazından gönderilen kızılötesi ışınların emilmesi oksihemoglobin ve deoksihemoglobin miktarlarına göre değişiklik göstermektedir. Bu iki molekülün soğurdukları dalga boyları birbirinden farklıdır ve yaklaşık olarak 805 nm izosbestik nokta olarak bulunmuştur (Zhao vd., 2017; Almajidy vd., 2020). Yani karışım oranı değişse bile emilimin sabit kaldığı bu noktada HbO_2 ve HbR aynı soğurma katsayılarına sahiptir. fNIRS yönteminde yakın kızılötesi bölgesinde ölçüm için kullanılan aralık,

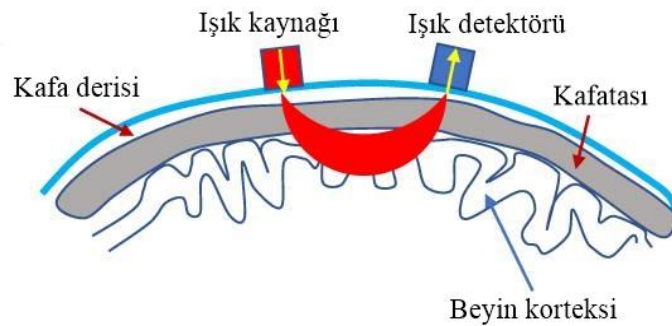
Abtahi vd., (2017) tarafından yapılan çalışmadan uyarlanarak çizilen, Şekil 3.3'te gösterilmiştir.



Şekil 3.3. fNIRS yönteminde HbO₂ ve HbR absorpsiyon spektrumları (Abtahi vd., 2017)

4 adet ışık kaynağından çıkan yakın kızılötesi ışınlar, Şekil 3.4'te gösterildiği gibi muz şekli biçiminde bir yol izleyerek, beynin prefrontal korteks bölgesinden yaklaşık 2,5 cm derinliğe kadar ulaşmakta ve hemoglobinlerdeki oksijenizasyona göre farklı miktarlarda emilmekte olup, saçılan ışık dedektörler aracılığıyla toplanmaktadır (Ferrari, Mottola ve Quaresima, 2004; Scholkmann vd., 2014; Pinti vd., 2020; Li vd., 2022).

Deneysel çalışmalarda yapılan ölçümlerden elde edilen veriler paket programlar yardımıyla analiz edilerek oksijenizasyon ve kanlanma miktarları ölçülmektedir. Kullanılan yazılımlarla beyin aktivitelerinin haritasını çıkarmak da mümkündür (Torricelli vd., 2014).



Şekil 3.4. Hemoglobin konsantrasyonlarının emilme ve saçılma yöntemiyle elde edilmesi (Li vd., 2022)

Havacılık araştırmalarında nispeten yeni bir yöntem olan fNIRS'ın yüksek bilişsel talep gerektiren karmaşık görevleri yerine getiren hava aracı bakım teknisyenlerinin zihinsel iş yükünün ölçülmesinde kullanılması, çalışma koşullarında yorgunluk ve stres altında dinamik zorlamalara maruz kalan teknisyenlerin beyin aktivitelerinin anlaşılmasına yardımcı olacaktır.



4. NASA İŞ YÜKÜ İNDEKSİ (NASA-TLX)

Bu tez çalışmasında hem objektif hem de subjektif yöntemlerin kullanılması ile çalışma içeriğinin zenginleştirilmesi ve elde edilen çıktıların çoğaltılması hedeflenmiştir. Bu bölümde, tez çalışması kapsamında gerçekleştirilen senaryolardaki iş yükünün belirlenmesi için kullanılan NASA-TLX yöntemi hakkında bilgi verilmiştir.

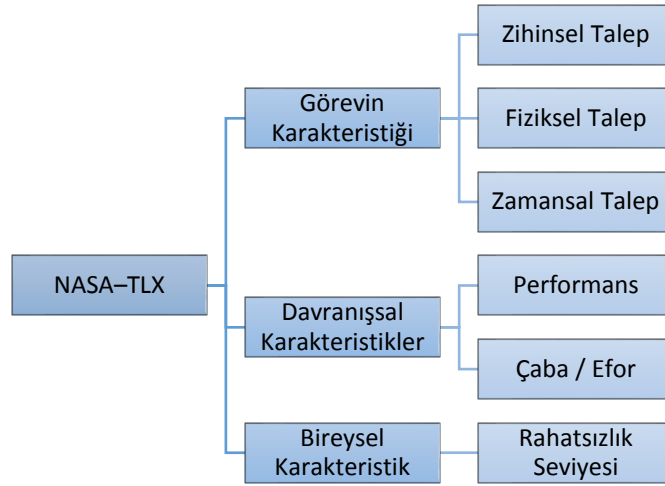
NASA-TLX yöntemi Hart ve Staveland (1988) tarafından geliştirilen bir iş yükü ölçüm tekniğidir. Geçmişten günümüze birçok dile çevirisi yapılan ve muazzam sayıda çalışmada atıf alan bu yöntem, güncel olarak özellikle havacılık alanındaki iş yükü ölçümlerinde kullanılmaktadır (Hart, 2006).

Bu yöntemde genel iş yükü altı farklı alt ölçüt üzerinden değerlendirilip ağırlıklı ortalamaları hesaplanarak bir iş yükü değeri ortaya konmaktadır. Yöntem üç aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamada katılımcılar bir skala üzerinden altı alt ölçütün puanlamasını yapar, ikinci aşamada bu ölçütlerin ikili karşılaştırmaları yapılır ve son aşamada iş yükü hesaplanır. Subjektif bir ölçüm yöntemi olan NASA-TLX, çok boyutlu ölçüm yapılabilmesine imkân tanımaktadır.

NASA-TLX yönteminde kullanılan alt ölçütler şunlardır:

- Zihinsel Talep
- Fiziksel Talep
- Zamansal Talep
- Performans
- Çaba / Efor
- Rahatsızlık Seviyesi

Yöntemin alt ölçütleri arasında fiziksel talep de yer almakla birlikte indeksin fiziksel iş yükünün bir ölçüsü olarak kullanılması amaçlanmamıştır, bunun yerine fiziksel aktivitenin zihinsel iş yükü algısı üzerindeki potansiyel etkisi olarak kabul edilmektedir (DiDomenico ve Nussbaum, 2008). NASA-TLX yöntemindeki altı alt ölçütü üç grupta toplamak mümkündür (Şekil 4.1).



Şekil 4.1. NASA-TLX yöntemindeki altı alt ölçütün gruplandırılması

NASA-TLX yöntemi aralık ölçüt seviyesinde ölçümler yapmaya olanak sağlar. Ağırlıklandırılmış ölçüm yöntemi kullanılması sayesinde hassas olduğu ve kişiler arası değişkenlikten kaynaklanan farklılıkların en aza indirgendiği düşünülmektedir (Hart, 2006). Kullanılan personel ve ekipman açısından oldukça düşük maliyetli olan NASA-TLX yönteminin, yakın geçmişte havacılık alanında çalışma sahaları ve simülatörler gibi farklı çevrelerde gerçekleştirilen uygulamalarından seçilen örnekler (Torres, Nadeau ve Morency, 2016; Mansikka, Virtanen ve Harris, 2019; Sugiharto, 2019; Efthymiou, Fichert ve Lantzs, 2019; Dönmez, Demirel ve Özdemir, 2020; Alaimo vd., 2020; Mohanavelu vd., 2020) incelendiğinde pilotlar, hava trafik kontrolörleri ve bakım teknisyenleri üzerinde araştırmalar yapıldığı görülmektedir.

Yöntemin sınırlılıkları değerlendirilecek olursa, çok fazla boyut değerlendirildiğinden görev esnasında sürekli ölçüm yapmak için ideal bir yöntem değildir. Bu nedenle, tez çalışması kapsamında gerçekleştirilen deneylerde ölçümlerin görev bitiminde alınmasının daha uygun olduğu düşünülmüştür. Katılımcılara sunulan orijinal formun Türkçe çevirisinde çeviriden kaynaklı anlam kayması olabileceğinden test hassasiyetinin düşmemesi için birebir çeviriden ziyade anlam bütünlüğünün korunarak çevrilmesi önem arz etmekte olup, katılımcılara her bir alt ölçütün ne ifade ettiği görev öncesinde açıklanmalıdır. Bu kapsamda, orijinal İngilizce doküman esas alınarak, formda yer alan ifadeler anlam bakımından gözden geçirilmiş ve NASA-TLX yöntemi uygulanmadan önce her bir katılımcı için birebir bilgilendirme yapılarak, dikkat edilmesi gereken noktalar ve gerekli teknik notlar açıklanmıştır. NASA-TLX, nihayetinde subjektif bir yöntem olduğu için katılımcıların bellek ve kendi kendini

analiz yeteneklerine bağlılık vardır. İş yükü oluşturan NASA–TLX alt ölçütlerinin tanımları Tablo 4.1’de sunulmuştur.

Tablo 4.1. NASA–TLX alt ölçütlerinin tanımları

İş Yükü Boyutu	Değerlendirme Ölçeği	Açıklama
Zihinsel Talep	Düşük/Yüksek	Düşünme, karar verme, hesaplama, hatırlatma, bakma, arama gibi unsurlar açısından yaptığınız görev için ne kadar zihinsel ve algısal aktivite gerekiyordu? Görev kolay ve sade mi yoksa zor ve karmaşık mıydı?
Fiziksel Talep	Düşük/Yüksek	İtirme, çekme, çevirme, kontrol etme, çalıştırma gibi unsurlar açısından yaptığınız görev için ne kadar fiziksel aktivite gerekiyordu? Görev kolay, yavaş, gevşek ve sakın mı yoksa zor, hızlı, yorucu ve zahmetli miydi?
Zamansal Talep	Düşük/Yüksek	Görevlerin veya görev öğelerinin gerçekleşme hızı nedeniyle ne kadar zaman baskısı hissettiniz? Görevi yerine getirmek için atılan adımlar yavaş mı yoksa hızlı mıydı?
Performans	İyi/Kötü	Görevin hedeflerini gerçekleştirmede ne kadar başarılı olduğunuzu düşünüyorsunuz? Bu hedefleri gerçekleştirmedeki performansınızdan ne kadar memnun kaldınız?
Çaba/Efor	Düşük/Yüksek	Performans seviyenize ulaşmak için hem zihinsel hem fiziksel olarak ne kadar ağır çalışmak zorunda kaldınız?
Rahatsızlık Seviyesi	Düşük/Yüksek	Görev sırasında kendinizi ne kadar güvensiz, cesareti kırılmış, tedirgin, stresli, sinirli ya da güvenli, tatminkâr, hoşnut, rahat, memnun hissettiniz?

NASA–TLX yöntemi oranlama, ağırlıklandırma ve genel iş yükünü belirleme olmak üzere üç aşamadan oluşmaktadır. Birinci aşama olan oranlama aşamasında altı alt ölçütün yapılan işe etkisi, Şekil 4.2’de gösterilen düşük ve yüksek arasında oluşturulan skala üzerinde işaretlenmektedir. Skala üzerinde 0-100 arasında işaretlenen değerler, ağırlıklandırılmamış iş yükü değerlerini oluşturmaktadır (Byers, Bittner ve Hill, 1989).

Bir sonraki aşama ağırlıklandırma aşaması olup, her bir katılımcı İkili Karşılaştırma Tekniği olarak adlandırılan Pairwise Technique (PWT) ile altı alt ölçütü iş yüküne katkısına göre ağırlıklandırmaktadır. Bunun için altı alt ölçütün önem düzeyi açısından 15 adet ikili karşılaştırması yapılır (Tablo 4.2). Katılımcılar, iş yükü kaynağı olarak hangi ölçütün en önemli olduğunu işaretler ve sonrasında her ölçütün kaç defa seçildiği sayılır. 0 “hiç ilişkisi yok” ve 5 “diğer ölçütlerden çok daha önemli” manasına gelmektedir. Her bir alt ölçüt için, sayım sonunda çıkan değer normalizasyon amacıyla 15’e bölünür ve o ölçüt için ağırlık değeri bulunmuş olur.

Zihinsel Talep	Görev için ne kadar zihinsel ve algısal aktivite (düşünme, karar verme, hesaplama, hatırlatma, bakma, arama vb.) gerekiyordu?
Fiziksel Talep	Görev için ne kadar fiziksel aktivite (ittirme, çekme, çevirme, kontrol etme, çalıştırma vb.) gerekiyordu?
Zamansal Talep	Görevlerin veya görev öğelerinin gerçekleşme hızı nedeniyle ne kadar zaman baskısı hissettiniz?
Performans	Görevin hedeflerini gerçekleştirmede ne kadar başarılı olduğunuzu düşünüyorsunuz?
Çaba/Efor	Performans seviyenize ulaşmak için hem zihinsel hem fiziksel olarak ne kadar ağır çalışmak zorunda kaldınız?
Rahatsızlık Seviyesi	Görev sırasında kendinizi ne kadar güvensiz, cesareti kırılmış, tedirgin, stresli, sinirli ya da güvenli, tatminkâr, hoşnut, rahat, memnun hissettiniz?

Şekil 4.2. NASA iş yükü indeksi için oranlama skalası

Tablo 4.2. NASA–TLX ağırlıklandırma ölçeği

No	Ölçüt-1	Ölçüt-2
1	Çaba/Efor	Performans
2	Zamansal Talep	Rahatsızlık Seviyesi
3	Zamansal Talep	Çaba/Efor
4	Fiziksel Talep	Rahatsızlık Seviyesi
5	Performans	Rahatsızlık Seviyesi
6	Fiziksel Talep	Zamansal Talep
7	Fiziksel Talep	Performans
8	Zamansal Talep	Zihinsel Talep
9	Rahatsızlık Seviyesi	Çaba/Efor
10	Performans	Zihinsel Talep
11	Performans	Zamansal Talep
12	Zihinsel Talep	Çaba/Efor
13	Zihinsel Talep	Fiziksel Talep
14	Çaba/Efor	Fiziksel Talep
15	Rahatsızlık Seviyesi	Zihinsel Talep

En son aşamada, oranlama değerleri ile her alt ölçüt için hesaplanan ağırlık değeri Denklem (4.1) yardımıyla birleştirilerek genel iş yükü indeksi (TLX) elde edilmektedir (Mouzé-Amady vd., 2013).

$$TLX = MD * W_{MD} + PD * W_{PD} + TD * W_{TD} + FL * W_{FL} + EL * W_{EL} + PL * W_{PL} \quad (4.1)$$

Denklem 4.1 için MD, PD, TD, FL, EL ve PL sırasıyla zihinsel talep (mental demand), fiziksel talep (physical demand), zamansal talep (temporal demand), rahatsızlık seviyesi (frustration level), çaba/efor seviyesi (effort level) ve performans seviyesi (performance level) için oranlama değerlerini göstermektedir. W_{xx} ise her bir alt ölçütün ağırlık değeridir.

5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu bölümde öncelikle bulanık küme teorisinden bahsedilmiş ve deneysel çalışmalar için oluşturulan senaryolar sunulmuştur. Daha sonra araştırma grubu ve araştırma dizaynı paylaşılarak deneysel çalışmaların uygulanması süreci açıklanmıştır. Son olarak çalışmanın sınırlılıklarını oluşturan unsurlar paylaşılmıştır.

Deneysel çalışmalar için zorluk düzeyleri kolay, orta ve zor olan senaryolar oluşturulmuştur. Bu senaryoların belirlenmesinde “Temel Pratik Eğitim Kayıt Defteri” referans alınmıştır (http-1). SHY-66 & SHY-147 dayanak alınarak oluşturulan bu kayıt defterinin amacı, SHY-147 onaylı bir Temel Eğitim Kuruluşu’nda verilen Temel Pratik Eğitim içeriğinin temel el becerilerini kazandıracak şekilde oluşturulduğunu belgelemektir. Temel pratik değerlendirme kapsamında belirlenen kabiliyetler, emniyetli ve doğru bir şekilde uçak bakımı yapabilmek için gerekli nitelikleri ifade etmektedir.

Öncelikle Temel Pratik Eğitim Kayıt Defteri içerisinde yer alan A, B1 ve B2 lisans kategorileri için belirlenen 270 adet kabiliyet içerisinde, deneysel çalışmada kullanılacak fNIRS cihazının özellikleri ve kısıtları göz önünde bulundurularak on yedi adet kabiliyet seçilmiştir. Ardından, çalışmada ele alınan kabiliyetler konu hakkında uzman olan 9 adet karar vericiye sunulmuş olup, kabiliyetlerin zorluk derecelerini 5’li ölçek üzerinde değerlendirmeleri istenmiştir. Değerlendirici eğitimler (assessor) tarafından kabiliyetlerin zorluk derecesi sözel terimlerle değerlendirilmiş olup, sonuçlar bulanık küme teorisinden faydalanılarak analiz edilmiştir. Nihai olarak kabiliyetlerin zorluk dereceleri belirlenmiş ve bu zorluk dereceleri çok kolay, kolay, orta, zor ve çok zor şeklinde sınıflandırılmıştır.

Sonrasında ise kabiliyetlerin zorluk dereceleri ve zorluk sınıfları gözetilerek, birden çok bakım görevinin yapılmasını içeren senaryolar kümülatif iş yükü dikkate alınarak oluşturulmuş ve deneysel çalışmalar farklı zorluk düzeyinde (kolay, orta, zor) belirlenmiştir. Kolay senaryodan zor senaryoya doğru hem bakım görevlerinin sayısı hem de bu görevleri oluşturan kabiliyetlerin zorluk dereceleri artmıştır. Ayrıca, farklı zorluk düzeyindeki bu senaryoların gerçekleştirilmesinde katılımcılar için süre kısıtlaması belirlenmiş olup, her bir senaryo 5 dakika ile sınırlandırılmıştır.

5.1. Bulanık Mantık, Bulanık Kümeler ve Bulanık Aritmetik İşlemler

Karar verme süreçlerinde eksik ve kesin olmayan bilginin varlığı, subjektif görüş belirtilmesi, sözel ifadelerin kullanılması, karar vericilerin (KV) bilgi, algı, eğitim düzeyi, deneyim süresi gibi özelliklerinin değişkenlik göstermesi, karar vermede ikilemde kalınması gibi durumlarda belirsizlik ortaya çıkmaktadır. Bulanık sayılar kullanarak bu belirsizlikleri analiz etmek mümkündür. Literatürde belirsizliğin ölçülmesi hakkında farklı yaklaşım ve teoriler yer almakta olup, belirsizliği ölçmek ve modellemek amacıyla Zadeh (1965) tarafından bulanık küme teorisi geliştirilmiştir.

Klasik küme teorisinde bir nesnenin bir kümeye üye olması / üye olmaması söz konusu olup, karakteristik fonksiyonlardan yararlanılarak bu kümeler ifade edilmektedir. Denklem (5.1)'de N kümesinin kendisine ait karakteristik fonksiyonu olan $X_N(x)$ tanımlanmıştır (Klir ve Yuan, 1995).

$$X_N(x) = \begin{cases} 1, & x \in N \\ 0, & x \notin N \end{cases} \quad (5.1)$$

X, N ve x sırasıyla evrensel kümeyi, evrensel kümenin alt kümelerinden birini ve tek bir elemanı ifade etmekte olup, x N kümesine üye olma / üye olmama durumuna göre 1 ya da 0 değerini almaktadır. Kesinlik yaklaşımı içermesinden ötürü belirsizliğin ölçülmesi ve modellenmesi klasik küme teorisinde mümkün değildir.

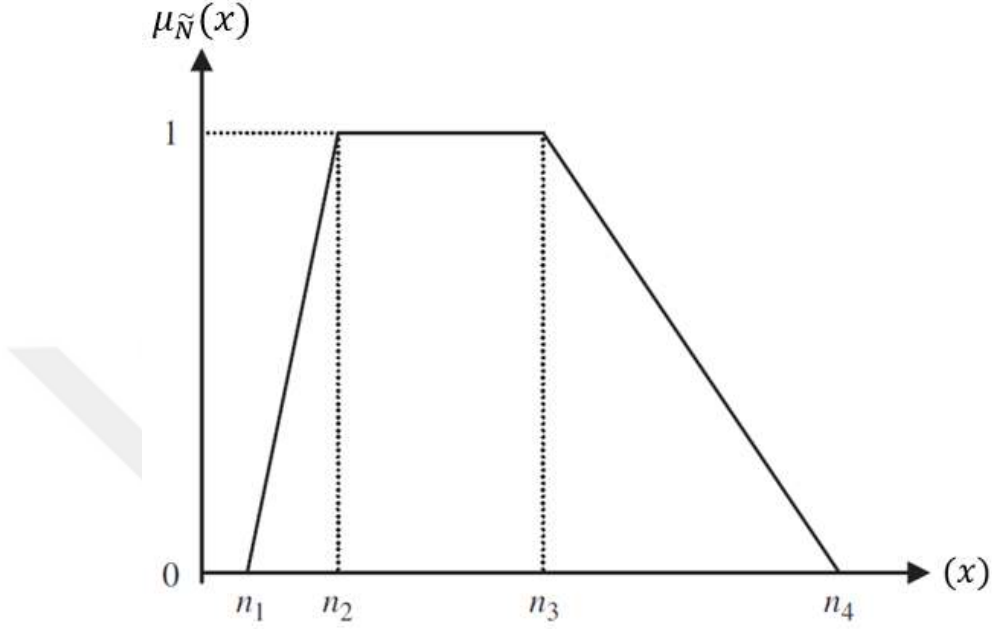
Zadeh'e (1965) göre insan düşüncesi sayısal ifadelerden ziyade sözel ifadeler kullanmaya yatkındır ve bulanık küme teorisinde bir elemanın [0, 1] aralığında değişen farklı üyelik dereceleriyle birden çok kümeye üye olabilmesi söz konusudur (Denklem (5.2)).

$$\tilde{N} = \{ \langle x, \mu_{\tilde{N}}(x) \rangle : x \in X \}, \quad \mu_{\tilde{N}}(x) : X \rightarrow [0,1] \quad (5.2)$$

$\sim$, $\tilde{N}$ ve X sırasıyla bulanıklığı, X'ten türetilen bir bulanık kümeyi ve boş olmayan bir kümeyi ifade etmektedir. x, $\tilde{N}$ bulanık kümesinin elemanı olup, $\mu_{\tilde{N}}$ üyelik derecesi [0-1] aralığında tanımlıdır. Üye olmama 0 ile, tam üye olma 1 ile, kısmi üyelik dereceleri 0 ile 1 arasındaki değerlerle ifade edilmektedir.

Bulanık küme teorisine göre, subjektif karar verme süreçlerinde kesin sayılar yerine bir aralıkta tanımlanan bulanık sayılar kullanılmaktadır. Üçgen bulanık sayılar (ÜBS) ve yamuk bulanık sayılar (YBS) yaygın olarak kullanılmakta olup, bu çalışmada daha hassas değerlendirmelerin yapılması adına YBS kullanımı tercih edilmiştir.

$\tilde{N} = (n_1, n_2, n_3, n_4)$ olmak üzere, YBS için grafiksel gösterim Şekil 5.1’de sunulmuştur (Chen, Lin ve Huang, 2006) ve $\mu_{\tilde{N}}(x)$ Denklem (5.3)’teki gibi tanımlanmıştır (Kaufmann ve Gupta, 1991).



Şekil 5.1. Yamuk bulanık sayı için grafiksel gösterim (Chen, Lin ve Huang, 2006)

$$\mu_{\tilde{N}}(x) = \begin{cases} 0, & x < n_1 \\ \frac{x - n_1}{n_2 - n_1}, & n_1 \leq x \leq n_2 \\ 1, & n_2 \leq x \leq n_3 \\ \frac{n_4 - x}{n_4 - n_3}, & n_3 \leq x \leq n_4 \\ 0, & x > n_4 \end{cases} \quad (5.3)$$

Tanım 1: $\tilde{M} = (m_1, m_2, m_3, m_4)$ ve $\tilde{N} = (n_1, n_2, n_3, n_4)$ iki YBS olmak üzere temel bulanık aritmetik işlemler Denklem (5.4)-(5.14)’teki gibi tanımlanmıştır (Chen ve Hwang, 1992; Lee, 2005; Melliani ve Castillo, 2019).

Toplama:

$$\tilde{M} + \tilde{N} = (m_1 + n_1, m_2 + n_2, m_3 + n_3, m_4 + n_4) \quad (5.4)$$

Çıkarma:

$$\tilde{M} - \tilde{N} = (m_1 - n_4, m_2 - n_3, m_3 - n_2, m_4 - n_1) \quad (5.5)$$

Çarpma:

$\tilde{M} > 0, \tilde{N} > 0$ iken

$$\tilde{M} \cdot \tilde{N} = (m_1 \cdot n_1, m_2 \cdot n_2, m_3 \cdot n_3, m_4 \cdot n_4) \quad (5.6)$$

$\tilde{M} < 0, \tilde{N} > 0$ iken

$$\tilde{M} \cdot \tilde{N} = (n_1 \cdot m_4, n_2 \cdot m_3, n_3 \cdot m_2, n_4 \cdot m_1) \quad (5.7)$$

$\tilde{M} < 0, \tilde{N} < 0$ iken

$$\tilde{M} \cdot \tilde{N} = (m_4 \cdot n_4, m_3 \cdot n_3, m_2 \cdot n_2, m_1 \cdot n_1) \quad (5.8)$$

Bölme:

$n \neq 0$ olmak üzere;

$\tilde{M} > 0, \tilde{N} > 0$ iken

$$\tilde{M} / \tilde{N} = \left(\frac{m_1}{n_4}, \frac{m_2}{n_3}, \frac{m_3}{n_2}, \frac{m_4}{n_1} \right) \quad (5.9)$$

$\tilde{M} < 0, \tilde{N} > 0$ iken

$$\tilde{M} / \tilde{N} = \left(\frac{m_4}{n_4}, \frac{m_3}{n_3}, \frac{m_2}{n_2}, \frac{m_1}{n_1} \right) \quad (5.10)$$

$\tilde{M} < 0, \tilde{N} < 0$ iken

$$\tilde{M} / \tilde{N} = \left(\frac{m_4}{n_1}, \frac{m_3}{n_2}, \frac{m_2}{n_3}, \frac{m_1}{n_4} \right) \quad (5.11)$$

Skaler λ sayısı ile çarpma:

$\forall \lambda > 0, \lambda \in \mathbb{R},$

$$\lambda \cdot \tilde{M} = (\lambda \cdot m_1, \lambda \cdot m_2, \lambda \cdot m_3, \lambda \cdot m_4) \quad (5.12)$$

$\forall \lambda < 0, \lambda \in \mathbb{R},$

$$\lambda \cdot \tilde{M} = (\lambda \cdot m_4, \lambda \cdot m_3, \lambda \cdot m_2, \lambda \cdot m_1) \quad (5.13)$$

Skaler λ sayısı ile üs alma:

$\forall \lambda > 0, \lambda \in \mathbb{R},$

$$\tilde{M}^{(\lambda)} = (m_1^{(\lambda)}, m_2^{(\lambda)}, m_3^{(\lambda)}, m_4^{(\lambda)}) \quad (5.14)$$

Tanım 2: $\tilde{M} = (m_1, m_2, m_3, m_4)$ bir YBS olmak üzere, durulaştırma (kesin sayıya dönüştürme) formülü Denklem (5.15)'teki gibi tanımlanmıştır (Chen ve Wang, 2006).

$$Durulaştırma = \left(\frac{m_1 + 2 m_2 + 2 m_3 + m_4}{6} \right) \quad (5.15)$$

Tanım 3: $\tilde{M} = (m_1, m_2, m_3, m_4)$ bir YBS olmak üzere, karar vericilerin görüşlerinin birleştirilmesi için kullanılan YBS ağırlıklandırılmış geometrik ortalama (YBS_AGO) formülü Denklem (5.16)'daki gibi tanımlanmıştır (Forman ve Peniwati, 1998). y_k karar vericilerin görüşlerinin önem derecelerini, n karar verici sayısını göstermektedir.

$$YBS_AGO = \prod_{k=1}^n m_1^{(y_k)}, m_2^{(y_k)}, m_3^{(y_k)}, m_4^{(y_k)} \quad (5.16)$$

5.2. Amaçlanan Model

1. Adım: Problemin tanımlanması.

Çalışmada ele alınan kabiliyetler (görevler), karar vericiler ve ölçütler (eğitim düzeyi ve deneyim süresi) belirlenir.

2. Adım: Sözel ifadelerin karşılığı olan YBS değerlerinin tanımlandığı skalanın belirlenmesi.

Bu çalışmada karar vericilerin görüşlerinin önem ağırlıkları ve kabiliyetlerin zorluk derecelerinin hesaplanması için gerekli olan veriler sözel terimler yardımıyla elde edilmiştir. Bu süreçte Tablo 5.1'de geliştirilen skaladan yararlanılmıştır.

Tablo 5.1. *Kabiliyetlerin ağırlıklandırılması için kullanılan sözel terimler ve YBS değerleri*

Sözel Terim	YBS
Çok düşük (ÇD)	(0, 0, 0.2, 0.4)
Düşük (D)	(0, 0.2, 0.4, 0.6)
Orta (O)	(0.2, 0.4, 0.6, 0.8)
Yüksek (Y)	(0.4, 0.6, 0.8, 1)
Çok yüksek (ÇY)	(0.6, 0.8, 1, 1)

3. Adım: Karar vericilerin görüşlerinin önem ağırlığının belirlenmesi.

Karar vericilerin görüşlerinin önem dereceleri (v_k) bu çalışmada eğitim düzeyi ve deneyim süresi ölçütleriyle ilişkilidir. v_k değeri için Tablo 5.2’de yer alan skala kullanılarak bu iki değerlendirme ölçütüne göre karar vericiler değerlendirilmiştir.

Tablo 5.2. *Karar vericilerin görüşlerinin önem ağırlıklarının belirlenmesinde kullanılan YBS değerleri*

YBS	Eğitim düzeyi	Deneyim süresi
(0, 0, 0.2, 0.4)	Lisans	0-5 yıl
(0.2, 0.4, 0.6, 0.8)	Yüksek lisans	6-10 yıl
(0.6, 0.8, 1, 1)	Doktora	11 yıl ve üzeri

4. Adım: Çalışmada ele alınan kabiliyetlerin zorluk derecelerinin belirlenmesi.

Her bir kabiliyetin zorluk derecesi bir YBS olarak tanımlanır ve her bir kabiliyetin zorluk derecesi Tablo 5.1’de önerilen skala ile sözel terimler yardımıyla karar vericiler tarafından değerlendirilir. Sözel terimlere karşılık gelen YBS değerleri üzerinden karar vericilerin görüşleri Denklem (5.16)’da yer alan YBS_AGO operatörü ile birleştirilir. Elde edilen sonuç, Denklem (5.15)’te yer alan durulaştırma formülü kullanılarak kesin sayı değerine dönüştürülür ve normalize edilir.

5. Adım: Zorluk derecelerinin K-Ortalamalar Kümeleme Algoritması ile sınıflandırılması (MacQueen, 1967).

5.1. Adım: 4. Adımda hesaplanan kabiliyetlerin zorluk dereceleri k adet kümeye bölünür. Bu çalışmada zorluk dereceleri 5 kategoride ele alındığından k değeri 5 olarak uygulanmıştır.

5.2. Adım: k adet kümenin küme merkezleri belirlenir.

5.3. *Adım:* Kümelerin merkez noktaları her bir kümeye düşen değerlerin ortalaması olup, merkez noktalara en yakın olan kabiliyetler tespit edilir. Ardından bu kabiliyetlerin zorluk derecelerinin ortalaması hesaplanır.

5.4. *Adım:* Belirlenen zorluk dereceleri ortalamaları merkezlerin yeni noktaları olarak ele alınır. Bu şekilde ilk belirlenen küme merkez noktaları değişmiş olur.

5.5. *Adım:* Küme merkez noktaları sabit olana kadar 5.3. *Adım* ve 5.4. *Adım* tekrarlanır.

5.3. Uygulama

Temel Pratik Eğitim Kayıt Defteri'nde yer alan 17 adet kabiliyet (Tablo 5.3), hazırlanan bir form aracılığıyla konu hakkında uzman olan 9 adet karar vericiye sunulmuş olup, kabiliyetlerin zorluk derecelerini 5'li ölçek üzerinde değerlendirmeleri istenmiştir. Karar vericiler değerlendirme yapmadan önce eğitim düzeyi ve deneyim süresi verileri alınmıştır. KV olarak katılım gösteren uzmanların sosyo-demografik özellikleri Tablo 5.4'te sunulmuştur.

Karar vericilerin görüşlerinin önemi her bir karar vericinin belirtilen iki değerlendirme ölçütüne (eğitim düzeyi ve deneyim süresi) göre aldıkları YBS skorlarının Denklem (5.4) yardımıyla toplanması, elde edilen toplam YBS skorunun Denklem (5.15) yardımıyla kesin sayıya dönüştürülmesi ve her bir kesin sayının toplam kesin sayı önemine bölünmesi yani doğrusal normalizasyon işlemi uygulanmasıyla elde edilmiştir. Tablo 5.5'te her bir karar vericinin eğitim düzeyi ve deneyim süresi ölçütleri altında aldıkları toplam YBS skoru ve bu skorların normalize edilmesiyle elde edilen karar vericilerin görüşlerinin önem ağırlığı yer almaktadır.

Tablo 5.3. *Temel Pratik Eğitim Kayıt Defteri'nde yer alan kabiliyetler*

Kodu	Kabiliyet
K1	ATA-100 sisteminin okunması ve ilgili bölümün bulunması
K2	Kullanacağı yere göre uygun ölçüye sahip anahtar (yıldız geçme, düz, alyan vb.) çeşitlerinin seçilmesi ve kullanılması
K3	Değiştirilen ya da söküm takımı yapılan parçalar için kart doldurulması
K4	Vida, somun, cıvata, pul, kupilya gibi bağlantı elemanlarının standartları ve özellikleri hakkında genel bilgi sahibi olarak, görünen veya görünmeyen alanlarda söküm takım yapılması
K5	Üretici el kitabını kullanarak belirlenen komponentin söküm takım işlemlerinin yapılması
K6	Bujilerin değiştirilmesi veya söküm takım işleminin yapılması
K7	Parça kataloğu (IPC), komponent bakım el kitabı gibi onaylı dokümanları kullanarak parçaların parça ve seri numaralarının bulunması
K8	Ara kollu ve ara kolsuz torkmetre kullanarak cıvata, somun torklanması
K9	Mikrometre, cetvel, kumpas, gönye, yükseklikölçer, komparatör ve benzeri ölçüm ekipmanlarının 0.010"/ 0.25 mm hassasiyetinde kullanılması
K10	Şaft, delik, çıkıntı ve birbirine yakın yüzey aralıklarının değişik ölçü aletleri kullanılarak ölçülmesi ve kayıt altına alınması
K11	Teknik çizimlerin yorumlanabilmesi ve bu çizimlere göre işlem yapılabilmesi
K12	Teknik çizimleri yorumlayabilme ve bir ya da daha fazla bükümden oluşan bir yapısal parçanın imal edilebilmesi için gereken malzeme boyutlarının hesaplanabilmesi
K13	Ölçü aletleri kullanarak basit arıza bulma teknikleri uygulamalarının yapılması
K14	Emniyet (Twisted) pense kullanılarak emniyet teli yapılması ve sökülmesi
K15	Çeşitli bağlantılar üzerinde emniyet teli yapılması
K16	Tap test yöntemlerinden birini kullanarak gözle fark edilemeyecek hasarların tespit edilmesi
K17	Bir ışık kaynağı ve ayna kullanarak yapıda bir bölgenin kontrol edilmesi

Tablo 5.4. Karar vericilerin sosyo-demografik özellikleri

Sosyo-demografik özellikler		n (%)
Cinsiyet	Kız	1 (%11)
	Erkek	8 (%89)
Yaş	35'ten az	3 (%33)
	35-45 arası	2 (%22)
	45'ten çok	4 (%45)
Eğitim düzeyi	Lisans	5 (%55)
	Lisansüstü	4 (%45)
Deneyim süresi	0-5 yıl	2 (%22)
	6-10 yıl	4 (%45)
	11 yıl ve üzeri	3 (%33)
Bakım personeli lisansı	Yok	2 (%22)
	Var	7 (%78)

Tablo 5.5. Karar vericilerin görüşlerinin önem ağırlığı

KV	YBS	Kesin sayı değeri	Normalize önem ağırlığı
v_1	(0.6, 0.8, 1.2, 1.4)	1	0.1327
v_2	(0.6, 0.8, 1.2, 1.4)	1	0.1327
v_3	(0.4, 0.8, 1.2, 1.6)	1	0.1327
v_4	(0.4, 0.8, 1.2, 1.6)	1	0.1327
v_5	(0.6, 0.8, 1.2, 1.4)	1	0.1327
v_6	(0.2, 0.4, 0.8, 1.2)	0.6333	0.0841
v_7	(0.2, 0.4, 0.8, 1.2)	0.6333	0.0841
v_8	(0.2, 0.4, 0.8, 1.2)	0.6333	0.0841
v_9	(0.2, 0.4, 0.8, 1.2)	0.6333	0.0841

Karar vericilerin görüşlerinin önem ağırlıklarının sırasıyla v_1 : 0.1327; v_2 : 0.1327; v_3 : 0.1327; v_4 : 0.1327; v_5 : 0.1327; v_6 : 0.0841; v_7 : 0.0841; v_8 : 0.0841; v_9 : 0.0841 olduğu hesaplanmıştır. Bu bağlamda, karar vericilerin görüşlerinin önem derecelerinin sıralamasının $v_1 = v_2 = v_3 = v_4 = v_5 > v_6 = v_7 = v_8 = v_9$ şeklinde olduğu belirlenmiştir. Her bir karar verici tarafından kabiliyetlerin zorluk derecesi sözel terimlerle değerlendirilmiş olup, sonuçlar ve sözel terimlerin YBS karşılıkları Tablo 5.6'da sunulmuştur.

Tablo 5.6. *Kabiliyetlerin zorluk derecesi için her karar vericiye ait değerlendirme matrisleri*

Kabiliyet kodu	KV1		KV2		KV3	
	Sözel terim	Sözel terimin YBS karşılığı	Sözel terim	Sözel terimin YBS karşılığı	Sözel terim	Sözel terimin YBS karşılığı
K1	O	(0.2, 0.4, 0.6, 0.8)	O	(0.2, 0.4, 0.6, 0.8)	D	(0, 0.2, 0.4, 0.6)
K2	D	(0, 0.2, 0.4, 0.6)	O	(0.2, 0.4, 0.6, 0.8)	D	(0, 0.2, 0.4, 0.6)
K3	ÇD	(0, 0, 0.2, 0.4)	ÇD	(0, 0, 0.2, 0.4)	O	(0.2, 0.4, 0.6, 0.8)
K4	O	(0.2, 0.4, 0.6, 0.8)	ÇD	(0, 0, 0.2, 0.4)	O	(0.2, 0.4, 0.6, 0.8)
K5	Y	(0.4, 0.6, 0.8, 1)	O	(0.2, 0.4, 0.6, 0.8)	Y	(0.4, 0.6, 0.8, 1)
K6	Y	(0.4, 0.6, 0.8, 1)	O	(0.2, 0.4, 0.6, 0.8)	Y	(0.4, 0.6, 0.8, 1)
K7	O	(0.2, 0.4, 0.6, 0.8)	D	(0, 0.2, 0.4, 0.6)	O	(0.2, 0.4, 0.6, 0.8)
K8	O	(0.2, 0.4, 0.6, 0.8)	Y	(0.4, 0.6, 0.8, 1)	O	(0.2, 0.4, 0.6, 0.8)
K9	O	(0.2, 0.4, 0.6, 0.8)	ÇY	(0.6, 0.8, 1, 1)	Y	(0.4, 0.6, 0.8, 1)
K10	O	(0.2, 0.4, 0.6, 0.8)	ÇY	(0.6, 0.8, 1, 1)	Y	(0.4, 0.6, 0.8, 1)
K11	Y	(0.4, 0.6, 0.8, 1)	ÇY	(0.6, 0.8, 1, 1)	Y	(0.4, 0.6, 0.8, 1)
K12	Y	(0.4, 0.6, 0.8, 1)	ÇY	(0.6, 0.8, 1, 1)	ÇY	(0.6, 0.8, 1, 1)
K13	Y	(0.4, 0.6, 0.8, 1)	O	(0.2, 0.4, 0.6, 0.8)	O	(0.2, 0.4, 0.6, 0.8)
K14	O	(0.2, 0.4, 0.6, 0.8)	O	(0.2, 0.4, 0.6, 0.8)	ÇY	(0.6, 0.8, 1, 1)
K15	O	(0.2, 0.4, 0.6, 0.8)	O	(0.2, 0.4, 0.6, 0.8)	ÇY	(0.6, 0.8, 1, 1)
K16	ÇD	(0, 0, 0.2, 0.4)	ÇY	(0.6, 0.8, 1, 1)	O	(0.2, 0.4, 0.6, 0.8)
K17	ÇD	(0, 0, 0.2, 0.4)	ÇY	(0.6, 0.8, 1, 1)	D	(0, 0.2, 0.4, 0.6)

Kabiliyet kodu	KV4		KV5		KV6	
	Sözel terim	Sözel terimin YBS karşılığı	Sözel terim	Sözel terimin YBS karşılığı	Sözel terim	Sözel terimin YBS karşılığı
K1	ÇD	(0, 0, 0.2, 0.4)	O	(0.2, 0.4, 0.6, 0.8)	O	(0.2, 0.4, 0.6, 0.8)
K2	ÇD	(0, 0, 0.2, 0.4)	ÇD	(0, 0, 0.2, 0.4)	D	(0, 0.2, 0.4, 0.6)
K3	ÇD	(0, 0, 0.2, 0.4)	ÇD	(0, 0, 0.2, 0.4)	ÇD	(0, 0, 0.2, 0.4)
K4	Y	(0.4, 0.6, 0.8, 1)	O	(0.2, 0.4, 0.6, 0.8)	Y	(0.4, 0.6, 0.8, 1)
K5	Y	(0.4, 0.6, 0.8, 1)	D	(0, 0.2, 0.4, 0.6)	O	(0.2, 0.4, 0.6, 0.8)
K6	O	(0.2, 0.4, 0.6, 0.8)	ÇD	(0, 0, 0.2, 0.4)	Y	(0.4, 0.6, 0.8, 1)
K7	D	(0, 0.2, 0.4, 0.6)	ÇD	(0, 0, 0.2, 0.4)	O	(0.2, 0.4, 0.6, 0.8)
K8	D	(0, 0.2, 0.4, 0.6)	Y	(0.4, 0.6, 0.8, 1)	ÇD	(0, 0, 0.2, 0.4)
K9	D	(0, 0.2, 0.4, 0.6)	Y	(0.4, 0.6, 0.8, 1)	O	(0.2, 0.4, 0.6, 0.8)
K10	D	(0, 0.2, 0.4, 0.6)	ÇD	(0, 0, 0.2, 0.4)	Y	(0.4, 0.6, 0.8, 1)
K11	O	(0.2, 0.4, 0.6, 0.8)	O	(0.2, 0.4, 0.6, 0.8)	O	(0.2, 0.4, 0.6, 0.8)
K12	O	(0.2, 0.4, 0.6, 0.8)	O	(0.2, 0.4, 0.6, 0.8)	ÇY	(0.6, 0.8, 1, 1)
K13	D	(0, 0.2, 0.4, 0.6)	D	(0, 0.2, 0.4, 0.6)	Y	(0.4, 0.6, 0.8, 1)
K14	O	(0.2, 0.4, 0.6, 0.8)	ÇD	(0, 0, 0.2, 0.4)	O	(0.2, 0.4, 0.6, 0.8)
K15	O	(0.2, 0.4, 0.6, 0.8)	ÇD	(0, 0, 0.2, 0.4)	Y	(0.4, 0.6, 0.8, 1)
K16	Y	(0.4, 0.6, 0.8, 1)	Y	(0.4, 0.6, 0.8, 1)	Y	(0.4, 0.6, 0.8, 1)
K17	ÇD	(0, 0, 0.2, 0.4)	Y	(0.4, 0.6, 0.8, 1)	O	(0.2, 0.4, 0.6, 0.8)

Tablo 5.6. (Devam) *Kabiliyetlerin zorluk derecesi için her karar vericiye ait değerlendirme matrisleri*

Kabiliyet kodu	KV7		KV8		KV9	
	Sözel terim	Sözel terimin YBS karşılığı	Sözel terim	Sözel terimin YBS karşılığı	Sözel terim	Sözel terimin YBS karşılığı
K1	D	(0, 0.2, 0.4, 0.6)	ÇD	(0, 0, 0.2, 0.4)	D	(0, 0.2, 0.4, 0.6)
K2	ÇD	(0, 0, 0.2, 0.4)	D	(0, 0.2, 0.4, 0.6)	D	(0, 0.2, 0.4, 0.6)
K3	D	(0, 0.2, 0.4, 0.6)	Y	(0.4, 0.6, 0.8, 1)	O	(0.2, 0.4, 0.6, 0.8)
K4	Y	(0.4, 0.6, 0.8, 1)	ÇY	(0.6, 0.8, 1, 1)	Y	(0.4, 0.6, 0.8, 1)
K5	O	(0.2, 0.4, 0.6, 0.8)	Y	(0.4, 0.6, 0.8, 1)	Y	(0.4, 0.6, 0.8, 1)
K6	ÇD	(0, 0, 0.2, 0.4)	O	(0.2, 0.4, 0.6, 0.8)	D	(0, 0.2, 0.4, 0.6)
K7	D	(0, 0.2, 0.4, 0.6)	ÇY	(0.6, 0.8, 1, 1)	Y	(0.4, 0.6, 0.8, 1)
K8	D	(0, 0.2, 0.4, 0.6)	Y	(0.4, 0.6, 0.8, 1)	D	(0, 0.2, 0.4, 0.6)
K9	O	(0.2, 0.4, 0.6, 0.8)	O	(0.2, 0.4, 0.6, 0.8)	O	(0.2, 0.4, 0.6, 0.8)
K10	ÇY	(0.6, 0.8, 1, 1)	O	(0.2, 0.4, 0.6, 0.8)	O	(0.2, 0.4, 0.6, 0.8)
K11	D	(0, 0.2, 0.4, 0.6)	ÇY	(0.6, 0.8, 1, 1)	ÇY	(0.6, 0.8, 1, 1)
K12	Y	(0.4, 0.6, 0.8, 1)	Y	(0.4, 0.6, 0.8, 1)	ÇY	(0.6, 0.8, 1, 1)
K13	O	(0.2, 0.4, 0.6, 0.8)	D	(0, 0.2, 0.4, 0.6)	Y	(0.4, 0.6, 0.8, 1)
K14	ÇD	(0, 0, 0.2, 0.4)	O	(0.2, 0.4, 0.6, 0.8)	D	(0, 0.2, 0.4, 0.6)
K15	ÇD	(0, 0, 0.2, 0.4)	O	(0.2, 0.4, 0.6, 0.8)	D	(0, 0.2, 0.4, 0.6)
K16	O	(0.2, 0.4, 0.6, 0.8)	D	(0, 0.2, 0.4, 0.6)	ÇY	(0.6, 0.8, 1, 1)
K17	Y	(0.4, 0.6, 0.8, 1)	O	(0.2, 0.4, 0.6, 0.8)	D	(0, 0.2, 0.4, 0.6)

Karar vericilerin kabiliyetlerin zorluk derecesi için yaptıkları değerlendirmeler Denklem (5.16)'da yer alan YBS_AGO operatörü yardımıyla birleştirilerek YBS sütun vektörü elde edilmiştir. Ardından, birleştirilmiş YBS sütun vektöründeki değerler Denklem (5.15) yardımıyla kesin sayıya dönüştürülmüş ve doğrusal normalizasyon işlemi uygulanmıştır. Kabiliyetlerin zorluklarının hesaplanan dereceleri Tablo 5.7'de gösterilmiştir.

Kabiliyetlerin zorluk derecesinin sırasıyla K1: 0.0404; K2: 0.0331; K3: 0.0309; K4: 0.0555; K5: 0.0861; K6: 0.0478; K7: 0.0453; K8: 0.0500; K9: 0.0838; K10: 0.0534; K11: 0.0930; K12: 0.1153; K13: 0.0720; K14: 0.0459; K15: 0.0469; K16: 0.0563; K17: 0.0443 olduğu hesaplanmıştır. Bu bağlamda, kabiliyetlerin zorluk derecesinin sıralamasının $K12 > K11 > K5 > K9 > K13 > K16 > K4 > K10 > K8 > K6 > K15 > K14 > K7 > K17 > K1 > K2 > K3$ şeklinde olduğu belirlenmiştir.

Tablo 5.7. *Kabiliyetlerin zorluk dereceleri*

Kabiliyet kodu	YBS	Kesin sayı zorluk derecesi	Normalize zorluk derecesi
K1	(0.0000, 0.0000, 0.4186, 0.6313)	0.2447	0.0404
K2	(0.0000, 0.0000, 0.3313, 0.5410)	0.2006	0.0331
K3	(0.0000, 0.0000, 0.3023, 0.5196)	0.1874	0.0309
K4	(0.0000, 0.0000, 0.6048, 0.8102)	0.3366	0.0555
K5	(0.0000, 0.4591, 0.6692, 0.8738)	0.5217	0.0861
K6	(0.0000, 0.0000, 0.5053, 0.7264)	0.2895	0.0478
K7	(0.0000, 0.0000, 0.4814, 0.6852)	0.2746	0.0453
K8	(0.0000, 0.0000, 0.5355, 0.7483)	0.3032	0.0500
K9	(0.0000, 0.4455, 0.6568, 0.8416)	0.5077	0.0838
K10	(0.0000, 0.0000, 0.5844, 0.7737)	0.3237	0.0534
K11	(0.0000, 0.5177, 0.7299, 0.8861)	0.5636	0.0930
K12	(0.3968, 0.6104, 0.8165, 0.9425)	0.6988	0.1153
K13	(0.0000, 0.3547, 0.5678, 0.7737)	0.4365	0.0720
K14	(0.0000, 0.0000, 0.4891, 0.6921)	0.2784	0.0459
K15	(0.0000, 0.0000, 0.5010, 0.7052)	0.2846	0.0469
K16	(0.0000, 0.0000, 0.6192, 0.8082)	0.3411	0.0563
K17	(0.0000, 0.0000, 0.4676, 0.6761)	0.2686	0.0443

Kabiliyetlerin zorluk derecesi sıralandıktan sonra bu kabiliyetlerin dâhil olacağı zorluk sınıfının belirlenmesi için bu çalışmada K-Ortalamlar Kümeleme yaklaşımı kullanılmıştır. Zorluk derecesi değerlerine göre her bir kümede yer alan kabiliyetlerin sayısı ve kümelerin önem sıralaması belirlenmiştir. Kümelerin önem sıralaması kabiliyetlerin zorluk sınıfının tayininde kullanılmıştır. Zorluk sınıflarının belirlenmesi ile elde edilen sonuçlar Tablo 5.8’de sunulmuştur.

Kümeleme sonucuna göre üçüncü kümede yer alan kabiliyetlerin zorluk sınıfı “çok kolay”, dördüncü kümede yer alan kabiliyetlerin zorluk sınıfı “kolay”, birinci kümede yer alan kabiliyetlerin zorluk sınıfı “orta”, beşinci kümede yer alan kabiliyetlerin zorluk sınıfı “zor”, ikinci kümede yer alan kabiliyetlerin zorluk sınıfı “çok zor” şeklinde kategorize edilmiştir.

Tablo 5.8. K-Ortalamalar Kümeleme sonucuna göre zorluk derecelerinin sınıflandırılması

Küme grubu	Kabiliyet sayısı	Önem sıralaması	Zorluk sınıfı
1	1	3	Orta
2	1	1	Çok zor
3	3	5	Çok kolay
4	9	4	Kolay
5	3	2	Zor

Yapılan çalışma sonrasında kabiliyetlerin zorluk sınıfları şu şekilde sınıflandırılmıştır: K1, K2, K3 çok kolay; K4, K6, K7, K8, K10, K14, K15, K16, K17 kolay; K13 orta; K5, K9, K11 zor; K12 çok zor.

5.4. Kolay, Orta ve Zor Senaryoların Oluşturulması

Kabiliyetlerin zorluk derecesi ve zorluk sınıfı belirlendikten sonra, üç farklı zorluk düzeyinde senaryolar hazırlanmıştır. Bu senaryoları oluşturan bakım görevlerinin gerçek bir uçak bakım hangarı ortamında, SOCATA TB-9 uçağı (Şekil 5.2) üzerinde uygulanması planlanmıştır.

Kolay düzeydeki senaryo için seçilen kabiliyetler, hangi modüle ve lisans kategorisine ait oldukları, kabiliyet kodları, kabiliyetlerin zorluk derecesi ve zorluk sınıfı Tablo 5.9’da sunulmuştur.

Tablo 5.9. Kolay düzeydeki senaryoyu oluşturan görevler

Modül	Edinilen kabiliyet	Lisans kategorisi	Kabiliyet kodu	Zorluk derecesi	Zorluk sınıfı
7.5	ATA-100 sisteminin okunması ve ilgili bölümün bulunması	A, B1	K1	0.0404	ÇK
7.3	Kullanacağı yere göre uygun ölçüye sahip anahtar (yıldız geçme, düz, alyan vb.) çeşitlerinin seçilmesi ve kullanılması	A, B1	K2	0.0331	ÇK



Şekil 5.2. Bakım görevlerinin gerçekleştirildiği SOCATA TB-9 uçağı

İlk görevde (K1), ilgili uçağı aıt Uçak Bakım Manueli (AMM) bilgisi sorgulanarak lastik basıncı değeri ATA-100 sisteminde hangi bölümde yer aldığı hazırlanan föy aracılığı ile katılımcıya sorulmuştur. İkinci görevde (K2) ise katılımcıya verilen föy üzerinde anahtar takımlarının inç ölçü sistemine göre küçükten büyüğe doğru sıralanması istenmiştir (Şekil 5.3). Bu görevleri tamamlaması için katılımcıya beş dakika süre tanınmıştır.

Aşağıdaki kutucuklara inç ölçü sistemine göre anahtar sıralaması küçükten büyüğe doğru yapılmıştır.
Boş kalan kutucukları doldurunuz.

3/16"						9/16"					7/8"		1"
-------	--	--	--	--	--	-------	--	--	--	--	------	--	----

Şekil 5.3. Anahtar takımlarının inç ölçü sistemine göre sıralanması

Orta düzeydeki senaryo için seçilen kabiliyetler, hangi modüle ve lisans kategorisine ait oldukları, kabiliyet kodları, kabiliyetlerin zorluk derecesi ve zorluk sınıfı Tablo 5.10’da sunulmuştur.

Tablo 5.10. Orta düzeydeki senaryoyu oluşturan görevler

Modül	Edinilen kabiliyet	Lisans kategorisi	Kabiliyet kodu	Zorluk derecesi	Zorluk sınıfı
7.18	Parça kataloğu (IPC), komponent bakım el kitabı gibi onaylı dokümanları kullanarak parçaların parça ve seri numaralarının bulunması	A, B1, B2	K7	0.0453	K
7.18 7.2 7.3	Ara kollu ve ara kolsuz torkmetre kullanarak cıvata, somun torklanması	A, B1, B2	K8	0.0500	K
7.18	Çeşitli bağlantılar üzerinde emniyet teli yapılması	A, B1, B2	K15	0.0469	K

İlk görevde (K7), katılımcıya verilen föyde görseli sunulan pervane cıvatasının parça kataloğu dokümanı içinde bulunarak parça numarasının yazılması istenmiştir. İkinci (K8) ve üçüncü (K15) görevler için katılımcıya verilen föylerde, sırasıyla pervane cıvatalarından herhangi birinin belirtilen değerde torklanması ve pervane üzerinde yer alan herhangi iki cıvata için emniyet teli yapılması görevleri yer almaktadır. Torklama ve emniyet teli görevleri SOCATA TB-9 uçağı üzerinde uygulanmıştır (Şekil 5.4). Bu görevleri tamamlaması için katılımcıya beş dakika süre tanınmıştır.



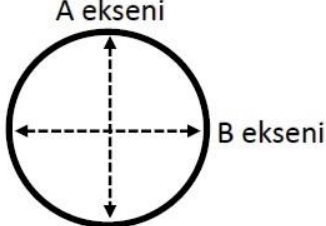
Şekil 5.4. Pervane cıvatası için torklama ve emniyet teli yapılması

Zor düzeydeki senaryo için seçilen kabiliyetler, hangi modüle ve lisans kategorisine ait oldukları, kabiliyet kodları, kabiliyetlerin zorluk derecesi ve zorluk sınıfı Tablo 5.11’de sunulmuştur.

Tablo 5.11. Zor düzeydeki senaryoyu oluşturan görevler

Modül	Edinilen kabiliyet	Lisans kategorisi	Kabiliyet kodu	Zorluk derecesi	Zorluk sınıfı
7.5	Teknik çizimlerin yorumlanabilmesi ve bu çizimlere göre işlem yapılabilmesi	B1	K11	0.0930	Z
7.3	Mikrometre, cetvel, kumpas, gönye, yükseklikölçer, komparatör ve benzeri ölçüm ekipmanlarının 0.010”/ 0.25 mm hassasiyetinde kullanılması	A, B1	K9	0.0838	Z
7.6	Şaft, delik, çıkıntı ve birbirine yakın yüzey aralıklarının değişik ölçü aletleri kullanılarak ölçülmesi ve kayıt altına alınması	A, B1	K10	0.0534	K
7.7	Ölçü aletleri kullanarak basit arıza bulma teknikleri uygulamalarının yapılması	B1, B2	K13	0.0720	O
7.5	ATA-100 sisteminin okunması ve ilgili bölümün bulunması	A, B1	K1	0.0404	ÇK
7.18	Değiştirilen ya da söküm takımı yapılan parçalar için kart doldurulması	A, B1, B2	K3	0.0309	ÇK

İlk görevde (K11), katılımcıya verilen föyde (Şekil 5.5) içi boş bir silindirin üstten görünüşü sunulmuş ve bu çizimin yorumlanması beklenmiştir. İkinci görevde (K9 ve K10), kumpas yardımı ile gerçek silindir parçası için eksenlerinin ölçülerek ovallik limitinin hesaplanması istenmiştir. Üçüncü görevde (K13), yapılan ölçümler sonucunda bu parçanın limit içi ya da limit dışı olduğunun belirlenmesi istenmiştir. İlk üç görev için aynı föy kullanılmıştır. Dördüncü görevde (K1), ilgili uçağa ait AMM bilgisi sorgulanarak ateşleme sisteminin parçası olan bujinin ATA-100 sisteminde hangi bölümde yer aldığı hazırlanan föy aracılığı ile katılımcıya sorulmuştur. Beşinci görevde (K3), sökülmiş bir buji için katılımcıya verilen föydeki bilgiler doğrultusunda kart doldurulması istenmiştir. Bu görevleri tamamlaması için katılımcıya beş dakika süre tanınmıştır.

Yandaki şekilde silindirin üstten görünüşü verilmiştir. Parçanın nominal değeri 4 inç'tir. Parçanın ovallik toleransı 0,25 inç'tir.	
--	--

Silindirin A ve B eksenlerini kumpas ile ölçerek ovallik limitini hesaplayınız ve sonucu aşağıdaki kutucuklara yazınız. A eksen ölçüm sonucu B eksen ölçüm sonucu	Yaptığınız ölçümlere göre bu parçanın LİMİT İÇİ / LİMİT DIŞI olup olmadığına karar veriniz ve ilgili kutucuğu işaretleyiniz.  LİMİT İÇİ  LİMİT DIŞI
--	---

Şekil 5.5. Zor düzeydeki senaryo için kullanılan föy örneği

Kolay düzeydeki senaryodan zor düzeydeki senaryoya doğru yerine getirilecek görev sayısı artmış olup; kolay senaryoda iki, orta senaryoda üç, zor senaryoda beş görev yer almıştır.

Kolay düzeydeki senaryodan zor düzeydeki senaryoya doğru, kabiliyetlerin zorluk sınıfları için önem sıralaması artmıştır. Kolay senaryoda zorluk sınıfı ÇK olan iki kabiliyet bulunmaktadır. Orta senaryoda zorluk sınıfı K olan üç kabiliyet bulunmaktadır. Zor senaryoda zorluk sınıfı ÇK olan iki kabiliyet, zorluk sınıfı K olan bir kabiliyet, zorluk sınıfı O olan bir kabiliyet ve zorluk sınıfı Z olan iki kabiliyet yer almaktadır.

Kolay düzeydeki senaryodan zor düzeydeki senaryoya doğru, kabiliyetlerin zorluk dereceleri artmıştır. Kolay senaryoda yer alan iki kabiliyetin zorluk derecesi toplamı 0,0735; orta senaryoda yer alan üç kabiliyetin zorluk derecesi toplamı 0,1422; zor senaryoda yer alan altı kabiliyetin zorluk derecesi toplamı 0,3735 olarak hesaplanmıştır. Zor senaryo için kabiliyetlerin toplam zorluk derecesinin, kolay senaryonun yaklaşık beş katı olduğu görülmekte olup, bu durumun deney sonuçlarında belirgin bir fark yaratması beklenmiştir.

5.5. Araştırma Grubu ve Araştırma Dizayını

Deneyisel çalışmalarda araştırma grubunu Eskişehir Teknik Üniversitesi Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi'nde teknik bölümlerde (Uçak Gövde ve Motor Bakımı & Havacılık Elektrik ve Elektronik) öğrenim görmekte olan üniversite öğrencileri (n=15)

ile Eskişehir Teknik Üniversitesi Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi Pilotaj bölümü öğrencilerinin eğitim uçuşlarını gerçekleştirdikleri uçakların bakım ve onarımını yapan ve/veya eğitim faaliyetlerini yürüten lisanslı/lisanssız hava aracı bakım teknisyenleri (n=15) oluşturmaktadır. Çalışmaya katılan öğrenciler tecrübesiz grubu oluşturmaktadır ve tümü son sınıf öğrencisi olup, son dönemlerinde sektörde iş başı eğitimine gidecek öğrencilerdir. Çalışmaya katılan hava aracı bakım teknisyenleri tecrübeli grubu oluşturmaktadır. Araştırma grubunu oluşturan katılımcıların sosyo-demografik özellikleri Tablo 5.12’de sunulmuştur.

Tablo 5.12. Katılımcıların sosyo-demografik özellikleri

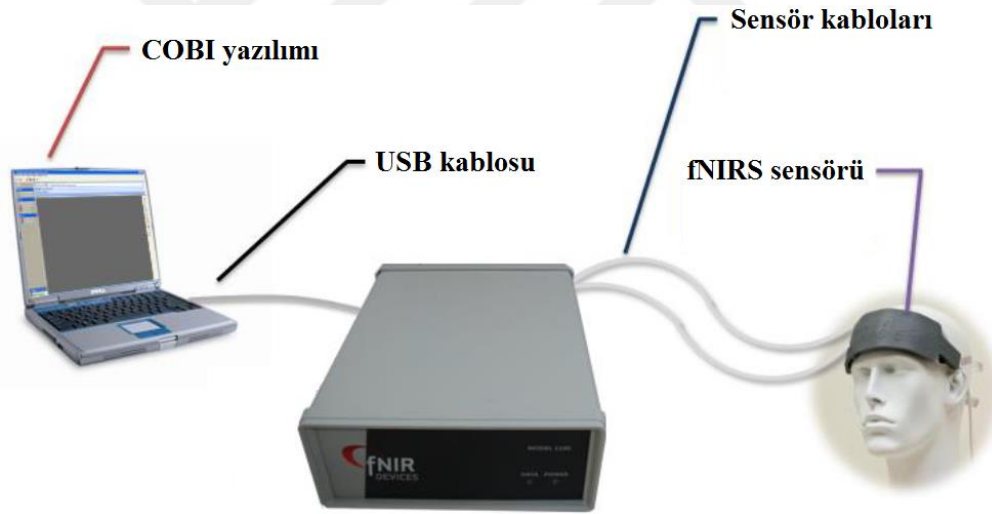
Sosyo-demografik özellikler		n (%)	
		Tecrübeli	Tecrübesiz
Cinsiyet	Kız	2 (%13)	6 (%40)
	Erkek	13 (%87)	9 (%60)
Yaş	25’ten az	1 (%7)	13 (%87)
	25-35 arası	6 (%40)	2 (%13)
	35-45 arası	5 (%33)	-
	45’ten çok	3 (%20)	-
Eğitim düzeyi	Ön lisans	1 (%7)	-
	Lisans	12 (%80)	15 (%100)
	Lisansüstü	2 (%13)	-
Deneyim süresi	Yok	-	15 (%100)
	0-5 yıl	6 (%40)	-
	6-10 yıl	3 (%20)	-
	11 yıl ve üzeri	6 (%40)	-
Bakım personeli lisansı	Yok	4 (%27)	15 (%100)
	Var	11 (%73)	-

Tecrübesiz grupta yer alan katılımcıların herhangi bir deneyim süresi olmayıp, bakım personeli lisansına sahip değildirler. Tecrübeli grupta yer alan katılımcıların %73’ünün bakım personeli lisansı olup, altı yıl ve üzeri deneyim süresine sahip olanların oranı %60’tır.

Bu tez çalışması kapsamında, araştırma grubunu oluşturan katılımcılar kolay, orta ve zor düzeydeki senaryoları gerçekleştirirken ortaya çıkan zihinsel iş yükleri

ölçülmüştür. Zihinsel iş yükü ölçümü için görev esnasında beyin kan akımındaki değişim fNIRS cihazı (fNIR Model 1100) ve Bilişsel Optik Beyin Görüntüleme (COBI) yazılımı kullanılarak tespit edilmiştir. fNIRS cihazının bileşenleri, BIOPAC (2018) manuelinde yer alan görselden uyarlanarak çizilen, Şekil 5.6’da gösterilmiştir. Deneysel çalışmalar esnasında yapılan ölçümlerden elde edilen ham veriler, sonrasında fnirSoft yazılımı kullanılarak işlenip analizleri gerçekleştirilmiştir. Zihinsel iş yükünün dolaylı takibi amacıyla NASA–TLX yöntemi kullanılmıştır.

Deneysel çalışmalara başlamadan önce katılımcılardan Gönüllü Katılım Formu belgesi alınmıştır. Gerçekleştirilecek ölçümler ve deneysel süreç hakkında katılımcılara bilgi verilmiş olup, gerekli teknik notlar açıklanmıştır. Katılımcıların deneysel çalışmalarda uyması gereken kurallar anlatılmış ve senaryoların bitiminde doldurulacak olan NASA–TLX anketinde dikkat edilmesi gereken noktalar paylaşılarak her bir alt ölçütün ne ifade ettiği açıklanmıştır.



Şekil 5.6. Çalışmada kullanılan fNIRS cihazının bileşenleri (BIOPAC, 2018)

Katılımcıların gerçekleştirdikleri her senaryo, bir SHY-147 kuruluşunun değerlendirici eğitmen olarak yetkilendirdiği eğitmen tarafından değerlendirilmiştir. Bu değerlendirme, Temel Pratik Eğitim Değerlendirme Kriterleri’ne göre oluşturulan Temel Pratik Eğitim Değerlendirme Tablosu (<http-1>) esas alınarak hazırlanan değerlendirme ölçütleri üzerinden yapılmıştır.

Hava Aracı, Prosedürler ve İnsan Faktörleri kategorilerinde yapılan değerlendirmelerde, değerlendirici eğitmen katılımcılara puan vermiştir. Katılımcıların aldıkları toplam puan kolay, orta ve zor düzeydeki senaryolarda gösterdikleri

performansların bir ölçütü olarak değerlendirilmiştir. Deneysel çalışmalar değerlendirici eğitmen tarafından takip edilerek, çalışmanın bitiminde katılımcıların performans skorları belirlenmiştir. Performans skorlarının belirlenmesinde katılımcılara verilen föyler üzerinde yapılan işlemler ve deneysel çalışma için harcanan süre dikkate alınmıştır.

5.6. Deneysel Çalışmaların Uygulanması

Deneysel çalışmalar için, katılımcıların performanslarını olumsuz etkilemeyecek şekilde tarih/saat planlaması yapılmıştır. Çalışmalar farklı günlerde gerçekleştirilmiş olup, bir katılımcının art arda iki çalışmayı yürüttüğü durumlarda senaryolar arasında dinlenme için mola verilmiştir. Ayrıca katılımcılar farklı zorluk düzeyindeki (kolay, orta, zor) senaryoları rastsal sırada uygulamışlardır ve hangi zorlukta senaryonun uygulandığı katılımcı ile paylaşılmamıştır. Deneysel çalışmalardaki tüm işlemler deney defterine yazılmış olup, burada yer alan bilgiler daha sonra sanal ortama geçirilerek yedeklenmiştir.

Hazırlanan deneysel çalışmalar öncelikle ön çalışma olarak Eskişehir Teknik Üniversitesi Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi'nde teknik bölümlerde (Uçak Gövde ve Motor Bakımı & Havacılık Elektrik ve Elektronik) öğrenim görmekte olan üç öğrenci üzerinde uygulanmıştır. Bu öğrencilerin deney sonuçlarından elde edilen objektif & subjektif veriler analiz edilerek ve öğrencilerden alınan geri bildirimler göz önünde bulundurularak, hazırlanan senaryolarda gerekli iyileştirmeler yapılmış olup, deneysel çalışmalarda uygulanacak kural ve prosedürler belirlenmiştir.

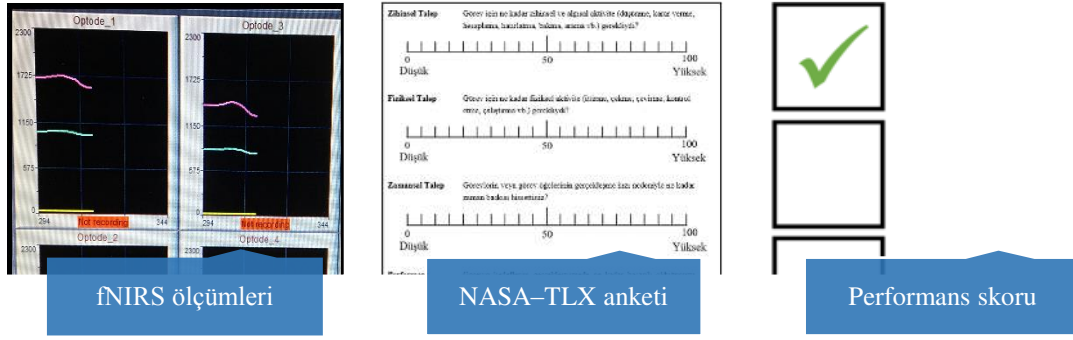
Her bir senaryo için veri toplama işlemi öncesinde gerekli çalışma düzeneği oluşturulmuş ve kullanılacak el aletleri (Şekil 5.7) ile SOCATA TB-9 uçağına ait dokümanlar hazırlanmıştır.



Şekil 5.7. Deneysel çalışmalarda kullanılan el aletleri

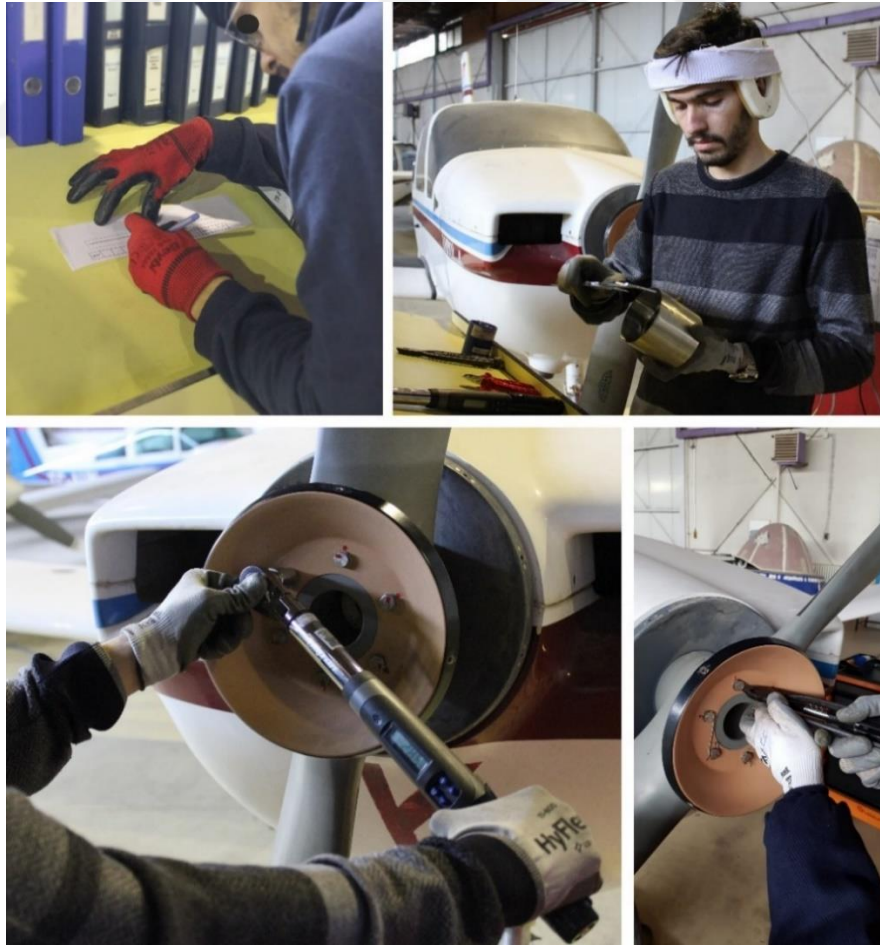
Şekil 5.8’de deneysel çalışmalarda verilerin elde edilmesinde kullanılan yöntemler paylaşılmıştır. Her bir senaryo için veri toplama işlemi şu sıralamada gerçekleştirilmiştir:

- Beynin ön kısmındaki kan akışında meydana gelen değişiklikleri ölçebilmek için katılımcının alın bölgesine fNIRS sensörü yerleştirilmiştir. Sensörün alın bölgesine temasını artırmak için saç bandı kullanılmıştır. Cihaz, ortam ışığına karşı duyarlı olduğundan siyah renkli bir saç bonesi kullanılarak ortam ışığının etkisi en aza indirilmiştir.
- COBI yazılımı kullanılarak ilgili senaryoya ait bilgiler programa girilmiş ve beyin oksijenlenmesi için 10 saniye süreyle baseline ölçümü yapıldıktan sonra senaryoda yer alan görevler uygulanmaya başlanmıştır.
- Katılımcı kendisine verilen görevleri bitirdiğinde ya da 5 dakika olarak belirlenen süresi dolduğunda (hangisi önce geliyorsa) deneysel çalışma sonlandırılmıştır.
- Deneysel çalışmanın bitiminde katılımcılar gerçekleştirdikleri senaryodaki görevlere ilişkin NASA–TLX anketini doldurmuşlardır.
- Değerlendirici eğitmen tarafından da katılımcı için performans skoru belirlenmiştir.
- Ayrıca katılımcının bilgisi ve onayı dâhilinde çalışma sürecinde fotoğraf/video çekimi yapılmıştır.



Şekil 5.8. Verilerin elde edilmesinde kullanılan yöntemler

Katılımcıların deneysel çalışmalar esnasında çekilen fotoğraflarından seçilen görüntüler Şekil 5.9’da paylaşılmıştır. Şekil 5.9’da kolay düzeydeki senaryoya ait anahtar takımlarının sıralanması (sol üstte), zor düzeydeki senaryoya ait silindirin ovallik limitinin hesaplanması (sağ üstte), orta düzeydeki senaryoya ait torklama ve emniyet teli yapılması (altta) görevleri yer almaktadır.



Şekil 5.9. Katılımcıların deneysel çalışmalar esnasında çekilen fotoğrafları

5.7. Sınırlılıklar

Tez çalışması kapsamında gerçekleştirilen deneysel çalışmalar sürecinde veri toplama işlemi ile ilgili olarak belirtilmesi gereken bazı sınırlılıklar bulunmaktadır.

- İş yükünün ölçülmesinde kullanılan NASA–TLX, nihayetinde subjektif bir yöntemdir. Katılımcılar NASA–TLX anketini her ne kadar senaryoların bitiminde doldurmuş olsalar da katılımcıların bellek ve kendi kendini analiz yeteneğine bağlılık söz konusudur.
- Deneysel çalışmalar için oluşturulan senaryolar birer egzersiz niteliğinde olup, gelecek çalışmalar için gerçek zamanlı bakım/onarım operasyonlarında emniyet unsurunu göz ardı etmeden veri toplama işlemi gerçekleştirilebilir.
- Bu çalışma kapsamında toplamda otuz katılımcı yer almış olup, üç farklı zorluk düzeyindeki senaryolar üzerinden deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Gelecek çalışmalarda daha fazla katılımcıdan en az dört zorluk düzeyi için elde edilecek sonuçlar istatistiksel gücü artıracaktır.
- Bu çalışmada beyin aktivitesi analizi için sadece fNIRS cihazı kullanılmıştır. Gelecek çalışmalar için EEG ve fNIRS hibrit nöro-görüntüleme tekniklerinden faydalanılarak daha kapsamlı veri toplama işlemi gerçekleştirilebilir.

6. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Deneysel çalışmalara katılım gösteren öğrencilerden oluşan tecrübesiz grup ve hava aracı bakım teknisyenlerinden oluşan tecrübeli grup olmak üzere iki farklı grubun üç farklı zorluk düzeyindeki senaryolarda yer alan görevlerine ilişkin değerlendirmeler bu bölümde yapılmıştır. Katılımcıların NASA–TLX, performans skoru ve fNIRS sonuçları analiz edilerek elde edilen bulgular paylaşılmıştır. Verilerin istatistiksel analizi için IBM SPSS Statistics 29 paket programı kullanılmıştır.

6.1. NASA–TLX Sonuçları

Tecrübesiz ve tecrübeli gruptan üç farklı zorluk düzeyindeki senaryolarda yer alan görevlere ilişkin NASA–TLX verileri alınmıştır. Öncelikle altı alt ölçütün yapılan işe etkisi değerlendirilerek ağırlıklandırılmamış iş yükü değerleri belirlenmiştir. Daha sonra İkili Karşılaştırma Tekniği ile altı alt ölçüt iş yüküne katkısına göre ağırlıklandırılmış ve genel iş yükü indeksi elde edilmiştir. Kolay, orta ve zor senaryolar için elde edilen NASA–TLX sonuçları Tablo 6.1’de sunulmuştur.

Tablo 6.1. NASA–TLX için altı alt ölçüte ait elde edilen sonuçlar

	Kolay Senaryo		Orta Senaryo		Zor Senaryo	
	Tecrübesiz	Tecrübeli	Tecrübesiz	Tecrübeli	Tecrübesiz	Tecrübeli
Zihinsel Talep	354,33	153,67	149,17	95,00	285,67	248,21
Fiziksel Talep	22,00	25,83	252,86	205,00	33,00	66,88
Zamansal Talep	86,92	42,27	323,33	200,83	307,69	204,17
Performans	81,54	55,42	162,50	55,38	107,50	67,50
Çaba / Efor	141,25	39,23	203,46	146,79	147,14	92,14
Rahatsızlık Seviyesi	108,21	50,42	114,09	78,64	161,07	160,91

Kolay senaryoda tecrübesiz grup için NASA–TLX alt ölçütleri arasında en yüksek skor 354,33 ile zihinsel talebe, en düşük skor 22,00 ile fiziksel talebe aittir (Tablo 6.1). Benzer şekilde, kolay senaryoda tecrübeli grup için en yüksek skor 153,67 ile zihinsel talebe, en düşük skor 25,83 ile fiziksel talebe aittir (Tablo 6.1). Lastik basıncı değerinin ATA-100 sisteminde bulunması ve anahtar takımlarının inç ölçü sistemine göre küçükten büyüğe doğru sıralanması, kolay senaryoyu oluşturan görevlerdir. Her iki grup için de en yüksek ve en düşük skorların zihinsel talep ve fiziksel talep için olması; bu

görevlerin düşünme, hesaplama, arama gibi beceriler gerektirmesi ve bu görevler için fiziksel aktiviteye ihtiyaç duyulmaması ile açıklanabilir.

Orta senaryoda tecrübesiz grup için NASA–TLX alt ölçütleri arasında en yüksek iki skor zamansal talebe ve fiziksel talebe ait olup, sırasıyla 323,33 ve 252,86 olarak ölçülmüştür (Tablo 6.1). Benzer şekilde, orta senaryoda tecrübeli grup için en yüksek iki skor fiziksel talebe ve zamansal talebe ait olup, sırasıyla 205,00 ve 200,83 olarak ölçülmüştür (Tablo 6.1). Orta senaryoda, pervane civatasının torklanması ve emniyet teli yapılması görevleri yer almaktadır. Her iki grup için de fiziksel talep skorunun yüksek olması, hava aracı bakım süreçlerinde sıklıkla uygulanan bu işlemlerin yoğun bir fiziksel aktivite gerektirmesi ile açıklanabilir. Oluşturulan orta senaryoda, toplamda üç farklı kabiliyete ait görevlerin yapılması için sadece 5 dakika süre tanınmıştır. Orta senaryoda 5 dakika süre sınırlaması olmasının, her iki grup için de zamansal talep skorunun yüksek olmasına neden olduğu düşünülmektedir.

Zor senaryoda tecrübesiz grup için NASA–TLX alt ölçütleri arasında en yüksek iki skor zamansal talebe ve zihinsel talebe ait olup, sırasıyla 307,69 ve 285,67 olarak ölçülmüştür. (Tablo 6.1). Benzer şekilde, zor senaryoda tecrübeli grup için en yüksek iki skor zihinsel talebe ve zamansal talebe ait olup, sırasıyla 248,21 ve 204,17 olarak ölçülmüştür (Tablo 6.1). Zor senaryoda, katılımcıya verilen parçanın çiziminin yorumlanması, parça üzerinde ölçüm yapılması, ovallik limitinin hesaplanması ve parçanın limit içi ya da limit dışı olduğuna karar verilmesi görevleri yer almaktadır. Her iki grup için de zihinsel talep skorunun yüksek olması, bu görevlerin zihinsel ve algısal aktivite gerektirmesiyle açıklanabilir. Oluşturulan zor senaryoda, toplamda altı farklı kabiliyete ait görevlerin yapılması için sadece 5 dakika süre tanınmıştır. Zor senaryoda 5 dakika süre sınırlaması olmasının, her iki grup için de zamansal talep skorunun yüksek olmasına neden olduğu düşünülmektedir.

Bu çalışmada deneyimin (tecrübesiz/tecrübeli) ve senaryo zorluk düzeyinin (kolay/orta/zor) ortalama NASA–TLX sonuçlarına etkisi araştırılmıştır. Bu kapsamda aşağıda yer alan hipotezler kurularak, verilerin analizi ile sıfır hipotezi test edilmiştir.

Ho: Her bir senaryo zorluk düzeyinde tecrübesiz ve tecrübeli gruplar için ortalama NASA–TLX sonuçları arasında fark yoktur.

Ha: En az bir senaryo zorluk düzeyinde tecrübesiz ve tecrübeli gruplar için ortalama NASA–TLX sonucu farklıdır.

Ho: Tecrübesiz grup için senaryo zorluk düzeyleri ve ortalama NASA–TLX sonuçları arasında fark yoktur.

Ha: Tecrübesiz grup için en az bir senaryo zorluk düzeyi ve ortalama NASA–TLX sonucu diğerlerinden farklıdır.

Ho: Tecrübeli grup için senaryo zorluk düzeyleri ve ortalama NASA–TLX sonuçları arasında fark yoktur.

Ha: Tecrübeli grup için en az bir senaryo zorluk düzeyi ve ortalama NASA–TLX sonucu diğerlerinden farklıdır.

6.1.1. Deneyimin etkisi için analiz ve bulgular

Öncelikle tecrübesiz ve tecrübeli grupta yer alan katılımcıların verilerinin normal dağılıp dağılmadığı incelenmiş olup, Tablo 6.2’de sunulan sonuçlara göre verilerin normal dağıldığı görülmüştür ($p>0,05$). Deneyimin ortalama NASA–TLX sonuçlarına etkisi t-test ile analiz edilmiştir. Tablo 6.3’te ortalama ve standart sapma değerleri, Tablo 6.4’te varyansların eşitliğinin değerlendirildiği Levene’s Test sonucu ile t-test sonucunda elde edilen anlamlılık seviyeleri (p) sunulmuştur.

Tablo 6.2. Normallik testi sonuçları

Shapiro-Wilk				
		İstatistik	Serbestlik derecesi (sd)	p
Kolay senaryo	Tecrübesiz	,982	15	,983
	Tecrübeli	,921	15	,202
Orta senaryo	Tecrübesiz	,927	15	,243
	Tecrübeli	,887	15	,060
Zor senaryo	Tecrübesiz	,972	15	,892
	Tecrübeli	,945	15	,452

Tablo 6.3. Grup istatistikleri

		Ortalama	Standart Sapma
Kolay senaryo	Tecrübesiz	48,11	18,71
	Tecrübeli	20,91	11,04
Orta senaryo	Tecrübesiz	68,71	17,14
	Tecrübeli	43,37	24,06
Zor senaryo	Tecrübesiz	63,42	17,06
	Tecrübeli	45,91	28,74

Tablo 6.4. Levene's Test ve t-test sonuçları

		Levene's Test				Anlamlılık		
		F	p	t	sd	p (tek yönlü)	p (iki yönlü)	Ortalamalar arası fark
Kolay senaryo	Varyanslar eşit	3,51	,071	4,84	28	<,001	<,001	27,20
	Varyanslar eşit değil			4,84	22,70	<,001	<,001	27,20
Orta senaryo	Varyanslar eşit	4,27	,048	3,32	28	,001	,003	25,33
	Varyanslar eşit değil			3,32	25,29	,001	,003	25,33
Zor senaryo	Varyanslar eşit	4,30	,047	2,02	28	,026	,052	17,51
	Varyanslar eşit değil			2,02	22,78	,027	,054	17,51

%95 güven seviyesinde kolay ve orta düzeydeki senaryolarda tecrübesiz ve tecrübeli gruplar için ortalama NASA–TLX sonuçları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık vardır (kolay senaryo için $p<0,001$ ve orta senaryo için $p=0,003$).

Kolay senaryo için tecrübesiz ve tecrübeli grubun ortalaması sırasıyla 48,11 ve 20,91 olarak bulunmuştur (Tablo 6.3). Orta senaryo için tecrübesiz ve tecrübeli grubun ortalaması sırasıyla 68,71 ve 43,37 olarak bulunmuştur (Tablo 6.3). Hem kolay hem orta senaryo için tecrübesiz grubun ortalama NASA–TLX sonucunun daha yüksek olması gerçekleştirilen görevlerde daha çok zorlandıklarını göstermektedir.

%95 güven seviyesinde zor düzeydeki senaryoda tecrübesiz ve tecrübeli gruplar için ortalama NASA–TLX sonuçları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık olmamasına rağmen %90 güven seviyesi olarak çalışıldığında gruplar arasındaki fark anlamlıdır ($p=0,054$).

Zor senaryo için tecrübesiz ve tecrübeli grubun ortalaması sırasıyla 63,42 ve 45,91 olarak bulunmuştur (Tablo 6.3). Tecrübesiz grup zor senaryoda gerçekleştirilen görevlerde tecrübeli gruba göre daha çok zorlanmıştır.

Sonuç olarak, kolay ve orta düzeydeki senaryolarda %95 güven seviyesinde, zor düzeydeki senaryoda %90 güven seviyesinde tecrübesiz ve tecrübeli gruplar için ortalama NASA-TLX sonuçları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık bulunmaktadır. Dolayısı ile “Her bir senaryo zorluk düzeyinde tecrübesiz ve tecrübeli gruplar için ortalama NASA-TLX sonuçları arasında fark yoktur.” hipotezi (Ho) reddedilmiştir ve “En az bir senaryo zorluk düzeyinde tecrübesiz ve tecrübeli gruplar için ortalama NASA-TLX sonucu farklıdır.” hipotezi (Ha) kabul edilmiştir.

Yapılan analizler ve değerlendirmeler sonucunda; tüm senaryo zorluk düzeylerinde tecrübeli grup için ortalama NASA-TLX sonuçlarının tecrübesiz gruba göre daha düşük olduğu, gerçekleştirilen görevlerde daha az zorlandıkları görülmektedir. Bu noktada deneyimin etkisi ve önemi ortaya çıkmış olup, belirli bir tecrübeye sahip olmayan katılımcıların iş yükü değerleri yüksek olarak ölçülmektedir.

6.1.2. Senaryo zorluk düzeyinin etkisi için analiz ve bulgular

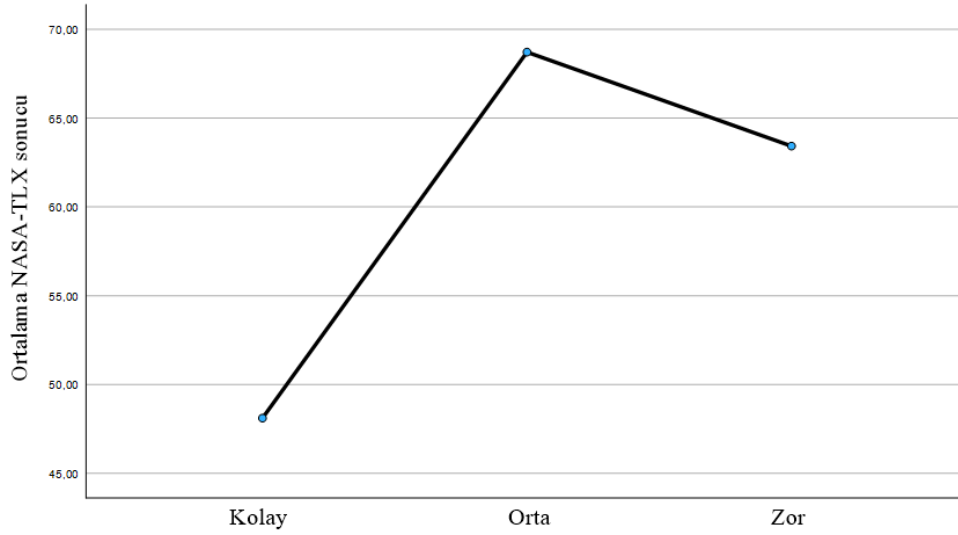
Senaryo zorluk düzeyinin (kolay/orta/zor) ortalama NASA-TLX sonuçlarına etkisi ANOVA tablosu ile analiz edilerek bu bölümde sunulmuştur. Analizler tecrübesiz ve tecrübeli grup için ayrı ayrı yapılmış olup, analiz öncesinde katılımcıların verilerinin normal dağıldığı görülmüştür (Tablo 6.2). Tecrübesiz grup için Tablo 6.5’te ANOVA sonuçları sunulmuştur.

Tablo 6.5. *Tecrübesiz grup için ANOVA sonuçları*

	Kareler toplamı	sd	Ortalama kare	F	p
Gruplar arası	3434,00	2	1717,00	5,50	,008
Gruplar içi	13096,37	42	311,81		
Toplam	16530,38	44			

Tablo 6.5’e göre tecrübesiz grup için senaryo zorluk düzeylerinin NASA-TLX sonuçlarına anlamlı bir etkisinin olduğu bulunmuştur ($p=0,008$). Şekil 6.1’de tecrübesiz grup için senaryo zorluk düzeyleri ortalamaları grafiği verilmiştir. Buna göre, kolay senaryoda NASA-TLX sonucu düşükken, orta ve zor senaryolarda NASA-TLX sonucu

yüksek olarak bulunmuştur. Hangi zorluk düzeyleri ortalamaları arasında fark olduğunu belirlemek için Tukey testi uygulanmış ve elde edilen sonuçlar Tablo 6.6’da sunulmuştur.



Şekil 6.1. Tecrübesiz grup için senaryo zorluk düzeyleri ortalamaları grafiği

Tablo 6.6. Tecrübesiz grup için Tukey testi sonuçları

		Ortalamalar arası fark	Standart hata	p
Kolay senaryo	Orta senaryo	-20,60	6,44	,007
	Zor senaryo	-15,31	6,44	,057
Orta senaryo	Kolay senaryo	20,60	6,44	,007
	Zor senaryo	5,28	6,44	,693
Zor senaryo	Kolay senaryo	15,31	6,44	,057
	Orta senaryo	-5,28	6,44	,693

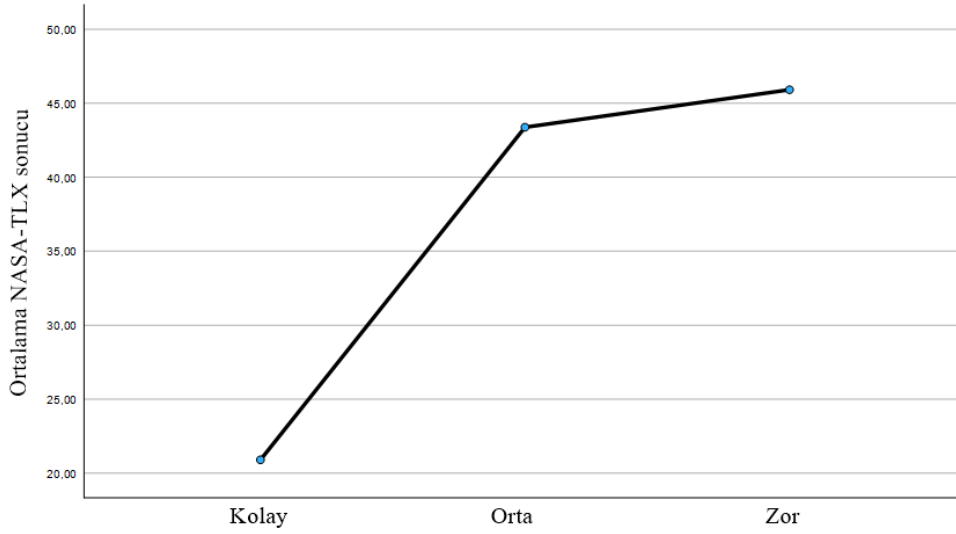
Yapılan analizler sonucunda Tablo 6.6’ya göre %95 güven seviyesinde kolay-orta senaryo zorluk düzeyleri arasında ($p=0,007$) ve %90 güven seviyesinde kolay-zor senaryo zorluk düzeyleri arasında ($p=0,057$) istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmuş olup, orta-zor senaryo zorluk düzeyleri arasındaki fark anlamlı değildir ($p=0,693$). Dolayısı ile “Tecrübesiz grup için senaryo zorluk düzeyleri ve ortalama NASA–TLX sonuçları arasında fark yoktur.” hipotezi (H_0) reddedilmiştir ve “Tecrübesiz grup için en az bir senaryo zorluk düzeyi ve ortalama NASA–TLX sonucu diğerlerinden farklıdır.” hipotezi (H_a) kabul edilmiştir.

Tecrübeli grup için Tablo 6.7’de ANOVA sonuçları sunulmuştur.

Tablo 6.7. Tecrübeli grup için ANOVA sonuçları

	Kareler toplamı	sd	Ortalama kare	F	p
Gruplar arası	5681,21	2	2840,60	5,57	,007
Gruplar içi	21387,01	42	509,21		
Toplam	27068,22	44			

Tablo 6.7'ye göre tecrübeli grup için senaryo zorluk düzeylerinin NASA-TLX sonuçlarına anlamlı bir etkisinin olduğu bulunmuştur ($p=0,007$). Şekil 6.2'de tecrübeli grup için senaryo zorluk düzeyleri ortalamaları grafiği verilmiştir. Buna göre, kolay senaryoda NASA-TLX sonucu düşükken, orta ve zor senaryolarda NASA-TLX sonucu yüksek olarak bulunmuştur. Hangi zorluk düzeyleri ortalamaları arasında fark olduğunu belirlemek için Games-Howell testi uygulanmış ve elde edilen sonuçlar Tablo 6.8'de sunulmuştur.



Şekil 6.2. Tecrübeli grup için senaryo zorluk düzeyleri ortalamaları grafiği

Tablo 6.8. Tecrübeli grup için Games-Howell testi sonuçları

		Ortalamalar arası fark	Standart hata	p
Kolay senaryo	Orta senaryo	-22,46	6,83	,010
	Zor senaryo	-25,00	7,95	,015
Orta senaryo	Kolay senaryo	22,46	6,83	,010
	Zor senaryo	-2,53	9,68	,963
Zor senaryo	Kolay senaryo	25,00	7,95	,015
	Orta senaryo	2,53	9,68	,963

Yapılan analizler sonucunda Tablo 6.8'e göre %95 güven seviyesinde kolay-orta senaryo zorluk düzeyleri arasında ($p=0,010$) ve kolay-zor senaryo zorluk düzeyleri arasında ($p=0,015$) istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmuş olup, orta-zor senaryo zorluk düzeyleri arasındaki fark anlamlı değildir ($p=0,963$). Dolayısı ile "Tecrübeli grup için senaryo zorluk düzeyleri ve ortalama NASA-TLX sonuçları arasında fark yoktur." hipotezi (H_0) reddedilmiştir ve "Tecrübeli grup için en az bir senaryo zorluk düzeyi ve ortalama NASA-TLX sonucu diğerlerinden farklıdır." hipotezi (H_a) kabul edilmiştir.

Her iki grup için yapılan analizler ve değerlendirmeler sonucunda; hem tecrübesiz grup için hem tecrübeli grup için kolay senaryodan zor senaryoya doğru ortalama NASA-TLX sonuçlarında bir artış olduğu, yani senaryo zorluğu arttıkça katılımcıların görevlerinde daha çok zorlandığı görülmüştür. Kolay senaryoda yer alan iki kabiliyetin zorluk derecesi toplamının 0,0735; zor senaryoda yer alan altı kabiliyetin zorluk derecesi toplamının 0,3735 olması her iki grubun ortalama NASA-TLX sonuçlarında belirgin bir fark yaratmıştır. Her iki grup için de kolay-orta ve kolay-zor senaryo zorluk düzeyleri arasındaki fark anlamlı iken orta-zor senaryo zorluk düzeyleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark görülmemiştir. Senaryolar için belirlenen 5 dakikalık süre kısıtlamasının orta senaryoda her iki grup için de beklenenden daha fazla zaman baskısı oluşturmamasının bu duruma etki ettiği düşünülmektedir.

6.2. Performans Skoru Sonuçları

Tecrübesiz ve tecrübeli katılımcıların gerçekleştirdikleri her senaryo, bir SHY-147 kuruluşunun değerlendirici eğitmen olarak yetkilendirdiği eğitmen tarafından değerlendirilmiştir. Deneysel çalışmalar değerlendirici eğitmen tarafından takip edilerek, çalışmanın bitiminde katılımcıların performans skorları belirlenmiştir. Performans skorlarının belirlenmesinde katılımcılara verilen föyler üzerinde yapılan işlemler ve deneysel çalışma için harcanan süre dikkate alınmıştır.

Kolay, orta ve zor senaryolar için elde edilen ortalama performans skoru sonuçları Tablo 6.9'da sunulmuştur. Değerlendirmeler 100 puan üzerinden yapılmıştır.

Tablo 6.9. *Tecrübesiz ve tecrübeli grup için ortalama performans skorları*

		Ortalama	Standart Sapma
Kolay senaryo	Tecrübesiz	81,77	19,66
	Tecrübeli	89,77	10,79
Orta senaryo	Tecrübesiz	72,33	11,78
	Tecrübeli	82,33	7,28
Zor senaryo	Tecrübesiz	66,41	18,78
	Tecrübeli	77,21	14,49

Üç senaryo zorluk düzeyi için de beş dakikalık süre verilmesine karşın kolay senaryodan zor senaryoya doğru katılımcıların görev sayılarında bir artış olmasının performans skorlarına etki ettiği görülmektedir. Tecrübesiz grupta kolay senaryo için ortalama performans skoru 81,77 iken zor senaryoda ortalama performans skorunda azalma olmuş ve 66,41 olarak belirlenmiştir (Tablo 6.9). Benzer şekilde, tecrübeli grupta kolay senaryo için ortalama performans skoru 89,77 iken zor senaryoda ortalama performans skorunda azalma olmuş ve 77,21 olarak belirlenmiştir (Tablo 6.9).

Bu çalışmada deneyimin (tecrübesiz/tecrübeli) ve senaryo zorluk düzeyinin (kolay/orta/zor) ortalama performans skorlarına etkisi araştırılmıştır. Bu kapsamda aşağıda yer alan hipotezler kurularak, verilerin analizi ile sıfır hipotezi test edilmiştir.

Ho: Her bir senaryo zorluk düzeyinde tecrübesiz ve tecrübeli gruplar için ortalama performans skorları arasında fark yoktur.

Ha: En az bir senaryo zorluk düzeyinde tecrübesiz ve tecrübeli gruplar için ortalama performans skoru farklıdır.

Ho: Tecrübesiz grup için senaryo zorluk düzeyleri ve ortalama performans skorları arasında fark yoktur.

Ha: Tecrübesiz grup için en az bir senaryo zorluk düzeyi ve ortalama performans skoru diğerlerinden farklıdır.

Ho: Tecrübeli grup için senaryo zorluk düzeyleri ve ortalama performans skorları arasında fark yoktur.

Ha: Tecrübeli grup için en az bir senaryo zorluk düzeyi ve ortalama performans skoru diğerlerinden farklıdır.

6.2.1. Deneyimin etkisi için analiz ve bulgular

Öncelikle tecrübesiz ve tecrübeli grupta yer alan katılımcıların verilerinin normal dağılıp dağılmadığı incelenmiş olup, Tablo 6.10'da sunulan sonuçlara göre verilerin normal dağılmadığı görülmüştür ($p < 0,05$). Deneyimin ortalama performans skorlarına etkisi Mann-Whitney U testi ile analiz edilmiştir. Tablo 6.11'de Mann-Whitney U testi sonucunda elde edilen anlamlılık seviyeleri sunulmuştur.

Tablo 6.10. *Normallik testi sonuçları*

		Shapiro-Wilk		
		İstatistik	sd	p
Kolay senaryo	Tecrübesiz	,626	15	<,001
	Tecrübeli	,840	15	,013
Orta senaryo	Tecrübesiz	,341	15	<,001
	Tecrübeli	,859	15	,023
Zor senaryo	Tecrübesiz	,872	15	,036
	Tecrübeli	,854	15	,020

Tablo 6.11. *Mann-Whitney U testi sonuçları*

		N	Sıra Ortalaması	Sıraların Toplamı	Mann-Whitney U	p
Kolay senaryo	Tecrübesiz	15	12,93	194,00	74,000	,108
	Tecrübeli	15	18,07	271,00		
Orta senaryo	Tecrübesiz	15	10,63	159,50	39,500	<,001
	Tecrübeli	15	20,37	305,50		
Zor senaryo	Tecrübesiz	15	12,63	189,50	69,500	,074
	Tecrübeli	15	18,37	275,50		

%95 güven seviyesinde kolay düzeydeki senaryoda tecrübesiz ve tecrübeli gruplar için ortalama performans skoru arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık yoktur ($p=0,108$). %95 güven seviyesinde orta düzeydeki senaryoda tecrübesiz ve tecrübeli gruplar için ortalama performans skoru arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık vardır ($p < 0,001$). Orta senaryo için tecrübesiz ve tecrübeli grubun sıra ortalaması sırasıyla 10,63 ve 20,37 olarak bulunmuştur (Tablo 6.11). Tecrübesiz grup orta senaryoda gerçekleştirilen görevlerde tecrübeli gruba göre daha düşük bir performans göstermiştir. %95 güven seviyesinde zor düzeydeki senaryoda tecrübesiz ve tecrübeli gruplar için ortalama performans skorları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir

farklılık olmamasına rağmen %90 güven seviyesi olarak çalışıldığında gruplar arasındaki fark anlamlıdır ($p=0,074$). Zor senaryo için tecrübesiz ve tecrübeli grubun sıra ortalaması sırasıyla 12,63 ve 18,37 olarak bulunmuştur (Tablo 6.11). Tecrübesiz grup zor senaryoda gerçekleştirilen görevlerde tecrübeli gruba göre daha düşük bir performans göstermiştir.

Sonuç olarak, orta düzeydeki senaryoda %95 güven seviyesinde, zor düzeydeki senaryoda %90 güven seviyesinde tecrübesiz ve tecrübeli gruplar için ortalama performans skorları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık bulunmaktadır. Dolayısı ile “Her bir senaryo zorluk düzeyinde tecrübesiz ve tecrübeli gruplar için ortalama performans skorları arasında fark yoktur.” hipotezi (H_0) reddedilmiştir ve “En az bir senaryo zorluk düzeyinde tecrübesiz ve tecrübeli gruplar için ortalama performans skoru farklıdır.” hipotezi (H_a) kabul edilmiştir.

Yapılan analizler ve değerlendirmeler sonucunda; orta ve zor senaryo zorluk düzeylerinde tecrübeli grup için ortalama performans skorlarının tecrübesiz gruba göre daha yüksek olduğu, gerçekleştirilen görevlerde daha yüksek bir performans gösterdiği görülmektedir. Bu noktada deneyimin etkisi ve önemi ortaya çıkmış olup, belirli bir tecrübeye sahip olmayan katılımcıların performans skorları düşük olmaktadır.

6.2.2. Senaryo zorluk düzeyinin etkisi için analiz ve bulgular

Senaryo zorluk düzeyinin (kolay/orta/zor) ortalama performans skorlarına etkisi bu bölümde sunulmuştur. Analizler tecrübesiz ve tecrübeli grup için ayrı ayrı yapılmış olup, analiz öncesinde katılımcıların verilerinin normal dağılmadığı görülmüştür (Tablo 6.10). Tecrübesiz grup için Tablo 6.12’de Kruskal-Wallis H test sonuçları sunulmuştur.

Tablo 6.12. *Tecrübesiz grup için Kruskal-Wallis H test sonuçları*

		N	Sıra Ortalaması	Kruskal-Wallis H	sd	p
Performans skoru	Kolay senaryo	15	32,10	11,612	2	0,003
	Orta senaryo	15	20,07			
	Zor senaryo	15	16,83			

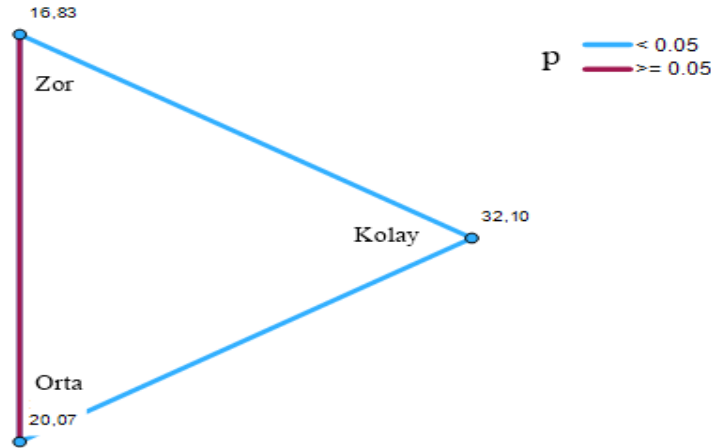
Tablo 6.12’ye göre tecrübesiz grup için senaryo zorluk düzeylerinin ortalama performans skorlarına anlamlı bir etkisinin olduğu bulunmuştur ($p=0,003$). Hangi zorluk düzeyleri ortalamaları arasında fark olduğunu belirlemek için üç grubun karşılaştırmasının aynı anda yapılabildiği Kruskal-Wallis H hipotez testi yöntemi

[Kruskal-Wallis 1-way ANOVA (k samples)] uygulanmış ve Bonferroni düzeltmeli anlamlılık değerlerini gösteren sonuçlar Tablo 6.13'te sunulmuştur. Şekil 6.3'te grupların ikili karşılaştırmaları gösterilmiştir.

Tablo 6.13. Tecrübesiz grup için Kruskal-Wallis H hipotez testi sonuçları

	Test istatistiği	Standart hata	Standart test istatistiği	Düzeltilmiş p
Zor senaryo - Orta senaryo	3,233	4,722	,685	1,000
Zor senaryo - Kolay senaryo	15,267	4,722	3,233	,004
Orta senaryo - Kolay senaryo	12,033	4,722	2,548	,032

Yapılan analizler sonucunda Tablo 6.13'e göre %95 güven seviyesinde kolay-orta senaryo zorluk düzeyleri arasında ($p=0,032$) ve kolay-zor senaryo zorluk düzeyleri arasında ($p=0,004$) istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmuş olup, orta-zor senaryo zorluk düzeyleri arasındaki fark anlamlı değildir ($p=1,000$). Dolayısı ile "Tecrübesiz grup için senaryo zorluk düzeyleri ve ortalama performans skorları arasında fark yoktur." hipotezi (H_0) reddedilmiştir ve "Tecrübesiz grup için en az bir senaryo zorluk düzeyi ve ortalama performans skoru diğerlerinden farklıdır." hipotezi (H_a) kabul edilmiştir.



Şekil 6.3. Tecrübesiz grup için senaryo zorluk düzeylerinin ikili karşılaştırmaları

Tablo 6.14. Tecrübeli grup için Kruskal-Wallis H test sonuçları

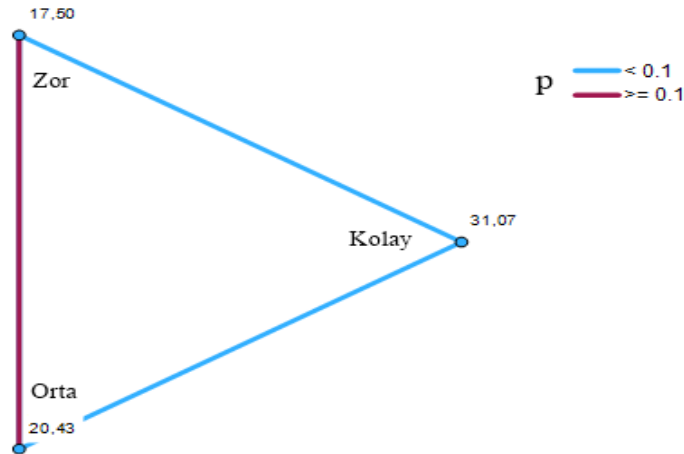
		N	Sıra Ortalaması	Kruskal-Wallis H	sd	p
Performans skoru	Kolay senaryo	15	31,07	8,919	2	0,012
	Orta senaryo	15	20,43			
	Zor senaryo	15	17,50			

Tecrübeli grup için Tablo 6.14’te Kruskal-Wallis H test sonuçları sunulmuştur. Tablo 6.14’e göre tecrübesiz grup için senaryo zorluk düzeylerinin ortalama performans skorlarına anlamlı bir etkisinin olduğu bulunmuştur ($p=0,012$). Hangi zorluk düzeyleri ortalamaları arasında fark olduğunu belirlemek için üç grubun karşılaştırmasının aynı anda yapılabildiği Kruskal-Wallis H hipotez testi yöntemi [Kruskal-Wallis 1-way ANOVA (k samples)] uygulanmış ve Bonferroni düzeltmeli anlamlılık değerlerini gösteren sonuçlar Tablo 6.15’te sunulmuştur. Şekil 6.4’te grupların ikili karşılaştırmaları gösterilmiştir.

Tablo 6.15. Tecrübeli grup için Kruskal-Wallis H hipotez testi sonuçları

	Test istatistiği	Standart hata	Standart test istatistiği	Düzeltilmiş p
Zor senaryo - Orta senaryo	2,933	4,780	,614	1,000
Zor senaryo - Kolay senaryo	13,567	4,780	2,838	,014
Orta senaryo - Kolay senaryo	10,633	4,780	2,224	,078

Yapılan analizler sonucunda Tablo 6.15’e göre %90 güven seviyesinde kolay-orta senaryo zorluk düzeyleri arasında ($p=0,078$) ve %95 güven seviyesinde kolay-zor senaryo zorluk düzeyleri arasında ($p=0,014$) istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmuş olup, orta-zor senaryo zorluk düzeyleri arasındaki fark anlamlı değildir ($p=1,000$). Dolayısı ile “Tecrübeli grup için senaryo zorluk düzeyleri ve ortalama performans skorları arasında fark yoktur.” hipotezi (H_0) reddedilmiştir ve “Tecrübeli grup için en az bir senaryo zorluk düzeyi ve ortalama performans skoru diğerlerinden farklıdır.” hipotezi (H_a) kabul edilmiştir.



Şekil 6.4. Tecrübeli grup için senaryo zorluk düzeylerinin ikili karşılaştırmaları

Her iki grup için yapılan analizler ve değerlendirmeler sonucunda; hem tecrübesiz grup için hem tecrübeli grup için kolay senaryodan zor senaryoya doğru ortalama performans skorlarında bir azalma olduğu, yani senaryo zorluğu arttıkça katılımcıların görevlerinde daha düşük performans gösterdiği görülmüştür. Her iki grup için de kolay-orta ve kolay-zor senaryo zorluk düzeyleri arasındaki fark anlamlı iken orta-zor senaryo zorluk düzeyleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark görülmemiştir. Bu durumun, senaryo zorluk düzeyinin ortalama NASA-TLX sonuçlarına etkisi ile benzer olduğu görülmektedir.

6.3. fNIRS Sonuçları

Deneysel çalışmalardan elde edilen fNIRS verilerinin analizi için fnirSoft programı kullanılmıştır. Veri analizinin üç temel amacı vardır. Bunlar, gürültüyü temizlemek, kötü kanalları dışlamak ve blokları tanımlamaktır. Verilerin analizine örnek olarak tecrübesiz bir katılımcının orta zorlukta senaryoya ait çalışması seçilmiştir. Öncelikle 16 tane optode ile alınan veriler için bir ön değerlendirme yapılarak kötü kanallar dışlanmıştır. Daha sonra iki aşamalı filtreleme (FIR Filtering) yapılarak gürültüyü temizlemek amaçlanmıştır. İlk filtreleme işlenmemiş verilere, ikinci filtreleme işlenmiş verilere uygulanmıştır. Şekil 6.5'te filtreleme işlemi öncesi ve sonrası için verilerin grafiksel gösterimi sunulmuştur.

Şekilde 6.5'te oksihemoglobin (kırmızı renkli) ve deoksihemoglobin (mavi renkli) için zamanla meydana gelen konsantrasyon değişimleri görülmektedir. 1 numaralı blok katılımcıya verilen föyde görseli sunulan pervane cıvatasının parça kataloğu dokümanı içinde bulunarak parça numarasının yazılması görevinin başlangıcını, 2 numaralı blok pervane cıvatalarından herhangi birinin belirtilen değerde torklanması görevinin başlangıcını, 3 numaralı blok pervane üzerinde yer alan herhangi iki cıvata için emniyet teli yapılması görevinin başlangıcını ve 4 numaralı blok deneysel çalışmanın bitişini tanımlamaktadır. Tüm katılımcılar için kolay, orta ve zor senaryolara ait veriler benzer şekilde analiz edilmiştir.



Şekil 6.5. Seçilen örnek çalışmada fNIRS verilerine filtreleme işleminin uygulanması

Bu çalışmada deneyimin (tecrübesiz/tecrübeli) ve senaryo zorluk düzeyinin (kolay/orta/zor) ortalama fNIRS sonuçlarına etkisi araştırılmıştır. fNIRS sonuçlarını, ölçüm sonrasında elde edilen ortalama HbO_2 , HbR ve HbT değerleri oluşturmaktadır. Bu kapsamda aşağıda yer alan hipotezler kurularak, verilerin analizi ile sıfır hipotezi test edilmiştir.

Ho: Her bir senaryo zorluk düzeyinde tecrübesiz ve tecrübeli gruplar için ortalama fNIRS sonuçları arasında fark yoktur.

Ha: En az bir senaryo zorluk düzeyinde tecrübesiz ve tecrübeli gruplar için ortalama fNIRS sonucu farklıdır.

Ho: Tecrübesiz grup için senaryo zorluk düzeyleri ve ortalama fNIRS sonuçları arasında fark yoktur.

Ha: Tecrübesiz grup için en az bir senaryo zorluk düzeyi ve ortalama fNIRS sonucu diğerlerinden farklıdır.

Ho: Tecrübeli grup için senaryo zorluk düzeyleri ve ortalama fNIRS sonuçları arasında fark yoktur.

Ha: Tecrübeli grup için en az bir senaryo zorluk düzeyi ve ortalama fNIRS sonucu diğerlerinden farklıdır.

6.3.1. Deneyimin etkisi için analiz ve bulgular

Öncelikle tecrübesiz ve tecrübeli grupta yer alan katılımcıların verilerinin normal dağılıp dağılmadığı incelenmiş olup, Tablo 6.16’da sunulan sonuçlara göre verilerin normal dağıldığı görülmüştür ($p>0,05$). Deneyimin ortalama fNIRS sonuçlarına etkisi t-test ile analiz edilmiştir. Tablo 6.17’de ortalama ve standart sapma değerleri, Tablo 6.18, Tablo 6.19 ve Tablo 6.20’de varyansların eşitliğinin değerlendirildiği Levene’s Test sonucu ile t-test sonucunda elde edilen anlamlılık seviyeleri sunulmuştur.

Tablo 6.16. Normallik testi sonuçları

		Shapiro-Wilk								
		HbO ₂			HbR			HbT		
		İstatistik	sd	p	İstatistik	sd	p	İstatistik	sd	p
Kolay senaryo	Tecrübesiz	,919	15	,183	,958	15	,666	,914	15	,156
	Tecrübeli	,919	15	,188	,953	15	,576	,990	15	,999
Orta senaryo	Tecrübesiz	,923	15	,212	,925	15	,232	,968	15	,824
	Tecrübeli	,993	15	1,00	,938	15	,358	,941	15	,391
Zor senaryo	Tecrübesiz	,924	15	,225	,934	15	,310	,976	15	,934
	Tecrübeli	,900	15	,096	,979	15	,962	,929	15	,262

Tablo 6.17. Grup istatistikleri

		HbO ₂		HbR		HbT	
		Ortalama	Standart Sapma	Ortalama	Standart Sapma	Ortalama	Standart Sapma
Kolay senaryo	Tecrübesiz	,64	1,00	-,71	1,18	-,07	1,84
	Tecrübeli	,09	,65	-,66	1,27	-,56	1,66
Orta senaryo	Tecrübesiz	,64	1,29	-1,47	1,57	-,83	2,34
	Tecrübeli	,92	1,27	-1,57	,89	-,64	1,18
Zor senaryo	Tecrübesiz	2,06	1,59	-,56	1,40	1,49	1,59
	Tecrübeli	,67	1,04	-,66	,89	,01	1,38

Tablo 6.18. *Levene's Test ve t-test sonuçları (HbO₂)*

		Levene's Test				Anlamlılık		Ortalamalar arası fark
		F	p	t	sd	p (tek yönlü)	p (iki yönlü)	
Kolay senaryo	Varyanslar eşit	1,87	,18	1,75	28	,045	,090	,54
	Varyanslar eşit değil			1,75	24,0	,046	,092	,54
Orta senaryo	Varyanslar eşit	,06	,80	-,60	28	,276	,552	-,28
	Varyanslar eşit değil			-,60	27,9	,276	,552	-,28
Zor senaryo	Varyanslar eşit	2,05	,16	2,81	28	,004	,009	1,38
	Varyanslar eşit değil			2,81	24,2	,005	,010	1,38

Tablo 6.19. *Levene's Test ve t-test sonuçları (HbR)*

		Levene's Test				Anlamlılık		Ortalamalar arası fark
		F	p	t	sd	p (tek yönlü)	p (iki yönlü)	
Kolay senaryo	Varyanslar eşit	,00	,96	-,12	28	,451	,901	-,05
	Varyanslar eşit değil			-,12	27,8	,451	,901	-,05
Orta senaryo	Varyanslar eşit	1,92	,17	,20	28	,419	,838	,09
	Varyanslar eşit değil			,20	22,2	,419	,838	,09
Zor senaryo	Varyanslar eşit	1,72	,20	,22	28	,411	,823	,09
	Varyanslar eşit değil			,22	23,7	,412	,823	,09

Tablo 6.20. *Levene's Test ve t-test sonuçları (HbT)*

		Levene's Test				Anlamlılık		Ortalamalar arası fark
		F	p	t	sd	p (tek yönlü)	p (iki yönlü)	
Kolay senaryo	Varyanslar eşit	,63	,43	,75	28	,228	,457	,48
	Varyanslar eşit değil			,75	27,7	,228	,457	,48
Orta senaryo	Varyanslar eşit	3,00	,09	-,27	28	,393	,786	-,18
	Varyanslar eşit değil			-,27	20,7	,393	,787	-,18
Zor senaryo	Varyanslar eşit	,54	,46	2,71	28	,006	,011	1,48
	Varyanslar eşit değil			2,71	27,4	,006	,011	1,48

Kolay düzeydeki senaryoda tecrübesiz ve tecrübeli gruplar için %90 güven seviyesinde ortalama HbO₂ sonuçları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık vardır ($p=0,090$). Kolay senaryo için tecrübesiz ve tecrübeli grubun HbO₂ ortalaması sırasıyla 0,64 ve 0,09 olarak bulunmuştur (Tablo 6.17). Tecrübesiz grubun ortalama HbO₂ sonucunun daha yüksek olması gerçekleştirilen görevlerde zihinsel olarak daha çok zorlandıklarını ve görevleri yerine getirirken daha fazla oksijene ihtiyaç duyduklarını göstermektedir.

Orta düzeydeki senaryoda tecrübesiz ve tecrübeli gruplar için %95 güven seviyesinde ortalama fNIRS sonuçları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık görülmemiştir.

Zor düzeydeki senaryoda tecrübesiz ve tecrübeli gruplar için %95 seviyesinde ortalama HbO₂ sonuçları arasında ve ortalama HbT sonuçları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık vardır (HbO₂ için $p=0,009$ ve HbT için $p=0,011$). Zor senaryo için tecrübesiz ve tecrübeli grubun HbO₂ ortalaması sırasıyla 2,06 ve 0,67 olarak bulunmuştur (Tablo 6.17). Zor senaryo için tecrübesiz ve tecrübeli grubun HbT ortalaması sırasıyla 1,49 ve 0,01 olarak bulunmuştur (Tablo 6.17). Tecrübesiz grup zor senaryoda gerçekleştirilen görevlerde tecrübeli gruba göre zihinsel açıdan daha çok zorlanmış olup, serebral oksijenizasyon seviyesinin daha yüksek olduğu görülmüş ve bu durum toplam hemoglobin miktarına etki etmiştir.

Sonuç olarak, tecrübesiz ve tecrübeli gruplar için kolay düzeydeki senaryoda %90 güven seviyesinde ortalama HbO₂ sonuçları arasında, zor düzeydeki senaryoda %95 güven seviyesinde ortalama HbO₂ ve ortalama HbT sonuçları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık bulunmaktadır. Dolayısı ile “Her bir senaryo zorluk düzeyinde tecrübesiz ve tecrübeli gruplar için ortalama fNIRS sonuçları arasında fark yoktur.” hipotezi (H₀) reddedilmiştir ve “En az bir senaryo zorluk düzeyinde tecrübesiz ve tecrübeli gruplar için ortalama fNIRS sonucu farklıdır.” hipotezi (H_a) kabul edilmiştir.

Yapılan analizler ve değerlendirmeler sonucunda; kolay ve zor senaryo zorluk düzeylerinde tecrübeli grup için ortalama oksihemoglobin konsantrasyonlarının tecrübesiz gruba göre daha düşük olduğu, gerçekleştirilen görevlerde bilişsel olarak daha az zorlandıkları görülmektedir. Bu noktada deneyimin etkisi ve önemi ortaya çıkmış olup, belirli bir tecrübeye sahip olmayan katılımcılarda artan bellek yüküyle birlikte oksihemoglobin konsantrasyonlarında daha fazla artış olmaktadır.

6.3.2. Senaryo zorluk düzeyinin etkisi için analiz ve bulgular

Senaryo zorluk düzeyinin (kolay/orta/zor) ortalama fNIRS sonuçlarına etkisi ANOVA tablosu ile analiz edilerek bu bölümde sunulmuştur. Analizler tecrübesiz ve tecrübeli grup için ayrı ayrı yapılmış olup, analiz öncesinde katılımcıların verilerinin normal dağıldığı görülmüştür (Tablo 6.16). Tecrübesiz grup için Tablo 6.21, Tablo 6.22 ve Tablo 6.23'te ANOVA sonuçları sunulmuştur.

Tablo 6.21. *Tecrübesiz grup için ANOVA sonuçları (HbO₂)*

	Kareler toplamı	sd	Ortalama kare	F	p
Gruplar arası	20,20	2	10,10	5,81	,006
Gruplar içi	73,00	42	1,73		
Toplam	93,20	44			

Tablo 6.22. *Tecrübesiz grup için ANOVA sonuçları (HbR)*

	Kareler toplamı	sd	Ortalama kare	F	p
Gruplar arası	7,16	2	3,58	1,83	,173
Gruplar içi	82,09	42	1,95		
Toplam	89,26	44			

Tablo 6.23. *Tecrübesiz grup için ANOVA sonuçları (HbT)*

	Kareler toplamı	sd	Ortalama kare	F	p
Gruplar arası	42,44	2	21,22	5,56	,007
Gruplar içi	160,19	42	3,81		
Toplam	202,64	44			

Tablo 6.21 ve Tablo 6.23'e göre tecrübesiz grup için senaryo zorluk düzeylerinin fNIRS sonuçlarına anlamlı bir etkisinin olduğu bulunmuştur (HbO₂ için p=0,006 ve HbT için p=0,007). Hangi zorluk düzeyleri ortalamaları arasında fark olduğunu belirlemek için Tukey testi uygulanmış ve sonuçlar Tablo 6.24 ve Tablo 6.25'te sunulmuştur.

Tablo 6.24. Tecrübesiz grup için Tukey testi sonuçları (HbO₂)

		Ortalamlar arası fark	Standart hata	p
Kolay senaryo	Orta senaryo	-,00	,48	1,000
	Zor senaryo	-1,42	,48	,014
Orta senaryo	Kolay senaryo	,00	,48	1,000
	Zor senaryo	-1,42	,48	,014
Zor senaryo	Kolay senaryo	1,42	,48	,014
	Orta senaryo	1,42	,48	,014

Tablo 6.25. Tecrübesiz grup için Tukey testi sonuçları (HbT)

		Ortalamlar arası fark	Standart hata	p
Kolay senaryo	Orta senaryo	,75	,71	,542
	Zor senaryo	-1,57	,71	,082
Orta senaryo	Kolay senaryo	-,75	,71	,542
	Zor senaryo	-2,33	,71	,006
Zor senaryo	Kolay senaryo	1,57	,71	,082
	Orta senaryo	2,33	,71	,006

Yapılan analizler sonucunda kolay-zor senaryo zorluk düzeyleri arasında ortalama HbO₂ için %95 güven seviyesinde (p=0,014) ve ortalama HbT için %90 güven seviyesinde (p=0,082) istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmuştur. Orta-zor senaryo zorluk düzeyleri arasında ortalama HbO₂ için %95 güven seviyesinde (p=0,014) ve ortalama HbT için %95 güven seviyesinde (p=0,006) istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmuştur. Dolayısı ile “Tecrübesiz grup için senaryo zorluk düzeyleri ve ortalama fNIRS sonuçları arasında fark yoktur.” hipotezi (H₀) reddedilmiştir ve “Tecrübesiz grup için en az bir senaryo zorluk düzeyi ve ortalama fNIRS sonucu diğerlerinden farklıdır.” hipotezi (H_a) kabul edilmiştir. Tecrübeli grup için Tablo 6.26, Tablo 6.27 ve Tablo 6.28’de ANOVA sonuçları sunulmuştur.

Tablo 6.26. Tecrübeli grup için ANOVA sonuçları (HbO₂)

	Kareler toplamı	sd	Ortalama kare	F	p
Gruplar arası	5,40	2	2,70	2,58	,088
Gruplar içi	43,94	42	1,04		
Toplam	49,34	44			

Tablo 6.27. Tecrübeli grup için ANOVA sonuçları (HbR)

	Kareler toplamı	sd	Ortalama kare	F	p
Gruplar arası	8,31	2	4,15	3,87	,029
Gruplar içi	45,09	42	1,07		
Toplam	53,41	44			

Tablo 6.28. Tecrübeli grup için ANOVA sonuçları (HbT)

	Kareler toplamı	sd	Ortalama kare	F	p
Gruplar arası	3,91	2	1,95	,95	,392
Gruplar içi	85,72	42	2,04		
Toplam	89,64	44			

Tablo 6.26 ve Tablo 6.27'ye göre tecrübeli grup için senaryo zorluk düzeylerinin fNIRS sonuçlarına anlamlı bir etkisinin olduğu bulunmuştur (HbO₂ için p=0,088 ve HbR için p=0,029). Hangi zorluk düzeyleri ortalamaları arasında fark olduğunu belirlemek için Tukey testi uygulanmış ve sonuçlar Tablo 6.29 ve Tablo 6.30'da sunulmuştur.

Tablo 6.29. Tecrübeli grup için Tukey testi sonuçları (HbO₂)

		Ortalamalar arası fark	Standart hata	p
Kolay senaryo	Orta senaryo	-,82	,37	,081
	Zor senaryo	-,57	,37	,277
Orta senaryo	Kolay senaryo	,82	,37	,081
	Zor senaryo	,24	,37	,788
Zor senaryo	Kolay senaryo	,57	,37	,277
	Orta senaryo	-,24	,37	,788

Tablo 6.30. Tecrübeli grup için Tukey testi sonuçları (HbR)

		Ortalamalar arası fark	Standart hata	p
Kolay senaryo	Orta senaryo	,91	,37	,052
	Zor senaryo	,00	,37	1,000
Orta senaryo	Kolay senaryo	-,91	,37	,052
	Zor senaryo	-,91	,37	,053
Zor senaryo	Kolay senaryo	-,00	,37	1,000
	Orta senaryo	,91	,37	,053

Yapılan analizler sonucunda kolay-orta senaryo zorluk düzeyleri arasında ortalama HbO₂ için %90 güven seviyesinde ($p=0,081$) ve ortalama HbR için %90 güven seviyesinde ($p=0,052$) istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmuştur. Orta-zor senaryo zorluk düzeyleri arasında ortalama HbR için %90 güven seviyesinde ($p=0,053$) istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmuştur. Dolayısı ile “Tecrübeli grup için senaryo zorluk düzeyleri ve ortalama fNIRS sonuçları arasında fark yoktur.” hipotezi (H₀) reddedilmiştir ve “Tecrübeli grup için en az bir senaryo zorluk düzeyi ve ortalama fNIRS sonucu diğerlerinden farklıdır.” hipotezi (H_a) kabul edilmiştir.

Her iki grup için yapılan analizler ve değerlendirmeler sonucunda; hem tecrübesiz grup için hem tecrübeli grup için kolay senaryodan zor senaryoya doğru ortalama oksihemoglobin konsantrasyonlarında bir artış olduğu, yani senaryo zorluğu arttıkça katılımcıların zihinsel iş yükünün arttığı görülmüştür. Ortalama oksihemoglobin konsantrasyonları için tecrübesiz grupta kolay-zor ve orta-zor senaryo zorluk düzeyleri arasındaki fark, tecrübeli grupta kolay-orta senaryo zorluk düzeyleri arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur.

Zaman baskısı altında görevlerini yerine getiren hava aracı bakım teknisyenlerinin artan bellek yüküyle beraber serebral kan akışlarındaki değişikliklerin izlenmesiyle elde edilen bu sonuçların literatürle uyumlu olduğu görülmektedir. Görev zorluğunda meydana gelen artışın oksijenizasyon değişikliği bakımından istatistiksel olarak anlamlı bir etkisi bulunmuştur ve görev zorluğunun artmasıyla katılımcıların serebral oksijenizasyon seviyeleri daha yüksek ölçülmüştür.

7. GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Hızla gelişen ve büyüyen havacılık sektöründe, hava trafiğinde küresel boyutta yaşanan artışın etkileri uçak bakım onarım alanında da görülecek ve sahada daha yoğun bir iş yükü olacaktır. Bu alanda çalışan hava aracı bakım teknisyenleri, stres ve zaman baskısı altında, zorlu ortam koşullarında, büyük sorumluluk gerektiren karmaşık görevleri yerine getirmektedir. Bakım ve kontrol süreçlerinde meydana gelen hatalardaki artışlar uçuş emniyetini tehlikeye sokmaktadır. Hatalara yol açan insan faktörlerinin zihinsel iş yükü bağlamında araştırılması neticesinde elde edilen bilgiler oldukça kıymetlidir.

Bu tez çalışmasında;

- Hava aracı bakım teknisyenlerinin farklı zorluk düzeyindeki bakım görevlerini gerçekleştirirken ortaya çıkan zihinsel iş yükleri incelenmiştir.
- Zihinsel iş yükünün ölçümünde objektif ve subjektif ölçüm yöntemleri kullanılarak disiplinlerarası bir çalışma yürütülmüştür.
- Çalışma grubu, tecrübesiz (n=15) ve tecrübeli (n=15) hava aracı bakım teknisyenlerinin gönüllü katılımı ile oluşturulmuştur.
- DeneySEL çalışmalar için zorluk düzeyleri kolay, orta ve zor olan senaryolar bulanık mantık kullanılarak hazırlanmıştır.
- Senaryoların belirlenmesinde “Temel Pratik Eğitim Kayıt Defteri” referans alınmıştır.
- Farklı zorluk düzeyindeki (kolay, orta, zor) senaryolar rastsal sırada uygulanmıştır.
- Zaman baskısı yaratmak için süre kısıtlaması belirlenmiş olup, her bir senaryo 5 dakika ile sınırlandırılmıştır.
- Yürütülen deneySEL çalışmalarda her bir senaryo için veri toplama işlemi şu sıralamada gerçekleşmiştir:
 - DeneySEL çalışmalarda beyindeki prefrontal korteksin oksijenlenmesini ölçmek için katılımcının alın bölgesine fNIRS sensörü yerleştirilmiş ve görev esnasında beyin ön kısmındaki kan akışında meydana gelen değişiklikler ölçülmüştür.
 - DeneySEL çalışmanın bitiminde katılımcılar gerçekleştirdikleri senaryodaki görevlere ilişkin NASA–TLX anketini doldurmuştur.

- Deneysel çalışmalar değerlendirici eğitmen tarafından takip edilerek, çalışmanın bitiminde katılımcıların performans skorları belirlenmiştir.

Deneysel çalışmalara katılım gösteren iki farklı grubun (tecrübesiz, tecrübeli) üç farklı zorluk düzeyindeki (kolay, orta, zor) senaryolarda yer alan görevlerine ilişkin elde edilen ham veriler işlendikten sonra, verilerin istatistiksel analizi için IBM SPSS Statistics 29 paket programı kullanılmıştır. Yapılan analizler ve değerlendirmeler sonucunda, deneyimin ve senaryo zorluk düzeyinin zihinsel iş yüküne etkisinin istatistiksel olarak anlamlı olduğu görülmüştür.

Hava aracı bakım ve onarım süreçleri, farklı çalışma gruplarının koordinasyonunu, iletişimini ve iş birliğini içerdiğinden oldukça dinamik, emniyet açısından kritik ve kurallara bağlıdır. Bu sürecin önemli bir bileşeni olan hava aracı bakım teknisyenlerinin maruz kaldıkları stres ve yorgunluk faktörleri zihinsel iş yükü ile ilişkilidir.

Bu faktörlerden kaynaklanan riskleri azaltmak adına, stresle mücadelede etkin olmanın mezuniyet becerisi olarak değerlendirildiği günümüzde, eğitim kurumları tarafından havacılık emniyeti açısından stres yönetimi yetkinliğine sahip mezunlar yetiştirilmeli; çalışma hayatına başlayan hava aracı bakım teknisyenleri gerekli bireysel önlemleri almalı (yorulduğunda mola vermeli, ekip arkadaşlarından kendisini izlemesini talep etmeli, stres seviyesini azaltmak için sağlıklı bir yaşam biçimini benimsemeli); bakım kuruluşları ve otoriteler gereken hassasiyeti (çalışma koşullarının iyileştirilmesi, prosedürlerin yeniden düzenlenmesi gibi) göstermelidir.

Bakım kuruluşlarında hava aracı bakım teknisyenleri için çalışma ve dinlenme periyotlarının revize edilmesi, zihinsel iş yükü oluşturacak zorlayıcı ve karmaşık bakım görevlerinin ekip üyeleri arasında uygun bir şekilde dağıtılması, bakım planlamada adam-saat hesaplamasının görevin içeriği ile uyumlu ve tecrübeli/tecrübesiz teknisyen dağılımına dikkat edilerek yapılması olası insan hatalarının önüne geçilmesine katkı sunacaktır.

Havacılık sektörünün gelişip büyümesinde, daha güvenli bir havacılık ortamının sağlanmasında, emniyet koşullarının maksimum düzeyde sürdürülebilmesinde otoriteler tarafından konulan kurallar ve prosedürler kilit bir rol oynamıştır. Havacılık ekosisteminin alt kırılımında yer alan iş gücünü oluşturan havacılık personeli için; uçuş ekibi ve hava trafik kontrolörlerinin çalışma ve dinlenme periyotları otoriteler tarafından açıkça belirlenmiş olmasına karşın, hava aracı bakım personeli için yapılan

düzenlemelerin aynı prosedürleri yansıtmadığı görülmektedir. Günümüzde bir pilotun hangi zaman periyodunda ne kadar saat çalışabileceği ve maksimum ne kadar uçuş saatine erişeceği ya da bir hava trafik kontrolörü için dinlenme saatleri ve vardiya düzeni Avrupa Havacılık Emniyeti Ajansı (EASA) dokümanlarında detaylıca belirlenmiş olmasına karşın, hava aracı bakım teknisyenlerinin çalışma saatleri ve limitleriyle ilgili düzenlemelerin eksik olduğu görülmekte olup, bu konudaki inisiyatif bakım onarım merkezlerine bırakılmıştır. Bu belirsizlik sürecinde, bir hava aracı bakım teknisyeninin aşırı çalışmaya maruz kalması zihinsel iş yükünü artırmakta ve bu durum da hata yapma eğilimini artırmaktadır.

Yürütülen bu çalışmanın, hava aracı bakım teknisyenlerinin maruz kaldıkları zihinsel iş yükünün araştırılması konusunda literatür çalışmaları açısından bir temel oluşturacağı öngörülmektedir. Gelecekte yapılacak çalışmalarda bakım teknisyenlerinin zihinsel iş yükünün tespitinde EEG ve fNIRS hibrit nöro-görüntüleme tekniklerinden faydalanılarak beyin elektriksel ve hemodinamik aktivitelerinin daha kapsamlı ölçümü gerçekleştirilebilir.

KAYNAKÇA

- Abtahi, M., Amiri, A.M., Byrd, D., Mankodiya, K. (2017). Hand Motion Detection in fNIRS Neuroimaging Data. *Healthcare*, 5. doi:10.3390/healthcare5020020.
- Airbus. (2022). *Global Services Forecast 2022-2041 Commercial Aviation*.
- Alaimo, A., Esposito, A., Orlando, C., Simoncini, A. (2020). Aircraft Pilots Workload Analysis: Heart Rate Variability Objective Measures and NASA-Task Load Index Subjective Evaluation. *Aerospace*, 7, 137. doi:10.3390/aerospace7090137.
- Almajidy, R.K., Mankodiya, K., Abtahi, M., Hofmann, U.G. (2020). A Newcomer's Guide to Functional Near Infrared Spectroscopy Experiments. *IEEE Reviews in Biomedical Engineering*, 13, 292-308. doi:10.1109/RBME.2019.2944351.
- Ayaz, H. and Dehais, F. (2019). *Neuroergonomics: The Brain at Work and in Everyday Life*. Academic Press. ISBN 9780128119266. doi:10.1016/C2016-0-02196-4.
- Ayaz, H., Onaral, B., Izzetoglu, K., Shewokis, P.A., McKendrick, R., Parasuraman, R. (2013). Continuous monitoring of brain dynamics with functional near infrared spectroscopy as a tool for neuroergonomic research: Empirical examples and a technological development. *Frontiers in Human Neuroscience*, 7, 871. doi:10.3389/fnhum.2013.00871.
- Ayaz, H., Shewokis, P.A., Bunce, S., Izzetoglu, K., Willems, B., Onaral, B. (2012). Optical brain monitoring for operator training and mental workload assessment. *Neuroimage*, 59(1), 36-47. doi:10.1016/j.neuroimage.2011.06.023.
- Ayaz, H., Willems, B., Bunce, B., Shewokis, P.A., Izzetoglu, K., Hah, S., Deshmukh, A.R., Onaral, B. (2010). Cognitive workload assessment of air traffic controllers using optical brain imaging sensors. *Advances in Understanding Human Performance: Neuroergonomics, Human Factors Design, and Special Populations*, 21-31. doi:10.1201/EBK1439835012-4.
- Bernhardt, K.A., Poltavski, D., Petros, T., Ferraro, F.R., Jorgenson, T., Carlson, C., Drechsel, P., Iseminger, C. (2019). The effects of dynamic workload and experience on commercially available EEG cognitive state metrics in a high-fidelity air traffic control environment. *Applied Ergonomics*, 77, 83-91. doi:10.1016/j.apergo.2019.01.008.
- Binias, B., Myszo, D., Palu, H., Cyran, K.A. (2020). Prediction of Pilot's Reaction Time Based on EEG Signals. *Frontiers in Neuroinformatics*, 14:6. doi:10.3389/fninf.2020.00006.
- BIOPAC. (2018). *fNIR Imager and COBI Studio Manual*. COBI Manual version 6.5. California, USA.
- Boeing. (2022a). *Commercial Market Outlook 2022-2041*.
- Boeing. (2022b). *Pilot and Technician Outlook 2022-2041*.
- Butmee, T., Lansdown, T.C. and Walker, G.H. (2019). Mental Workload and Performance Measurements in Driving Task: A Review Literature. In: Bagnara, S., Tartaglia, R., Albolino, S., Alexander, T., Fujita, Y. (eds) *Proceedings of the 20th Congress of the International Ergonomics Association (IEA 2018)*.

- Advances in Intelligent Systems and Computing, 823, Springer, 286-294, doi:10.1007/978-3-319-96074-6_31.
- Byers, J.C., Bittner Jr., A.C. and Hill, S.G. (1989). Traditional and raw task load index (TLX) correlations: are paired comparisons necessary? *Advances in Industrial Ergonomics and Safety I*, 481-485. Philadelphia, PA: Taylor and Francis.
- Cain, B. (2007). *A Review of the Mental Workload Literature*. Toronto: Defence Research and Development Canada.
- Çakır, M.P. (2021). Havacılık Nöroergonomisinde Optik Beyin Görüntüleme Uygulamaları. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 25, 380-391.
- Causse, M., Chua, Z., Peysakhovich, V., Del Campo, N., Matton, N. (2017). Mental workload and neural efficiency quantified in the prefrontal cortex using fNIRS. *Sci. Rep.*, 7(1):5222, 1-15. doi:10.1038/s41598-017-05378-x.
- Causse, M., Chua, Z.K. and Rémy, F. (2019). Influences of age, mental workload, and flight experience on cognitive performance and prefrontal activity in private pilots: a fNIRS study. *Sci Rep.*, 9(1):7688, 1-12. doi:10.1038/s41598-019-44082-w.
- Charles, R.L. and Nixon, J. (2019). Measuring mental workload using physiological measures: A systematic review. *Applied Ergonomics*, 74, 221-232. doi:10.1016/j.apergo.2018.08.028.
- Chen, C.T., Lin, C.T. and Huang, S.F. (2006). A fuzzy approach for supplier evaluation and selection in supply chain management. *International Journal of Production Economics*, 102(2), 289-301. doi:10.1016/j.ijpe.2005.03.009.
- Chen, S. and Wang, C. (2006). Fuzzy Distance of Trapezoidal Fuzzy Numbers. *Proceedings of the 9th Joint International Conference on Information Sciences (JCIS-06)*. Atlantis Press. doi:10.2991/jcis.2006.105.
- Chen, S. and Hwang, C.L. (1992). *Fuzzy Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications, Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems*, vol 375. Berlin, Heidelberg: Springer. doi:10.1007/978-3-642-46768-4.
- Chenani, K.T. and Madadzadeh, F. (2020). A Short Review of Subjective Measures in Mental Workload Assessment. *IJOH*, 12(3), 272-273.
- Dehais F., Duprès A., Di Flumeri G., Verdière K.J., Borghini G., Babiloni F., Roy, R.N. (2018). Monitoring Pilot's Cognitive Fatigue with Engagement Features in Simulated and Actual Flight Conditions Using an Hybrid fNIRS-EEG Passive BCI. *IEEE SMC*, 544-549. doi:10.1109/SMC.2018.00102.
- Dehais, F., Duprès, A., Blum, S., Drougard, N., Scannella, S., Roy, R.N., Lotte, F. (2019). Monitoring Pilot's Mental Workload Using ERPs and Spectral Power with a Six-Dry-Electrode EEG System in Real Flight Conditions. *Sensors*, 19, 1324. doi:10.3390/s19061324.
- Dehais, F., Karwowski, W. and Ayaz, H. (2020). Brain at Work and in Everyday Life as the Next Frontier: Grand Field Challenges for Neuroergonomics. *Frontiers in Neuroergonomics*, 1:583733. doi:10.3389/fnrgo.2020.583733.

- Delpy, D.T., Cope, M., Van der Zee, P., Arridge, S., Wray, S., Wyatt, J. (1988). Estimation of optical pathlength through tissue from direct time of flight measurement. *Phys. Med. Biol.*, 33(12), 1433-1442.
- DiDomenico, A. and Nussbaum, M. (2008). Interactive effects of physical and mental workload on subjective workload assessment. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 38, 977-983. doi:10.1016/j.ergon.2008.01.012.
- Dönmez, K., Demirel, S. and Özdemir, M. (2020). Handling the pseudo pilot assignment problem in air traffic control training by using NASA TLX. *Journal of Air Transport Management*, 89, 101934. doi:10.1016/j.jairtraman.2020.101934.
- Dupont, G. (1997). The dirty dozen errors in aviation maintenance. In *Meeting Proceedings Eleventh Federal Aviation Administration Meeting on Human Factors Issues in Aircraft Maintenance and Inspection: Human error in aviation maintenance*, 45-49.
- Durantin, G., Gagnon, J.F., Tremblay, S., Dehais, F. (2014). Using near infrared spectroscopy and heart rate variability to detect mental overload. *Behavioural Brain Research*, 259, 16-23. doi:10.1016/j.bbr.2013.10.042.
- Durantin, G., Scannella, S., Gateau, T., Delorme, A., Dehais, F. (2016). Processing functional near infrared spectroscopy signal with a Kalman filter to assess working memory during simulated flight. *Frontiers in Human Neuroscience*, 9:707. doi:10.3389/fnhum.2015.00707.
- Efthymiou, M., Fichert, F. and Lantzsch, O. (2019). Workload perception of air traffic control officers and pilots during continuous descent operations approach procedures. *Aviation Psychology and Applied Human Factors*, 9(1), 2-11. doi:10.10272192-0923a000154.
- European Organisation for the Safety of Air Navigation (EUROCONTROL). (2018). *European Aviation in 2040. Challenges of Growth - Annex 1 - Flight Forecast to 2040*.
- European Organisation for the Safety of Air Navigation (EUROCONTROL). (2022). *Forecast Update 2022-2028. European Flight Movements and Service Units. After COVID-19, Russian invasion of Ukraine and Europe's energy crisis*.
- Federal Aviation Administration (FAA). (2023). *Forecasts of IFR aircraft handled by FAA air route traffic control centers. FY 2023-2050*.
- Feltman, K.A., Bernhardt, K.A. and Kelley, A.M. (2021). Measuring the Domain Specificity of Workload Using EEG: Auditory and Visual Domains in Rotary-Wing Simulated Flight. *Human Factors*, 63(7), 1271-1283. doi:10.1177/0018720820928626.
- Ferrari, M. and Quaresima, V. (2012). A brief review on the history of human functional near-infrared spectroscopy (fNIRS) development and fields of application. *NeuroImage*, 63(2), 921-935. doi:10.1016/j.neuroimage.2012.03.049.

- Ferrari, M., Mottola, L. and Quaresima, V. (2004). Principles , Techniques , and Limitations of Near Infrared Spectroscopy. *Canadian Journal of Applied Physiology*, 29(4), 463-487.
- Forman, E. and Peniwati, K. (1998). Aggregating individual judgments and priorities with the analytic hierarchy process. *European Journal of Operational Research*, 108(1), 165-169. doi:10.1016/S0377-2217(97)00244-0.
- Funke, G., Knott, B., Mancuso, V., Strang, A., Estepp, J., Menke, L., Brown, R., Dukes, A., Miller, B. (2013). Evaluation of Subjective and EEG-Based Measures of Mental Workload. *Communications in Computer and Information Science*, 373, 412-416. doi:10.1007/978-3-642-39473-7_82.
- Gateau, T., Ayaz, H. and Dehais, F. (2018). In silico vs. over the clouds: on-the-fly mental state estimation of aircraft pilots, using a functional near infrared spectroscopy based passive-BCI. *Frontiers in Human Neuroscience*, 12:187. doi:10.3389/fnhum.2018.00187.
- Gateau, T., Durantin, G., Lancelot, F., Scannella, S., Dehais, F. (2015). Real-time state estimation in a flight simulator using fNIRS. *PLoS ONE*, 10(3): e0121279. doi:10.1371/journal.pone.0121279.
- Gorji, H.T., Wilson, N., VanBree, J., Hoffmann, B., Petros, T., Tavakolian, K. (2023). Using machine learning methods and EEG to discriminate aircraft pilot cognitive workload during flight. *Scientific Reports*, 13, 2507. doi:10.1038/s41598-023-29647-0.
- Gramopadhye, A.K. and Drury, C.G. (2000). Human factors in aviation maintenance: how we got to where we are. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 26 (2), 125-131.
- Harrison, J., Izzetoglu, K., Ayaz, H., Willems, B., Hah, S., Ahlstrom, U., Woo, H., Shewokis, P., Bunce, S.C., Onaral, B. (2014). Cognitive Workload and Learning Assessment During the Implementation of a Next Generation Air Traffic Control Technology Using Functional Near Infrared Spectroscopy. *IEEE Transactions in Human Machine Systems*, 44(4), 429-440.
- Hart, S.G. (2006). Nasa-Task Load Index (NASA-TLX); 20 Years Later. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 50(9), 904-908. doi:10.1177/154193120605000909.
- Hart, S.G. and Staveland, L.E. (1988). Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of empirical and theoretical research. *Human Mental Workload*. North Holland Press, Amsterdam, 139-183.
- Hoedemaeker, M. (2002). *Summary Description of Workload Indicators: WP1 Workload Measures. Human Machine Interface and the Safety of Traffic in Europe Growth Project*. GRD1-2000-25361. HASTE. Institute for Transport Studies. Leeds, UK: University of Leeds.
- International Civil Aviation Organization (ICAO). (2003). *Human Factors Guidelines for Aircraft Maintenance Manual*, 1st Edition, DOC-09824-001-01. Montreal, Canada.

- International Civil Aviation Organization (ICAO). (2021). *Manual on Competency-based Training and Assessment for Aircraft Maintenance Personnel*. DOC-10098-001-01.
- Izzetoglu, M., Izzetoglu, K., Bunce, S., Ayaz, H., Devaraj, A., Onaral, B., Pourrezaei, K. (2005). Functional Near-Infrared Neuroimaging. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, 13(2), 153-159.
- Jöbsis, F.F. (1977). Noninvasive, infrared monitoring of cerebral and myocardial oxygen sufficiency and circulatory parameters. *Science*, 198(4323), 1264-1267. doi:10.1126/science.929199.
- Kaufmann, A. and Gupta, M.M. (1991). *Introduction to Fuzzy Arithmetic: Theory and Applications*. New York: Van Nostrand Reinhold.
- Kikukawa, A., Kobayashi, A. and Miyamoto, Y. (2008). Monitoring of pre-frontal oxygen status in helicopter pilots using near-infrared spectrophotometers. *Dynamic Medicine*, 7:10. doi:10.1186/1476-5918-7-10.
- Klaproth, O.W., Vernaleken, C., Krol, L.R., Halbruegge, M., Zander, T.O., Russwinkel, N. (2020). Tracing Pilots' Situation Assessment by Neuroadaptive Cognitive Modeling. *Front Neurosci*, 14:795. doi:10.3389/fnins.2020.00795.
- Klir, G.J. and Yuan, B. (1995). *Fuzzy sets and fuzzy logic: theory and applications*. Upper Saddle River, New Jersey: Prentice Hall PTR. ISBN 0-13-101171-5.
- Kocsis, L., Herman, P. and Eke, A. (2006). The modified Beer-Lambert law revisited. *Phys. Med. Biol.*, 51(5), 91-98. doi:10.1088/0031-9155/51/5/N02.
- Kouba, P., Šmotek, M., Tichý, T., Kopřivová, J. (2023). Detection of air traffic controllers' fatigue using voice analysis - An EEG validation study. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 95,103442. doi:10.1016/j.ergon.2023.103442.
- Kramer, A.F. and Parasuraman, R. (2007). *Neuroergonomics: Applications of Neuroscience to Human Factors*, in *Handbook of Psychophysiology*, 3rd ed., Cacioppo, J.T., Tassinari, L.G. and Berntson, G.G. Eds., 704-722. New York: Cambridge University Press.
- Lee, K.H. (2005). *First Course on Fuzzy Theory and Applications*. Berlin, Heidelberg: Springer, doi:10.1007/3-540-32366-X.
- Li, Q., Ng, K.K.H., Fan, Z., Yuan, X., Liu, H., Bu, L. (2021). A human-centred approach based on functional near-infrared spectroscopy for adaptive decision-making in the air traffic control environment: A case study. *Advanced Engineering Informatics*, 49, 101325. doi:10.1016/j.aei.2021.101325.
- Li, Q., Ng, K.K.H., Yu, S.C.M., Yiu, C.Y. Lyu, M. (2023). Recognising situation awareness associated with different workloads using EEG and eye-tracking features in air traffic control tasks. *Knowledge-Based Systems*, 260, 110179. doi:10.1016/j.knosys.2022.110179.
- Li, R., Yang, D., Fang, F., Hong, K.S., Reiss, A.L., Zhang, Y. (2022). Concurrent fNIRS and EEG for Brain Function Investigation: A Systematic, Methodology-Focused Review. *Sensors*, 2022, 22(15), 5865. doi:10.3390/s22155865.

- Liu, C., Wanyan, X., Xiao, X., Zhao, J., Duan, Y. (2020). Pilots' mental workload prediction based on timeline analysis. *Technology and Health Care*, 28, 207-216. doi:10.3233/THC-209021.
- MacQueen, J.B. (1967). Some methods for classification and analysis of multivariate observations. In L. M. Le Cam & J. Neyman (Eds.), *Proceedings of the Fifth Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability*, Volume 1, 281-297. Berkeley, CA: University of California Press.
- Madeira, T., Melicio, R., Valério, D., Santos, L.F.F.M. (2021). Machine Learning and Natural Language Processing for Prediction of Human Factors in Aviation Incident Reports. *Aerospace*, 8, 47. doi:10.3390/aerospace8020047.
- Mansikka, H., Virtanen, K. and Harris, D. (2019). Comparison of NASA-TLX scale, modified Cooper-Harper scale and mean inter-beat interval as measures of pilot mental workload during simulated flight tasks. *Ergonomics*, 62(2), 246-254. doi:10.1080/00140139.2018.1471159.
- Marinescu, A., Sharples, S., Ritchie, A.C., López, T.S., McDowell, M., Morvan, H.P. (2016). Exploring the Relationship between Mental Workload, Variation in Performance and Physiological Parameters. *IFAC-PapersOnLine*, 49, 591-596.
- Martinetti, A., Demichela, M., Singh, S., Soares, G.M., & Castro Silva, J. (2020). Maintenance 4.0: Where Are We? A Systematic Literature Review. In A. Martinetti, M. Demichela, & S. Singh (Eds.). *Applications and Challenges of Maintenance and Safety Engineering in Industry 4.0*, 1-30. IGI Global Publisher. doi:10.4018/978-1-7998-3904-0.ch001.
- Melliani, S. and Castillo, O. (2019). *Recent Advances in Intuitionistic Fuzzy Logic Systems: Theoretical Aspects and Applications*. Switzerland: Springer Nature. doi:10.1007/978-3-030-02155-9.
- Miyake, S. (2001). Multivariate workload evaluation combining physiological and subjective measures. *International Journal of Psychophysiology*, 40(3), 233-238.
- Mohanavelu, K., Poonguzhali, S., Ravi, D., Singh, P.K., Mahajabin, M., Ramachandran, K., Singh, U.K., Jayaraman, S. (2020). Cognitive Workload Analysis of Fighter Aircraft Pilots in Flight Simulator Environment. *Defence Science Journal*. 70(2), 131-139. doi:10.14429/dsj.70.14539.
- Mouzé-Amady, M., Raufaste, E., Prade, H., Meyer, J.-P. (2013). Fuzzy-TLX: using fuzzy integrals for evaluating human mental workload with NASA-Task Load index in laboratory and field studies. *Ergonomics*, 56(5), 752-763. doi:10.1080/00140139.2013.776702.
- Parasuraman, R. and Rizzo, M. (2007). *Neuroergonomics: The Brain at Work*. New York: Oxford University Press.
- Pettersen, K.A. and Aase, K. (2008). Explaining safe work practices in aviation line maintenance. *Safety Science*, 46, 510-519.
- Pinti, P., Tachtsidis, I., Hamilton, A., Hirsch, J., Aichelburg, C., Gilbert, S., Burgess, P.W. (2020). The present and future use of functional near-infrared spectroscopy

- (fNIRS) for cognitive neuroscience. *Ann N. Y. Acad. Sci.*, 1464(1), 5-29. doi:10.1111/nyas.13948.
- Radüntz, T. (2017). Dual Frequency Head Maps: A New Method for Indexing Mental Workload Continuously during Execution of Cognitive Tasks. *Front Physiol.*, 8:1019. doi:10.3389/fphys.2017.01019.
- Rice, G.M., Snider, D., Drollinger, S., Greil, C., Bogni, F., Phillips, J., Raj, A., Marco, K., Linnville, S. (2019). Dry-EEG Manifestations of Acute and Insidious Hypoxia During Simulated Flight. *Aerosp Med Hum Perform.*, 90(2), 92-100. doi:10.3357/AMHP.5228.2019.
- Santos, L.F.F.M. and Melicio, R. (2019). Stress, Pressure and Fatigue on Aircraft Maintenance Personal. *International Review of Aerospace Engineering*, 12, 35-45. doi:10.15866/irease.v12i1.14860.
- Scholkmann, F., Kleiser, S., Metz, A.J., Zimmermann, R., Pavia, J.M., Wolf, U., Wolf, M. (2014). A review on continuous wave functional near-infrared spectroscopy and imaging instrumentation and methodology. *NeuroImage*, 85, 6-27.
- Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü (SHGM). (2022). *Sürekli Uçuşa Elverişlilik Ve Bakım Sorumluluğu Talimatı (SHT-M)*. Rev. 08.
- Stanton, N.A., Salmon, P.M., Rafferty, L.A., Walker, G.H., Baber, C., Jenkins, D.P. (2017). *Human Factors Methods: a Practical Guide for Engineering and Design*. New York: CRC Press.
- Sugiharto, F.M. (2019). The Relationship between Mental Workload and Occupational Stress among Aircraft Maintenance Officers at PT X. *The Indonesian Journal of Occupational Safety and Health*, 8(2), 233-239. doi:10.20473/ijosh.v8i2.2019.233-239.
- Sun, J., Cheng, S., Ma, J., Xiong, K., Su, M., Hu, W. (2019). Assessment of the static upright balance index and brain blood oxygen levels as parameters to evaluate pilot workload. *PLoS ONE*, 14(3): e0214277. doi:10.1371/journal.pone.0214277.
- Tang, L., Si, J., Sun, L. Mao, G., Yu, S. (2022). Assessment of the mental workload of trainee pilots of remotely operated aircraft using functional near-infrared spectroscopy. *BMC Neurology*, 22:160. doi:10.1186/s12883-022-02683-5.
- Tinga, A.M., de Back, T.T. and Louwerse, M.M. (2019). Non-invasive neurophysiological measures of learning: a meta-analysis. *Neurosci. Biobehav. Rev.*, 99, 59-89. doi:10.1016/j.neubiorev.2019.02.001.
- Torres, Y., Nadeau, S. and Morency, F. (2016). Study of fatigue and workload among aircraft de-icing technicians. *Occupational Ergonomics*, 13, 79-90. doi:10.3233/OER-160240.
- Torricelli, A., Contini, D., Pifferi, A., Caffini, M., Re, R. Zucchelli, L. Spinelli, L. (2014). Time domain functional NIRS imaging for human brain mapping. *NeuroImage*, 85, 28-50. doi:10.1016/j.neuroimage.2013.05.106.
- Trapsilawati, F., Herliansyah, M.K., Nugraheni, A.S., Fatikasari, M.P., Tissamodie, G. (2019). EEG-Based Analysis of Air Traffic Conflict: Investigating Controllers'

- Situation Awareness, Stress Level and Brain Activity during Conflict Resolution. *Journal of Navigation*, 73, 678-696.
- van Weelden, E., Alimardani, M., Wiltshire, T.J., Louwerse, M.M. (2022). Aviation and neurophysiology: A systematic review. *Applied Ergonomics*, 105, 103838. doi:10.1016/j.apergo.2022.103838.
- Verdière, K.J., Roy, R.N. and Dehais, F. (2018). Detecting Pilot's Engagement Using fNIRS Connectivity Features in an Automated vs. Manual Landing Scenario. *Frontiers in Human Neuroscience*, 12:6. doi:10.3389/fnhum.2018.00006.
- Vidulich, M.A. and Tsang, P.S. (2012). Mental Workload and Situation Awareness. *Handbook of Human Factors and Ergonomics*, 243-273.
- Wickens, C.D. (2002). Situation Awareness and Workload in Aviation. *Current Directions in Psychological Science*, 11(4), 128-133.
- Wickens, C.D. (2008). Multiple resources and mental workload. *Human factors*, 50(3), 449-455.
- Zadeh, L.A. (1965). Fuzzy sets. *Information and Control*, 8(3), 338-353, ISSN 0019-9958. doi:10.1016/S0019-9958(65)90241-X.
- Zhao, Y., Qiu, L., Sun, Y., Huang, C., Li, T. (2017). Optimal hemoglobin extinction coefficient data set for near-infrared spectroscopy. *Biomed Opt Express*, 8(11), 5151-5159. doi:10.1364/BOE.8.005151.
- http-1: https://web.shgm.gov.tr/documents/sivilhavacilik/files/pdf/SHT66/Ek-1-C_1.pdf (Erişim tarihi: 14.07.2022).

EKLER

	Eskişehir Teknik Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimler Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Kurulu	Karar Tarihi	15/11/2022
		Karar No	14
		Sayı	7

Gündem

Dr. Öğr. Üyesi Alper ULUDAĞ'ın yürütücülüğünü yaptığı "Farklı Hava Aracı Bakım Teknisyenlerinde Meydana Gelen Zihinsel İş Yükünün Tespit Edilmesinde Kullanılan Yöntemlerin ve Etkinliklerinin İncelenmesi" başlıklı Lisansüstü Tez çalışmasına ilişkin etik kurul başvurusunun görüşülmesi.

Karar

Dr. Öğr. Üyesi Alper ULUDAĞ'ın yürütücülüğünü yaptığı "Farklı Hava Aracı Bakım Teknisyenlerinde Meydana Gelen Zihinsel İş Yükünün Tespit Edilmesinde Kullanılan Yöntemlerin ve Etkinliklerinin İncelenmesi" başlıklı Lisansüstü Tez çalışmasına ilişkin başvurusu Fen ve Mühendislik Bilimler Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Kurulu tarafından incelenmiş olup etik açıdan uygun bulunmuştur.

ÖZGEÇMİŞ

ORCID NO: 0000-0002-8176-2837

Ad Soyad : Barış KARABAYRAK

Yabancı Dil : İngilizce

Eğitim Geçmişi:

- 2013, Lisans, Erciyes Üniversitesi, Sivil Havacılık Yüksekokulu, Uçak Gövde-Motor Bölümü
- 2016, Lisans, Anadolu Üniversitesi, İşletme Fakültesi, İşletme Bölümü
- 2017, Yüksek Lisans, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Uçak Gövde Motor Bakım Anabilim Dalı
- 2023, Doktora, Eskişehir Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Uçak Gövde Motor Bakım Anabilim Dalı

Mesleki Geçmişi:

- 2018-Halen, Araştırma Görevlisi, Eskişehir Teknik Üniversitesi, Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi
- 2014-2018, Araştırma Görevlisi, Anadolu Üniversitesi, Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi
- 2014-2014, Uçak Bakım Teknisyeni, Türk Hava Yolları Teknik A.Ş.

Uluslararası Hakemli Dergilerde Yayımlanan Makaleler:

- Karabayrak, B., Baskut, S. and Turan, D. (2023). Investigation of the Mechanical Properties of Calcium Treated Low Carbon Steel. Arch. Metall. Mater., 68, 1, 89-96. doi:10.24425/amm.2023.141478
- Turan, D., Karabayrak, B., Baskut, S., Dalkilic, S. (2017). Failure analysis of landing gears strut bearings. Engineering Failure Analysis, 82, 525-532. doi:10.1016/j.engfailanal.2017.04.002

Ulusal Hakemli Dergilerde Yayımlanan Makaleler:

- Yazgan, E., Çetek, F.A., Şimşek, D., Ata, N., Erginel, N., Tuncer, S., Karabayrak, B., Aydın, A., Dönmez, K., Yıldızlar, Ç., Toktay, T. (2022). Hava Trafik Kontrolörü Adaylarının Gerçek Zamanlı Simülasyon Senaryolarındaki Hata Sayıları ve Performans Skorlarının İncelenmesi. Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi, 14(3), 87-97. doi:10.29137/umagd.1201368

Uluslararası Bilimsel Toplantılarda Sunulan Bildiriler:

- Karabayrak, B. and Turan, D. (2017). Çelik Üretiminde Kalsiyum İşleminin Çelik Temizliğine Etkileri. 2nd International Conference on Material Science and Technology in Cappadocia, Nevşehir.
- Karabayrak, B., Turan, D., Dalkilic, S., Baskut, S. (2016). Failure analysis of landing gears strut bearings. Seventh International Conference on Engineering Failure Analysis, Leipzig.

Ulusal Bilimsel Toplantılarda Sunulan Bildiriler:

- Turan, D., Karabayrak, B., Baskut, S., Dalkilic, S. (2017). TB20 Uçağının İniş Takımlarının Bağlantı Elemanlarında Hasar Analizi. 23. Ulusal Elektron Mikroskopi Kongresi, Antalya.