



**HELİKOPTER TEST UÇUŞ
HAREKETLERİNİN İNSAN GÜVENİLİRLİĞİ
ANALİZİ**

Yüksek Lisans Tezi

Ferdi GÜNAYDIN

Eskişehir 2024

HELİKOPTER TEST UÇUŞ HAREKETLERİNİN İNSAN GÜVENİLİRLİĞİ ANALİZİ

Ferdi GÜNAYDIN

Yüksek Lisans Tezi

Pilotaj Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Ebru YAZGAN

Eskişehir

Eskişehir Teknik Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Haziran 2024

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

Ferdi GÜNAYDIN'ın HELİKOPTER TEST UÇUŞ HAREKETLERİNİN İNSAN GÜVENİLİRLİĞİ ANALİZİ başlıklı çalışması 07/06/2024 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından değerlendirilerek "Eskişehir Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliği"nin ilgili maddeleri uyarınca, Pilotaj Anabilim dalında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Unvan Adı Soyadı

İmza

Üye

: Doç. Dr. Ebru YAZGAN

Üye

: Doç. Dr. Vildan DURMAZ

Üye

: Doç. Dr. Mustafa ASLAN

Prof. Dr. Semra KURAMA

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

07/06/2024

DANIşMAN ONAYI

Danişmanlığını yürüttüğüm Yüksek Lisans ęrencisi Ferdi GÜNAYDIN, HELİKOPTER TEST UçUş HAREKETLERİNİN İNSAN GüVENİLİRLİğİ ANALİZİ başlıklı tez çalışmasını tamamlamıştır. Hazırlamış olduğu tez tarafımca incelenmiş ve öğrencinin tez savunma sınavına alınması bilimsel ve etik açıdan uygun görülmüştür.

Tez Daniřmanı

Doç. Dr. Ebru YAZGAN

ÖZET

HELİKOPTER TEST UÇUŞ HAREKETLERİNİN İNSAN GÜVENİLİRLİĞİ ANALİZİ

Ferdi GÜNAYDIN

Pilotaj Anabilim Dalı

Eskişehir Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Haziran 2024

Danışman: Doç. Dr. Ebru YAZGAN

Yüksek bir hızda devam eden teknolojik gelişmelere ve idari düzenlemelere rağmen günümüzde havacılık sektöründe insan faktörünün rol oynadığı kazalar meydana gelmeye devam etmektedir. Meydana gelen hava aracı kazalarında askeri veya sivil fark etmeksizin pilotaj unsurunun diğer unsurlara oranla çok fazla olduğu araştırmalarla ortaya konulmuştur. Yapılan bu çalışma ile orta sınıf bir genel maksat helikopteri olan UH-60 helikopterinin bakım test uçuş prosedürlerinin her bir adımında test pilotunun hata yapma olasılığı belirlenmeye çalışılmıştır. Hata olasılığı belirlenirken insan hatası değerlendirme ve azaltma tekniği (*HEART*) kullanılmıştır. Sonuç olarak pilot hata oranı olasılığı yüksek olan bakım test uçuş prosedürü adımlarına yönelik uçuş emniyetini geliştirici eğitim düzenlemeleri ve ergonomik iyileştirmeler önerilmiştir. Döner kanatlı hava araçlarının nispeten daha kritik olan bakım test uçuşlarına yönelik pilot hatası olasılığının tespit edilmesi ve çözüm önerilerinin sunulması adına inceleme yapılmış ve ortaya özgün bir çalışma konulmuştur.

Anahtar Sözcükler: İnsan güvenilirlik analizi, İnsan hatası, HEART, Helikopter, Pilot hatası.

ABSTRACT

HUMAN RELIABILITY ANALYSIS FOR HELICOPTER MAINTENANCE TEST FLIGHT PROCEDURES

Ferdi GÜNAYDIN

Department of Pilotage

Eskişehir Technical University, Institute of Graduate Programs, June 2024

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Ebru YAZGAN

Despite technological developments and administrative regulations continuing at a high pace, accidents in which the human factor plays a role continue to occur in the aviation industry. Research has shown that the pilotage is much more important than other elements in aircraft accidents, regardless of whether they are military or civilian. In this study, it was tried to determine the probability of the test pilot making a mistake in each step of the maintenance test flight procedures of the UH-60 helicopter, a medium-lift utility helicopter. Human error assessment and reduction technique (*HEART*) was used when determining the probability of error. As a result, flight safety-improving training arrangements and ergonomic improvements have been suggested for maintenance test flight procedure steps that have a high probability of pilot error. An investigation was carried out and an original study was produced in order to detect the possibility of pilot error and present solution suggestions for the relatively more critical maintenance test flights of rotary wing aircraft.

Keywords: Human reliability analysis, Human error, HEART, Helicopter, Pilot error.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmayı hazırladığım süreç boyunca desteğini esirgemeyen sevgili eşim Selvihan GÜNAYDIN'a, asrın felaketi de dahil olmak üzere yaşadığım tüm olumsuzluklara rağmen çalışmadan kopmamam için çalışan ve karşılaştığım problemlerde çözüm yolları sunan danışmanım Doç. Dr. Ebru Yazgan'a ve çalışmanın yürütülmesi için katkılarını esirgemeyen tüm pilotlara teşekkürlerimi sunarım.

Bu tez herhangi bir kurumun görüş ve fikirlerini yansıtmamaktadır.

Ferdi GÜNAYDIN



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.

Ferdi GÜNAYDIN

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	XI
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	XII
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR TARAMASI	4
2.1. Havacılıkta İnsan Hatası	5
2.2. HEART Çalışmaları ve Havacılıktaki HEART Modellemeleri	9
2.3. APOA Değerlerinin Belirlenmesi	12
3. METODOLOJİ.....	15
3.1. HEART Yaklaşımı.....	15
3.2. HEART Metodu Uygulaması.....	19
4. UH-60 HELİKOPTERİ VE HELİKOPTER TEST UÇUŞU	21
5. UH-60 HELİKOPTERİ TEST UÇUŞ HAREKETLERİNDE İNSAN HATASI OLASILIĞININ DEĞERLENDİRİLMESİNDE HEART YAKLAŞIMI.....	24
5.1. Kritik Olan Test Uçuş Hareketlerinin Seçilmesi.....	24

5.2. Analiz Edilecek Test Uçuş Hareketleri İçin Alt Görevlerin Belirlenmesi	26
5.3. Analiz Edilecek Test Uçuş Hareketleri Alt Görevleri İçin <i>GTT</i> 'lerin Belirlenmesi	27
5.4. Analiz Edilecek Test Uçuş Hareketleri Alt Görevleri İçin <i>EPC</i> ve <i>APOA</i> 'ların Belirlenmesi	28
5.5. Analiz Edilecek Test Uçuş Hareketleri Alt Görevleri için <i>HEP</i> Değerinin Belirlenmesi.....	28
6. SONUÇ, TARTIŞMA VE ÖNERİLER.....	32
6.1. Sonuç	32
6.2. Tartışma	39
6.3. Öneriler	39
KAYNAKÇA.....	42
EKLER	
ÖZGEÇMİŞ	

TABLÖLAR DİZİNİ

Sayfa

Tablo 2.1. Türkiye’de yürütülen HRA çalışmaları (Yalçın vd., 2023)	4
Tablo 2.2. APOA değerinin belirlenmesinde kullanılan teknikler	12
Tablo 3.1. HEART modeli işlem maddeleri (Yazgan ve Delice, 2021; http-1).....	15
Tablo 3.2. Genel görev güvenilmezliği (Williams, 1988)	16
Tablo 3.3. Hata üreten durumlar (EPC) (Williams, 1988).....	17
Tablo 3.4. Hata olasılıkları yorumu ve değerleri (Köseoğlu vd., 2023)	20
Tablo 5.1. Seyahat test uçuş hareketleri alt başlıkları (Department of the Army Headquarters, 1997)	25
Tablo 5.2. Otorotasyon RPM Kontrolü alt görevleri (Department of the Army Headquarters, 1997)	26
Tablo 5.3. Maksimum Güç Kontrolü alt görevleri (Department of the Army Headquarters, 1997)	27
Tablo 5.4. Vh Kontrolü alt görevleri (Department of the Army Headquarters, 1997)	27
Tablo 5.5. Otorotasyon RPM Kontrolü için GTT, EPC ve HEP değerleri	28
Tablo 5.6. Normalize edilmiş Otorotasyon RPM Kontrolü HEP değerleri	29
Tablo 5.7. Maksimum Güç Kontrolü için GTT, EPC ve HEP değerleri	30
Tablo 5.8. Normalize edilmiş Maksimum Güç Kontrolü HEP değerleri.....	30
Tablo 5.9. Vh Kontrolü için GTT, EPC ve HEP değerleri	30
Tablo 5.10. Normalize edilmiş Vh Kontrolü HEP değerleri.....	31

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 1.1. Kaza nedenleri (GAO, 2023).....	2
Şekil 2.1. Döner kanatlı hava aracı bakım faaliyetlerinde insan hatası çeşitleri (Rashid vd., 2010).....	9
Şekil 5.1. Helikopter kazalarına neden olan faktörler (Avrupa) (Cokorilo vd., 2013)	24
Şekil 6.1. Otorotasyon RPM Kontrolü EPC önem sıralandırılması	32
Şekil 6.2. Maksimum Güç Kontrolü EPC önem sıralandırılması.....	33
Şekil 6.3. Vh Kontrolü EPC önem sıralandırılması.....	34
Şekil 6.4. Otorotasyon RPM Kontrolü EPC sıklıkları grafiği	35
Şekil 6.5. Maksimum Güç Kontrolü EPC sıklıkları grafiği	35
Şekil 6.6. Vh Kontrolü EPC sıklıkları grafiği	36
Şekil 6.7. Otorotasyon RPM Kontrolü normalize geleneksel HEART HEP değerleri grafiği.....	36
Şekil 6.8. Maksimum Güç Kontrolü normalize geleneksel HEART HEP değerleri grafiği	37
Şekil 6.9. Vh Kontrolü normalize geleneksel HEART HEP değerleri grafiği	37

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
AHP	: Analytic Hierarchy Process
AMT	: Aircraft Maintenance Technician
ANP	: Analytic Network Process
APOA	: Assessed Proportion of Affect
APOE	: Assessed Proportion of Effect
ATM	: Air Traffic Management
AV-	: Advanced Version of Decision-Making Trial and Evaluation
DEMATEL	Laboratory
CARA	: Controller Action Reliability Assessment
CORE-	: Computerized Operator Reliability and Error Data Base
DATA	
CR	: Consistency Ratio
CREAM	: Cognitive Reliability And Error Analysis Method
EPC	: Error Producing Condition
FAA	: Federal Aviation Administration
FPS/SAS	: Flight Path Stabilization/Stability Augmentation System
GA	: General Aviation
GAO	: Government Accountability Office
GRS	: Graphic Rating Scale
GTT	: Generic Task Type
HAZOP	: Hazard And Operability
HEART	: Human Error Assessment and Reduction Technique
HEIST	: Human Error In Systems Tool
HEP	: Human Error Probability
HET	: Human Error Template
HFACS	: Human Factors Analysis and Classification System
HFACS-	: Human Factors Analysis and Classification System-Maintenance
ME	Error
HHEA	: Hybrid Human Error Assessment

HRA	: Human Reliability Analysis
HRE	: Human-Related Errors
HSI	: Human System Integration
IAHP	: Improved Analytic Hierarchy Process
IDF	: Indigenous Defense Fighter
MBB	: Messerschmitt-Bölkow-Blohm
MCDM	: Multi Criteria Decision-Making
MOORA	: Multi Objective Optimization By Ratio Analysis
MRE	: Machine Related Errors
MT	: Main Task
NARA	: Nuclear Action Reliability Assessment
NHUP	: Nominal Human Unreliability Probability
NTSB	: National Transportation Safety Board
PEP	: Process Error Probability
RARA	: Railway Action Reliability Assessment
RPM	: Round Per Minute
SHELL	: Software, Hardware, Environment, Liveware
SHERPA	: Systematic Human Error Reduction And Prediction Approach
SHP	: Shaft Horse Power
SLIM	: Success Likelihood Index Methodology
SME	: Subject Matter Expert
SOHRA	: Shipboard Operation Human Reliability Analysis
SOP	: Standart Operation Procedures
SPM	: Single Point Mooring
ST	: Sub-Task
THERP	: Technique For Human Error Rate Prediction
TUSAŞ	: Türk Uçak Sanayii Anonim Ortaklığı
UTTAS	: Utility Tactical Transport Aircraft System
Vh	: Maksimum sürekli güç ile düz uçuştaki maksimum sürat
WoS	: Web of Science

1. GİRİŞ

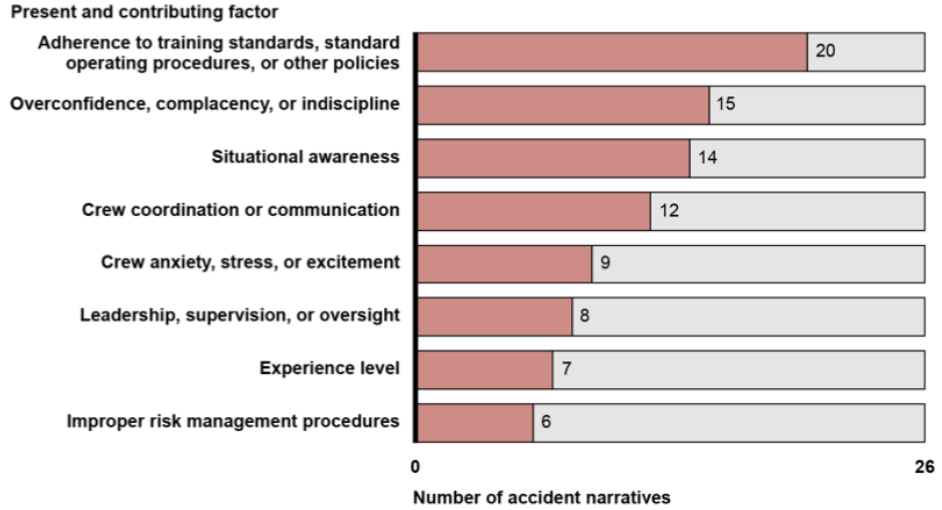
Hava araçlarının kullanılmaya başlandığı ilk günden beri havacılık kazaları meydana gelmektedir. Ticari getirinin, maliyetlerin ve karın yüksek olduğu havacılık sektöründe, maliyetlerin yükselmesinin önüne geçerek karı artırmak adına kazaların önlenmesi maksadıyla teknolojik gelişme ve düzenlemelere önemli kaynaklar ayrılmıştır.

Hava aracının motor çalıştırmasından motor susturmasına kadar taksi, uçuş operasyonu, iniş ve kalkış gibi faaliyetleri esnasında bir ya da daha fazla kişinin yaralanması veya hava aracının zarar görmesi ile sonuçlanan olaylar hava aracı kazası olarak tanımlanmaktadır (Gopal, 2000).

Hava aracı kazalarının mercek altına alındığı araştırmalarda 1950'lere gelinceye kadar mevcut teknolojik sistemlerin eksikliği ve yetersiz düzenlemelerin havacılık kazalarına neden olduğu belirtilirken, 1970'lerde ise hızla geliştirilen teknolojik sistemlerin bir sonucu olan jet motorları, çok eksenli otopilot sistemleri ve gelişmiş seyrüsefer sistemleri gibi karmaşık sistemlerin kullanımı hususunda insan performansının yetersiz kalmasının neden olduğu öne sürülmüştür. Bu teknolojik gelişmelere insan performansının uyum sağlamasının ardından, 1990 sonrasında insan faktörünün örgütsel işleyiş veya hiyerarşik yapıdan etkilenmesi sonucu hava aracı kazalarının meydana geldiği vurgulanmıştır (Akça, 2020; Havaalanları Daire Başkanlığı, 2011).

Yapılan araştırmalar, tarihteki birçok havacılık kazasının en önemli nedeninin insan hatası olduğunu ve havacılık kazalarındaki insan hatası oranının %55-85 arasında olduğunu istatistiksel olarak ortaya koymuştur (Guo, 2020; Boyd, 2017; Yazgan ve Delice, 2021; Shappell vd., 2007; Erjavac vd., 2018).

Amerika Birleşik Devletleri Hükümet Sorumluluk Ofisi'ne (GAO-Government Accountability Office) 2012-2021 yılları arasında kara ve hava milli muhafızları tarafından 298 adet helikopter kazası bildirimi yapılmış ve bunlardan 45 adedinin ölüm içeren veya hava aracının \$500,000 veya daha fazla hasar aldığı kazalar olduğu tespit edilmiştir. 40 adet A ve B sınıfı helikopter kazasının 38 adedinde insan hatasının kazaya neden olan asıl faktör olduğu ortaya koyulurken bu oranın 133 adet C sınıfı helikopter kazasında 125 adet olduğu sonucuna ulaşılmıştır. İleri araştırma yürütülen 26 adet A ve B sınıfı helikopter kazası kayıtlarına göre kaza nedenleri Şekil 1.1'de görülmektedir (GAO, 2023).



Şekil 1.1. Kaza nedenleri (GAO, 2023)

2014-2018 yılları arasındaki H-60 helikopter kazaları ordudan alınan kayıtlar kullanılarak analiz edilmiştir. Bu 5 yıllık zaman diliminde 1,753,723 saat uçuş gerçekleştirilmiş ve bu uçuşlar esnasında 167 adet A-C sınıfı kaza meydana gelmiştir. Bu 167 kazanın 145'i için araştırma sonuçlandırılmış veya etkileyen faktörler ortaya konmuşken, geri kalan 22 kaza için araştırma devam etmekte veya kaza nedenleri tespit edilememektedir. A sınıfı kazalarda birincil faktörün insan hatası olduğu kaza oranı %77, malzeme kaynaklı arıza kaza oranı %18 ve çevresel faktör kaynaklı kaza oranı %5 olarak bulunmuştur. Uzamsal oryantasyon bozukluğunun da (spatial disorientation) dahil olduğu düşük görüş koşullarından kaynaklanan 8 kaza olduğu ve yer taksisi esnasında gerçekleşen 4 kaza olduğu analiz sonuçlarında ortaya konmuştur (Dickinson, 2019).

Bir görevin insana bağlı faktörler açısından belli bir zaman içerisinde doğru şekilde yapılması ve sistem işleyişini aksatacak herhangi bir fiili yapmaması ihtimali insan güvenilirliği olarak tanımlanır (Petruni vd., 2019). İnsan güvenilirlik analizi (HRA- Human reliability analysis), insan ve makinenin birlikte yer aldığı sistemlerde insandan kaynaklanan hataları belirlemek, etkilerini ölçmek ve azaltmak amacıyla kullanılan sistematik bir yaklaşımdır. Yürütülen faaliyetler esnasında içerisinde bulunan sistemde kabul edilmiş kural ve standartları aşan fiil veya eksiklikler ise insan hatası olarak tanımlanır (Hou vd., 2021; Santos vd., 2007).

İnsan güvenilirlik değerlendirmesi, bir faaliyetler dizisinin insan hatası potansiyeli temelinde başarısız olarak değerlendirilmesi ihtimalinin seviyesini tespit etmek amacıyla yürütülür. HRA süreci; insan hatası türü, hata yapma olasılıkları, olasılıkları

etkileyen faktörler ve hataları azaltma veya önlemeye yönelik sorulara cevap bulmak amacıyla beş aşamadan oluşur. Bunlar;

1. Problemin tanımlanması veya kapsamın belirlenmesi,
2. Görev modelleme,
3. İnsan hatası analizi,
4. İnsan hatası ölçümü,
5. Hata yönetimi tavsiyesi (Hou vd., 2021).

Endüstriyel kaza istatistikleri, kazaların %60-%90'ının insan hatasından kaynaklandığını göstermektedir. Oranların otomobil sektöründe %65, havacılık sektöründe %70-%80, hava trafik kontrolünde %90, deniz taşımacılığında %80-%85, kimya sektöründe %60-%90, nükleer santral işletmeciliğinde %50-%70 ve karayolu taşımacılığında %85 olduğu görülmüştür. Teknolojik gelişmeler (özellikle otomasyon) sayesinde genel kaza oranlarındaki azalmaya rağmen insan hatası halen ciddi bir sorun olmaya devam etmektedir (Yalçın vd., 2023).

HRA, karmaşık sistemlerde sistematik bir şekilde kullanılarak insan hatalarıyla ilgili riskleri azaltmak için özellikle son yirmi yıllık dönemde nükleer, denizcilik, sağlık gibi birçok endüstri dalında uygulanmıştır (Hou vd., 2021; Bowo ve Furusho, 2019; Faucett, 2017; Kim vd., 2006). Güvenlik bakımından insan hatasının kritik önem arz ettiği askeri ve havacılık sistemlerinde de risk yönetiminin bir parçası olarak *HRA* teknikleri kullanılmıştır (Kirwan, 1994).

İnsan kaynaklı hataları (*HRE*-human-related errors) analiz ederek insan güvenilirliğini belirlemek için birçok farklı *HRA* yöntemi geliştirilmiştir. Yapılan bir çalışmada, 81 makalenin literatür taramasında 31 farklı *HRA* yöntemi belirlenmiş ve *HEART*, *CREAM* (Cognitive Reliability And Error Analysis Method) ve *THERP* (Technique For Human Error Rate Prediction) yöntemleri olarak adlandırılan yöntemlerin en sık uygulanan *HRA* yöntemleri olduğu tespit edilmiştir (Yalçın vd., 2023).

2. LİTERATÜR TARAMASI

HRA uygulamasında birbirinden farklı birçok yaklaşım mevcut olmasına ve denizcilik, havacılık, demiryolu, uzay, sağlık, nükleer, petrokimya ve inşaat sektörleri dahil birçok alanda başarıyla uygulanmasına rağmen yapılan çalışmalar yayınların geniş kullanım alanına göre sınırlı olduğunu göstermiştir. Yalçın, Altun Çiftçioglu ve Güzel (2023, s.151) tarafından yapılan *HRA* alanındaki araştırmada, yüksek kalite standartlarına sahip, uluslararası kabul görmüş bilimsel yayınların yer aldığı bir veri tabanı olan Web of Science (WoS) veri tabanında *HRA* tekniklerinin denizcilik, havacılık, demiryolu, sağlık, petrokimya, uzay, nükleer ve inşaat sektörlerinde kullanımına ilişkin çalışmalar incelenmiştir. Veri tabanının tamamında “insan güvenilirliğine” atıfta bulunan 1843 yayın, 2012-2022 döneminde ise 1040 yayın tespit edilmiştir. “İnsan güvenilirliği analizi” teriminin toplam 978 yayında ve 2012-2022 döneminde 645 yayında yer aldığı görülmüştür. WoS veritabanının tamamında yer alan 978 yayından 47'si, 2012-2022 döneminde ise 29'u Türkiye'den olmuştur. Türkiye’de yürütülen ve en yüksek atıf sayısına sahip ilk 14 çalışma Tablo 2.1’de gösterilmiştir.

Tablo 2.1. Türkiye’de yürütülen *HRA* çalışmaları (Yalçın vd., 2023)

Makale	Yazar	Sektör	Metot
1	Akyüz & Çelik (2015a)	Denizcilik	<i>CREAM</i>
2	Akyüz & Çelik (2015b)	Denizcilik	<i>HEART</i>
3	Akyüz & Çelik (2016b)	Denizcilik	<i>HEART</i>
4	Akyüz vd. (2016)	Denizcilik	<i>HEART-HFACS</i>
5	Akyüz & Çelik (2016a)	Denizcilik	<i>HEART</i>
6	Akyüz (2017)	Denizcilik	<i>HFACS</i>
7	Akyüz & Çelik (2017)	Denizcilik	<i>SLIM</i>
8	Akyüz vd. (2018)	Denizcilik	<i>HEART (SOHRA)</i>
9	Kandemir vd. (2019)	Denizcilik	<i>HEART (SOHRA)</i>
10	Kandemir & Çelik (2020)	Denizcilik	<i>HEART (SOHRA)</i>
11	Bicen vd. (2020)	Denizcilik	<i>HEART (SOHRA)</i>
12	Kandemir & Çelik (2021)	Denizcilik	<i>HEART (SOHRA)-HFACS</i>
13	Erdem & Akyüz (2021)	Denizcilik	<i>SLIM</i>
14	Kaptan (2022)	Denizcilik	<i>HEART</i>

2.1. Havacılıkta İnsan Hatası

Akça'ya (2020) göre, havacılık kazaları üzerine yapılan çalışmalar, pilot hatalarından kaynaklanan kazalarda pilotların karakteristik özellikleri, insan hatası unsurları ve bu unsurları tanımlamadaki eksiklikler ile etkileyici faktörlerin ayrıştırılmasındaki güçlükleri ortaya koymuştur.

Olaganathan (2024), 1980 ile 2024 yılları arasında insan hatası, insan faktörü, uyku, bakım hataları, inceleme hataları, kazalar ve hata yönetim sistemleri ve karşı tedbirlere ilişkin literatür taraması yapmıştır. Bu tarama neticesinde hangar bakımına yoğunlaşarak, bakım teknisyenlerinin vardiya yoğunluğu, sağlık problemleri ve bakımı etkileyen insan faktörleri gibi hususları ele almıştır. Mevcut insan hatası analiz tekniklerini karşılaştırdıktan sonra sonuç olarak, insan faktörleri eğitim programını zorunlu kılan Avrupa'da bakım hataları kaynaklı olay sayısında %11 düşüş gözlemlenirken, ABD'nde (Amerika Birleşik Devletleri) bu şekilde bir eğitim programı olmadığını ve bakım kaynaklı hataların arttığı sonucuna ulaşmıştır.

Prasad ve Raveendran (2024), havacılık sektöründe bakım faaliyetlerine, insan faktörlerinin etkisini ele almıştır. Çalışmada, vaka çalışmaları, dergi makaleleri, dergiler, kitaplar ve internet aramaları gibi farklı kaynaklardan bilgiler toplanmış ve insan faktörlerinin havacılık bakım personelini nasıl büyük ölçüde etkilediği vurgulanmıştır. Havacılık bakımında güvenliğin sağlanması için zaman baskısı, iş yükü ve uykuyla ilgili zorlukların ele alınmasının önemli olduğunu vurgulamışlardır.

Li vd. (2006) tarafından yürütülen çalışmada, ABD'de 1983 ile 2002 yılları arasında gerçekleşen 558 ticari havacılık kazası incelenmiş, bu kazaların 265'inin (%47) türbülans dışında kalan kötü hava koşulları ile ilgili faktörlere bağlı olduğu düşünülürken, 138'inin (%25) türbülans ve 117'sinin (%21) mekanik hatalara bağlı olarak gerçekleştiği ileri sürülmüştür. Ayrıca, 558 kaza olayının 180'inde pilot hatalarının olduğu belirtilmiş ve bu hataların nedenlerinin %26'sının dikkatsizlik, %22'sinin yanlış kararlar, %22'sinin uçağın aerodinamik kullanımı ve %11'inin ise ekip etkileşimi zayıflığından kaynaklandığı bulunmuştur.

Shappell vd. (2007), İnsan Faktörleri Analizi ve Sınıflandırma Sistemini (HFACS-Human Factors Analysis and Classification System) yöntemini kullanarak, 1990 yılından 2002 yılına kadar olan 13 yıllık dönemde gerçekleşen 1020 havacılık kazasını (NTSB (National Transportation Safety Board) ve FAA (Federal Aviation Administration) National Aviation Safety Data Analysis Center verileri) analiz etmiştir. Analizler

sonucunda mürettebat ve çevre ile ilgili faktörlerin kazaya neden olan asıl faktörler olduğu vurgulanırken, bununla birlikte yönetsel ve denetimsel faktörlerin kazaların oluşumunda çok fazla yer almadığı ortaya konulmuştur.

Kowalsky vd. (1974), 1957-1970 yılları arasında gerçekleşen 350 kazanın içerisinde insan (mürettebat) hatası ile ilgili olacağı düşünülen 37 kaza raporunu detaylı olarak incelemiştir. Bu incelemenin neticesinde, daha detaylı araştırılması gereken bazı konular tespit edilmiştir. Bu konular arasında mürettebatın koordinasyonu ve etkileşimi, karar alma süreçleri, mürettebat yorgunluğu ve çalışma/dinlenme düzenlemeleri ile mürettebat stresi ve mürettebat performans düşüşleri gibi hususlar yer almaktadır. Halihazırda uygulanan havayolu pilot eğitiminin, çalışmada belirtilen kritik faktörlerle karşılaşılan durumlarda pilotun uygun şekilde hazırlanamadığı raporlanmıştır.

Erjavac vd.'nin (2018) çalışmasında, NTSB verileri kullanılarak 2006-2015 yılları arasındaki 479 havacılık kazası verileri kullanılarak HFACS metodu ile kazalara neden olan faktörler arasındaki ilişki modellenmeye çalışılmıştır. İnsan hatasına bağlı muhakeme ve karar verme hataları neticesinde oluşan durumlarda ölümlü kazalar oluşurken insan hatasından bağımsız performans hataları neticesinde küçük kazaların meydana geldiği ortaya konmuştur.

Chang ve Wang (2010), havayolu taşımacılığı endüstrisi kapsamında Tayvan havayollarının uçak bakım teknisyenlerinde ampirik bir çalışma yürüterek kritik seviye teşkil eden insan odaklı risk faktörlerini incelemiştir. Oluşturulan bir uzman anketine göre 107 kıdemli uzman görüşlerini bildirmiş ve insan kaynaklı risk faktörleri SHELL (Software, Hardware, Environment, Liveware) modeli ile kategorize edilmiştir. İnsana bağlı 77 ön ve 46 birincil risk faktörü içerisinde 9 tanesi önemli ölçüde risk faktörü teşkil ettiğinden bakım güvenliği için bu hususların ön planda tutulması tavsiye edilmiştir.

McFadden de (1997) çalışmasında, Federal Havacılık İdaresi'nin 1986-1992 yılları arasındaki kayıtlarından cinsiyete bağlı pilot hatalarını incelemiştir. Yazar, 475 erkek ve 22 kadın pilot hatasının yer aldığı olaylarda, yaş, tecrübe, son dönemdeki uçuş saatleri ve işveren için eşzamanlı kontrol edebilmek için lojistik regresyon yöntemi kullanarak erkek pilot hataları modeli meydana getirmiştir. Meydana getirilen modele göre, tecrübe ve yaş ilerledikçe pilot hatası ihtimalinin düştüğü ve şirket büyüklüğüne göre pilot hatası oranlarının ters orantılı olduğu ortaya konmuştur.

Shappell ve Wiegmann (2007) yürüttükleri çalışmada, ABD ordusu ile ABD ticari ve genel havacılık uçuşları arasındaki benzerlik ve farklılıkları ortaya koymaya

çalışmışlardır. 1990-1998 yılları arasındaki, 16,000'den fazla ABD kara, deniz ve hava kuvvetleri ile ticari hava taşıyıcıları ve genel havacılık uçuşlarında gerçekleşen kazaların analizi yapılmıştır. Sonuçlar incelendiğinde, genel havacılıkla ilgili kazaların, diğer kategorilere göre beceri eksikliğine bağlı insan hatalarından kaynaklandığı tespit edilmiştir.

Thomas vd. (2019), ABD Askeri Havacılık Güvenliği yasası kapsamında halk üzerindeki askeri havacılık kazaları ile ilgili endişeleri araştırmak ve kurulmuş olan komisyona destek olmak maksadıyla, 1950'li yıllardan beri kullanılan 55 farklı uçak tipini kapsayan Hava Kuvvetleri Güvenlik Merkezi'nden gelen kaza verilerini derleyerek analiz etmişlerdir. Tek motorlu uçaklardaki kaza oranının çoklu motorlara, eski uçaklardaki kaza oranının yeni uçaklara oranla daha fazla olduğu gibi sonuçlar elde edilirken, bunların yanında hataların ortaya çıkmasına sebep olan diğer faktörlerin araştırılması gerektiği gelecek araştırma önerilerinde sıralanmıştır.

Li vd. (2009) tarafından yapılan çalışmada, askeri operasyonlarda insan kaynaklı olay ve kazaların önüne geçmek için Standart Operasyon Prosedürleri'nin (SOP-Standart Operation Procedures) eksiksiz uygulanmasına dikkat çekilmiştir. Araştırmanın birinci hedefi, Tayvan Indigenous Defense Fighter (IDF) uçağının pilot arayüzünü iyileştirmek, ikinci hedefi ise Hiyerarşik Görev Analizi ve İnsan Hata Şablonu kullanılarak IDF'nin SOP'larının uygulanabilirliğini değerlendirmektir. Bu süreçte 3 pilot, 2 havacılık güvenliği araştırmacısı ve 1 insan faktörleri uzmanı tarafından IDF'nin iniş prosedürleri üzerinde çalışılmış, SOP'ların uygulama süreci, pilot hatalarının nedenleri incelenmiş ve bu sayede hava kuvvetlerinin muharebe kapasitesinin artırılması ile kullanıcı dostu bir kokpit arayüzü geliştirilmesi olanakları üzerinde durulmuştur.

Goldman, Fiedler ve King (2002) tarafından yapılan bir çalışmada, 1988 ile 1997 yılları arasında genel havacılık ve ticari hava yollarında meydana gelen kazalar, özellikle bakım kaynaklı sorunlar açısından değerlendirilmiştir. Ticari havayolu kazaları 1.493 kez ölümle sonuçlanırken, genel havacılık (GA-General Aviation) kazaları ise 7.446 kez ölümle sonuçlanmıştır. Genel havacılıkta bakımlar esnasında en çok kaza yapılma nedeni olarak montaj ve kurulum aşamaları gösterilmiştir. Ayrıca, raporlama ve uçak tiplerindeki farklılıklar nedeniyle, eğitim eksikliklerinin bakım hatalarında önemli bir etken olduğu vurgulanmıştır.

Helikopter kazaları üzerine yapılan çok fazla araştırma bulunmamakla beraber, 1994 ile 2005 yılları arasındaki ABD helikopter kazaları üzerine yapılan bir araştırma,

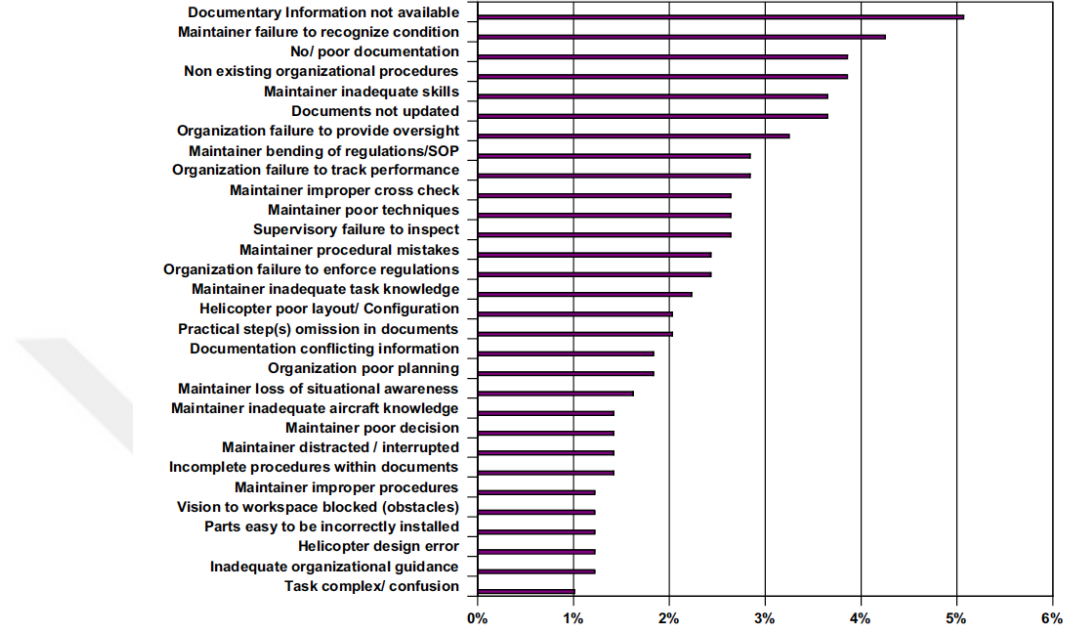
kaza oranlarının 1994 yılında 100.000 saatte 11,6 iken 2005 yılında 6,3 olduğunu ortaya koymuştur (de Voogt ve van Doorn, 2007). Rusya'da yapılan bir çalışma ise ABD helikopter kaza istatistiksel verilerinin Rus helikopter kaza oranlarıyla benzer olduğunu ve özellikle uçak kazalarının oranına göre daha yüksek olduğunu belirtmiştir (Volodko, 1996). Helikopter uçuşlarında, alçak irtifa ve yüksek manevra gibi gerçekleştirildiği ortam itibarıyla hataların telafisi pek mümkün değildir. Alçak irtifa operasyonlarında helikopterler için ağaçlar, iletim kabloları, elektrik hatları veya diğer yüksek yapılar çarpışma açısından yüksek risk oluşturmaktadır. Ağaç ve tel çarpmalarının bu tip uçuş operasyonlarında meydana gelen kazalar içerisinde sırasıyla %18 ve %24'lük yer teşkil ettiği göz önüne alındığında, meydana gelen kazalarda insan faktörünün önemli yer teşkil ettiği ve bu nedenle mürettebat olarak ilave ekip planlaması kazaların sayısını azaltmada önemli etki yaratacağı düşünülmektedir (de Voogt A. , 2011). Havada çarpışmalar hava aracı türü veya görevden bağımsız olarak en tehlikeli kaza türü olarak kabul edilir. Havada çarpışmalarla ilgili çalışmalar insan faktörüne, özellikle de pilotların çarpışmayı önlemek için yaklaşan hava aracını zamanında tespit edememesine odaklanmıştır. Morris, gör ve kaçın ilkesinin sınırlamalarını göstermek için genel havacılıktaki havada çarpışmaları analiz etmiştir (Morris, 2005).

Crognale ve Krebs (2008), istenmeyen durumlarda aletli uçuş koşullarına geçişte helikopter pilotlarının davranışlarını incelemiştir. Değişik irtifa ve süratlerde, farklı tecrübe durumundaki pilotlara uyguladığı senaryolar sonucunda topladığı verileri pilot hataları ile birleştirdikten sonra güvenli irtifada pilotların hata oranlarının düşük olduğunu, diğer durumlarda ise pilot hatalarında artış gözlemlendiğini ortaya koymuştur. Tekrarlanan senaryolarda ise pilotların performanslarında düşüş gözlemlenmiştir.

Rashid vd. (2010), geçmişte sabit kanatlı hava araçlarının bakım hatalarındaki insan faktörünün araştırılmasına istinaden döner kanatlı hava aracı bakım hatalarını incelemiştir. 58 helikopter emniyet olayı *HFACS-ME* (Human Factors Analysis and Classification System-Maintenance Error) tekniği ile incelendikten sonra insan faktörü ile ilgili ulaşılan sonuçlar Şekil 2.1'de verilmiştir.

Stanton vd. (2006), uçuş güvertesinde tasarım hatası tanımlamak üzere özel olarak geliştirilmiş bir insan hata tanımlama yöntemi olan *HET* (Human Error Template) tanıtmışlardır. *HET*, mevcut üç insan hata analizi tekniğiyle (*SHERPA*–Sistematik İnsan Hata Azaltma ve Tahmin Yöntemi; *HAZOP* – Tehlike ve Operasyon Çalışması; *HEIST* – Sistem Araçlarında İnsan Hatası) karşılaştırılmıştır. Modern, yüksek düzeyde otomatize

edilmiş bir ticari uçakta gerçekleştirilen yaklaşma ve iniş sırasında bildirilen ve tahmin edilen hataların karşılaştırıldığı bir doğrulama çalışmasında, *HET* diğer üç teknikten daha üstün performans sergilemiştir.



Şekil 2.1. Döner kanatlı hava aracı bakım faaliyetlerinde insan hatası çeşitleri (*Rashid vd., 2010*)

2.2. HEART Çalışmaları ve Havacılıktaki HEART Modellemeleri

HEART yaklaşımı birçok sektörde uygulanarak etkinliğini ispatlamıştır. Kirwan vd. (2004), *HEART* yönteminin bir türevini kullanarak, Birleşik Krallık'taki bir elektrik santralinin bilgileri üzerinden veri madenciliği yaparak Nükleer Eylem Güvenilirlik Değerlendirmesi (*NARA-Nuclear Action Reliability Assessment*) adında bir teknik geliştirmiştir.

Gibson (2012) ise, Demiryolu Eylem Güvenilirlik Değerlendirmesi (*RARA-Railway Action Reliability Assessment*) adı altında, demiryolu sektörüne özel, insan hatası ölçümüne yönelik bir metot önermişlerdir.

Castiglia ve Giardina (2013), hatalı eylemlerin olasılığını değerlendirmek için *HEART* metodunu kullanarak bazı geliştirmeler yapmış ve bu iyileştirmelere "bulanık modelleme" adını vermiştir. "Dilsel değişken" kavramı, doğal veya yapay dildeki kelimeler, ifadeler veya cümlelerle tanımlanan değerleri içeren bir değişken olarak, geleneksel sayısal ifadelerle yeterince açıklanamayacak kadar karmaşık veya belirsiz

durumları anlamak için oldukça faydalıdır. Araştırmada, fuzzy *HEART* modeli verileri kullanılmış ve daha sonra fuzzy *CREAM* metoduyla bu veriler karşılaştırılmıştır.

Akyüz ve Çelik (2015), kimyasal tanker gemilerinin tank temizleme süreçlerinde güvenlik ve operasyonel güvenilirliği artırmak amacıyla, analitik hiyerarşi süreci (*AHP* - Analytic Hierarchy Process) metodunu *HEART* metodolojisi ile bütünleştirerek bu alanda metodolojik bir gelişme sağlamışlardır. Ayrıca, Akyüz ve Çelik (2016), denizcilik ve açık deniz endüstrilerinde güvenlik düzeylerini yükseltmek için aralıklı tip-2 bulanık kümeleri *HEART* metodolojisi ile entegre ederek yeni bir insan güvenilirliği değerlendirme yöntemi geliştirmişlerdir.

Deacon vd. (2013), açık deniz tahliye prosedürlerinin iyileştirilmesi amacıyla insan hatası analizini ele almıştır. Makalede, açık deniz platformlarında kaçış, tahliye ve kurtarma operasyonlarının kritik aşamalarında *HEP* (Human Error Probability) değerlerini saptamak için *HEART* metodunu kullanmışlardır.

Chadwick ve Fallon (2012), radyoterapi tedavi sürecindeki kritik hemşirelik görevleri için geliştirilmiş bir *HEART* metodolojisi önermişlerdir. Bu geliştirilmiş teknik, geleneksel olarak tek bir uzmanın kullandığı yöntemin aksine, değerlendirmeleri gerçekleştirmek için çok katılımlı bir ekip yaklaşımını benimsemiştir. Grafik Derecelendirme Ölçeği (*GRS*-Graphic Rating Scale), kullanım kolaylığı, yüksek kullanıcı kabulü ve görünür geçerliliği sebebiyle değerlendirme için popüler bir yöntem olarak tercih edilmiştir. Bu format aracılığıyla, hata üreten koşullar (*EPC*-Error Producing Condition) ve etki oranının değerlendirilmesi (*APOA*-Assessed Proportion of Affect) için grup üyelerinin değerlendirmelerinin aritmetik ortalaması alınmıştır.

Can ve Delice (2020), *HEART*'ın etkin kullanımını ilerletmek amacıyla karar verme deneme ve değerlendirme laboratuvarının (*AV-DEMATEL*-Advanced Version of Decision-Making Trial and Evaluation Laboratory) geliştirilmiş bir sürümünü kullanmışlardır. *AV-DEMATEL* uygulamasının temel amacı, bir süreçteki ana görevler (*MT*'ler-Main Task), alt görevler (*ST*'ler-Sub-Task) ve hata üreten koşullar (*EPC*'ler) arasındaki karmaşık etkileşim ilişkilerini açıklamaktır. Bu bağlamda, insan kaynaklı hatalar (*HRE*) ve makine ile ilgili hatalar (*MRE*-Machine Related Errors) değerlendirilmiş ve süreç hata olasılığı (*PEP*-Process Error Probability) hesaplanmıştır.

Havacılık alanında *HEART* yaklaşımının incelenmesiyle, yayın sayısının çok daha az olduğu ve yapılan çalışmaların genellikle bakım personeli, hava kontrolörleri ve uçak gemisi inişine yönelik insan hatası değerlendirilmesine yönelik olduğu görülmüştür.

Gibson ve Kirwan (2008), hava trafik yönetimi (*ATM- Air Traffic Management*) içerisinde insan performansını değerlendirmek amacıyla Kontrolör Eylem Güvenilirlik Değerlendirmesi (*CARA-Controller Action Reliability Assessment*) yöntemini tanımlamışlardır. *CARA*'nın başlıca amacı, genel görev türü (*GTT-Generic Task Type*) için İnsan Hata Olasılığı (*HEP*) değerini belirlemek ve bu değeri, özellikle hava trafik kontrolörleri için uygun hale getirmek üzere Computerized Operator Reliability and Error Data Base (*CORE-DATA*) ve *NARA* verilerini kullanarak geliştirmektir.

Guo ve Sun (2020) sivil havacılıkta uçuş güvenliğinin değerlendirilmesi için *HEART* metodunun uygulanabileceğini öne sürmüşlerdir. Ancak, *APOA* hesaplamaları için yeterli bir yöntem sunmadığından, *EPC* için *APOA* değerlerini belirlemek üzere Geliştirilmiş Analitik Hiyerarşi Süreci (*IAHP-Improved Analytic Hierarchy Process*) metodunu kullanmış ve bu değerleri geleneksel *HEART* modeli ile karşılaştırmışlardır. Çalışmalarında, Boeing 737 ve Tayvan Indigenous Defense Fighter (*IDF*) savaş uçaklarının uçuş aşamalarındaki *IAHP* ve geleneksel *HEART* modelinin *HEP* değerlerini karşılaştırarak güvenilirliklerini vurgulamışlardır.

Zhao vd. (2016), uçak gemisi inişi senaryosu için kontrol-teorik bir perspektiften İnsan Sistem Entegrasyonu (*HSI-Human System Integration*) için bir simülasyon çerçevesi oluşturduklarını açıklamıştır. Bu çerçevede *HEART* modeli kullanılarak pilot hataları analiz edilmiş ve özellikle uçak gemisine inişte pilotların bilişsel hataları ele alınmıştır. F-18 uçağının uçak gemisine inişinin son aşamasında, *HSI* değerlendirmesi için insan hatasıyla ilgili bir pilot modeli geliştirilmiştir.

Yazgan ve Delice (2021) tarafından gerçekleştirilen araştırmada, uçak tamiri esnasında uçak bakım teknisyenlerinin (*AMT- Aircraft Maintenance Technician*) yapabileceği hataların olasılığını belirlemek amacıyla hibrit bir insan hatası değerlendirmesi (*HHEA-Hybrid Human Error Assessment*) metodolojisi önerilmiştir. Bu çalışmada, Cessna 172 uçağının ana kumanda sistemi olan elevator'un bakım süreçlerine dair maddeler incelenmiş ve insan hatasının yüksek olduğu üç ayrı işlem belirlenmiştir. Bu işlemlerin belirlenmesi, bakım faaliyetlerinde insan hatasını azaltmak için önemli tavsiyeler sunmuş ve bir referans noktası oluşturmuştur.

Sheikhalishahi vd. (2016), bakım faaliyetlerinde *HEART* modelini uygulamış ve bu makalede insan faktörleri ile bakım gruplamasına odaklanarak bakım çizelgeleme problemini ele almıştır. Güvenilirlik, maliyet ve insan hatası objektif fonksiyonlar olarak değerlendirilmiştir. Yapılan kapsamlı deneyler, tercih edilen bakım programının insan

hatası üzerindeki etkisini ortaya koymuştur ve bu araştırma, bakım maliyeti ve güvenilirliği üzerinde insan hatasının etkilerini detaylandırmaya katkıda bulunmuştur.

2.3. APOA Değerlerinin Belirlenmesi

İnsan hata olasılıklarının tespitinde, APOA hesaplaması çok önemli bir rol oynamaktadır. Yapılan analizler sonucunda, birçok çalışmanın farklı metotlar kullanarak etki oranını hesapladığı tespit edilmiştir. APOA hesaplamaları, bazı çalışmalarda kaza ve kırım analizleri sonrasında sistematik bir yaklaşımla, konu uzmanları (SME-Subject Matter Expert) ve GRS (Graphic Rating Scale) tekniği gibi yöntemlerle gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, bulanık veya hibrit matrisler, AHP (Analytic Hierarchy Process), ANP (Analytic Network Process), AV-DEMATEL gibi teknikler veya bilgisayar destekli veri analizleri kullanılarak yapılan hesaplamalar da mevcuttur (Kirwan, 1997; Noroozi vd., 2014; Singh ve Kumar, 2015; Chadwick ve Fallon, 2012; Faucett, 2017). APOA belirlemede kullanılan yöntemler literatürdeki bazı çalışmalar ile Tablo 2.2’de gösterilmiştir.

Tablo 2.2. APOA değerinin belirlenmesinde kullanılan teknikler

Makale	Yazar	Konu	APOA Değeri Bulma Methodu
1	Emre Akyüz, Metin Çelik	Kimyasal tanker gemilerinde kargo tankı temizleme operasyonu için insan güvenilirliği analizinin metodolojik bir uzantısı, 2015	AHP-(MCDM) metodu (Multi Criteria Decision-Making) kullanılmıştır.
2	Emre Akyüz, Metin Çelik	Petrol/kimyasal tanker gemisinde kargo yükleme operasyonunda hibrit bir insan hatası olasılık belirleme yaklaşımı, 2016	AHP-MCDM metodu kullanılmıştır.
3	Emre Akyüz, Metin Çelik, Selçuk Cebi	İnsan hatası değerlendirmesi ve azaltma tekniğinde denizciliğe özgü EPC değerlerini belirlemeye yönelik kapsamlı bir araştırma, 2016	Çoğunluk kuralı (Majority rule), HEART, HFACS, AHP ve doğrulama teknikleriyle ortak değerlendirme yapılmıştır.

Tablo 2.2. (Devam) APOA değerin belirlenmesinde kullanılan teknikler

4	Emre Akyüz, Metin Çelik, Akgun, I., Cicek, K.	Kimyasal tanker gemisinde kritik deniz mühendisliği operasyonlarında insan hatası olasılıklarının tahmini, 2018	Gemideki operasyonlarda insan güvenilirliği analiz yöntemi (SOHRA-Shipboard Operation Human Reliability Analysis), m-specific EPC ve AHP entegrasyonu kullanılmıştır.
5	Emre Akyüz, Metin Çelik	Tek noktali demirleme (SPM-Single Point Mooring) açık deniz birimlerinde kargo operasyonu için değiştirilmiş bir insan güvenilirliği analizi, 2016	Aralıklı tip-2 bulanık kümeleri HEART ile birleştirerek bir insan güvenilirliği değerlendirme yaklaşımı önerdi.
6	Petruni, A., Giagloglou, E., Douglas, E., Geng, J., Leva, M.C., Demichela, M.	İnsan faktörleri tekniğini seçmek için analitik hiyerarşi süreci (AHP) uygulaması, 2019	AHP-MCDM metodu kullanılmıştır.
7	Castiglia, F., Giardina, M.	Hidrojen yakıt ikmal istasyonlarındaki insan hatalarının değerlendirme teknikleri arasında karşılaştırması, 2013	Klasik HEART modeline sözel derecelendirme entegre edilerek fuzzy HEART model verileri elde edilmiş ve sonrasında fuzzy CREAM methodu kullanarak verilerin karşılaştırma yoluna gidilmiştir
8	Chadwick, L., Fallon, E. F.	Radyoterapi tedavi sürecinde kritik bir hemşirelik görevinin insan güvenilirliği değerlendirmesi, 2012	Modified Heart, 3 tane hemşire kullanarak aritmetik ortalama alma yoluna gidilmiştir.
9	Yazdi, M.	Olasılıksal risk değerlendirme tekniklerinde müdahale eylemlerini önceliklendirmek için algısal hesaplama dayalı bir yöntem, 2020	Oran analiziyle çok amaçlı optimizasyon (MOORA-multi objective optimization by ratio analysis) kullanılmıştır.
10	Can, G. F., Delice, E. K.	Gelişmiş bir insan hatası değerlendirme yaklaşımı: HEART and AV-DEMATEL, 2020	MCDM metodu olan AV-DEMATEL kullanılmıştır.

Tablo 2.2. (Devam) APOA değerin belirlenmesinde kullanılan teknikler

11	Rezaei, J.	En iyi-en kötü çok kriterli karar verme yöntemi, 2015	En iyi ve kötü-MCDM metodu kullanılmıştır.
12	Gibson, W., Kirwan, B	CARA HRA yönteminin hava trafik yönetimi emniyet vakalarına uygulanması, 2008	CARA, GTT, EPC ve HEP değerlerine ulaşılan verilerini hava trafik kontrolörlerine özel CORE-DATA ve NARA verilerini kullanarak modifiye etmiştir.
13	Yazgan, E., Delice, E.K.	Eğitim Uçağındaki Kritik Uçak Bakım Uygulaması için Hibrit İnsan Hatası Değerlendirme Yaklaşımı, 2021	ANP-MCDM metodunda 7 kişinin değerlendirmesine başvurulmuştur.
14	Guo, Y., Sun, Y.	Entegre insan güvenilirliği ölçüm yaklaşımına dayalı uçuş emniyeti değerlendirmesi, 2020	IAHP 4 uzman görüşüyle ağırlıklandırma matrisi yapılmıştır. AHP'deki tutarlılık oranı (consistency ratio-CR) basamağı belirtilmemiştir.
15	Sun G., Zeng S, Guo J.,Zhou G.	Uçak gemilerine iniş sürecindeki pilot hatalarının onaylanmış kantitatif değerlendirme yöntemi, 2015	CORE-DATA ve HEART kullanılarak GTT değeri ve 3 uzman görüşüyle APOA'lar bulunmuştur.
16	Sheikhalishahi, M., Azadeh, A., Pintelon, L., Chemweno, P., Ghaderi, S. F.	Çoklu Üretim Hattında İnsan Hatasını Göz önünde bulundurarak Bakım Planlama Optimizasyonu, 2016	Klasik HEART modelinde 3 bakım yöneticisinin değerlendirmesi kullanılmıştır.

Bu çalışmada, daha önce helikopter uçuşları için insan hatası analizi çalışmasına rastlanmadığından dolayı, temel bir çalışma olması maksadıyla geleneksel HEART yöntemi içerisinde birbirinden bağımsız olarak toplanmış yedi uzmanın belirlediği APOA değerlerinin aritmetik ortalaması kullanılacaktır (Chadwick ve Fallon, 2012).

3. METODOLOJİ

3.1. HEART Yaklaşımı

HRA yöntemleri arasında, Williams tarafından geliştirilen *HEART* en sık kullanılan yöntemlerdendir. *HEART*, olası insan hatalarının çeşitlerini, bu hataların tahmini ihtimallerini ve bu ihtimalleri etkileyebilecek unsurları (örneğin zaman baskısı, stres, kötü çalışma koşulları, düşük moral gibi) inceler. Ayrıca, tasarımda insan hatalarını önlemek için alınabilecek önlemleri ve bu hataların etkilerini azaltmak için gerekli olan ek hafifletici çözümleri değerlendirir (Can ve Delice, 2020).

HEART metodunda takip edilmesi gereken işlem maddeleri Tablo 3.1’de özet olarak sunulmuştur (http-1; Williams, 1988) .

Tablo 3.1. *HEART modeli işlem maddeleri (Yazgan ve Delice, 2021; http-1)*

İşlem	Görev	Çıktı
1	Genel Görev Güvenilmezliği (Generic Task Unreliability): Görevi, genel insan güvenilmezliği açısından 9 genel <i>HEART</i> görev türünden birine sınıflandırın.	Nominal insan güvenilmezlik olasılığı (<i>NHUP</i> -Nominal human unreliability probability)
2	Hata Üretken Koşul ve Çarpan: Analiz edilen senaryo/görev için performansı olumsuz yönde etkileyebilecek ilgili hata üreten koşulları (<i>EPCs</i>) belirleyin ve ilgili çarpanı elde edin.	Güvenilmezliğin artabileceği maksimum tahmini nominal miktar (çarpan- multiplier)
3	Değerlendirilen Etki Oranı (Assessed Proportion of Effect – <i>APOE</i>): Yargıya dayalı olarak her bir <i>EPC</i> ’nin görev üzerindeki etkisini tahmin edin.	0 ile 1 arasındaki etki değeri oranı
4	Değerlendirilen Etki: Her bir <i>EPC</i> için “değerlendirilen etkiyi” aşağıdaki formüle göre hesaplayın: $((Multiplier - 1) \times Assessed Proportion of Effect) + 1$	Değerlendirilen etki değeri
5	İnsan Hata Olasılığı: Aşağıdaki formüle dayalı olarak görevin başarısız olma olasılığını hesaplayın: $HEP = GTT \times [(EPC1-1) \times APOA1 + 1] \times [(EPC2-1) \times APOA2 + 1] \times \dots \times [(EPCn-1) \times APOAn + 1]$	Genel başarısızlık oranı

HEART, insanların birbiriyle etkileşimlerini, özel görevlerini ve insan performansını etkileyen faktörleri ya da hata üreten koşulları (*EPC*'ler) analiz eder (Williams, 1988). *HEART* modeli, genel görev türleri (generic task types - *GTT*) ve *EPC*'ler olmak üzere iki ana parametre ile tanımlanır. *HEART* metodolojisinde, iş yerlerinde sıklıkla rastlanan dokuz farklı *GTT* bulunur ve bunlar A'dan M'ye kadar Tablo 3.2'de listelenmiştir. Her bir *GTT*, nominal insan hatası olasılığı (*NHU*) olarak adlandırılan farklı hata ihtimallerine sahiptir (Williams, 1988; Yazgan ve Delice, 2021; Can ve Delice, 2020).

Tablo 3.2. Genel görev güvenilmezliği (Williams, 1988)

Tipler	Jenerik görevler	Önerilen nominal insan güvenilmezliği (5-95.% sınırlar)
A	Tamamen yabancı, olası sonuçlara dair gerçek bir fikir olmadan hızla gerçekleştirildi.	0.55 (0,35-0,97)
B	Değişim ya da gözetim veya prosedürler olmadan tek denemede yeni veya orijinal durumuna sistem geri yükleme.	0.26 (0,14-0,42)
C	Üst düzey anlama ve beceri gerektiren karmaşık görev.	0.16 (0.12-0.28)
D	Hızla gerçekleştirilen veya yetersiz dikkat verilen oldukça basit bir görev.	0.09 (0,06-0,13)
E	Rutin, çok pratik, nispeten düşük düzeyde beceri içeren hızlı görev.	0,02 (0,007-0,045)
F	Bazı kontroller ile prosedürleri takip eden yeni bir evreye veya orijinal haline sistemi dönüştürmek ya da yenilemek	0.003 (0,0008-0,007)
G	Tamamen bilindik, iyi tasarlanmış, oldukça pratik, saat başına birkaç kez meydana gelen rutin görev, yüksek düzeyde motive olmuş, tamamen hatadan kaynaklanan sonuçların farkında, lakin önemli yardımcı doküman olmaksızın, zamanla potansiyel hatayı düzeltmek için yüksek eğitilmiş ve tecrübeli bir kişi tarafından mümkün olan en yüksek standartlarda gerçekleştirilir.	0.0004 (0.00008-0.009)
H	Sistemin durumunun doğru yorumlanmasını sağlayan bir artırılmış veya otomatik denetleme sistemi olduğunda bile sistem komutuna doğru yanıt verme	0,00002 (0,000006-0,00009)
M	Açıklamanın bulunmadığı çeşitli görevler. (Nominal 5 ila 95.% veri yayımları, normallik olduğunu düşündüren deneyim temelinde seçilmiştir)	0,03 (0,008-0,11)

EPC'ler, operatörün deneyim düzeyi, zamanla ilgili baskı, operatörün moral durumu, yaş, görev için ayrılan yeterli zaman, risk algısındaki yanlışlar gibi, insan performansını olumsuz etkileyebilecek herhangi bir içsel veya dışsal durum olarak tanımlanabilir. Bu çeşitli durumlar, iş yerlerinde genellikle karşılaşılan genel görev türleri (*GTT*) ile ilişkilendirilir. *EPC*'ler, belirli bir görevdeki Hata Olasılığını (*HEP*) artırabilecek bu koşulların etkisini belirten düzeyleri ifade eder. Yani *EPC* ve *GTT*'ler birlikte ilgili *HEP* değerlerini arttırabilir. *HEART* yaklaşımının içerdiği 38 farklı *EPC* Tablo 3.3'te gösterilmiştir (Can ve Delice, 2020).

Tablo 3.3. Hata üreten durumlar (*EPC*) (Williams, 1988)

Hata Üreten Durum (<i>EPC</i>)		"Hedef" koşullarından "kötü" olana kadar güvenilmezliğin değişebileceği maksimum tahmini nominal değer
1	Nadiren ortaya çıkan veya yeni olan potansiyel öneme haiz bir duruma yabancı olma	X 17
2	Hata tespiti ve düzeltme için yeterli zaman eksikliği	X 11
3	Düşük bir sinyal-gürültü oranı	X 10
4	Çok kolay erişilebilir olan bilgi veya özelliklerin bastırılması veya geçersiz kılınması durumu	X 9
5	Mekânsal ve işlevsel bilgileri operatörlere kolayca çözümleyecekleri bir biçimde aktarmanın hiçbir yolunun olmaması durumu.	X 8
6	Bir dünya operatörü modeli ile tasarımcı hayali arasındaki uyumsuzluk	X 8
7	İstenmeyen bir eylemi tersine çevirmenin açık bir yolu yoktur	X 6
8	Bir kanal kapasitesinin aşırı yüklü olması, özellikle birinin gereksiz bilgiyi eşzamanlı sunumundan kaynaklanır	X 6
9	Bir teknikten vazgeçme ve karşıt bir felsefenin uygulanmasını gerektiren birini yerine getirme ihtiyacı	X 5.5
10	Özel bilgileri, kayıp olmaksızın görevden göreve aktarma ihtiyacı	X 5
11	Gerekli performans standartlarında belirsizlik	X 4
12	Algılanan ve gerçek risk arasındaki uyumsuzluk	X 4
13	Kötü, belirsiz veya yanlış eşleştirilmiş sistem geri bildirimi	X 3
14	Kontrolün uygulanacağı sistem kısmından istenen bir eylemin doğrudan ve zamanında doğrulanmaması	X 3

Tablo 3.3. (Devam) Hata üreten durumlar (EPC) (Williams, 1988)

15	Operatör deneyimsiz (örneğin, yeni kalifiye bir meslek erbabı, ancak bir "uzman" değil)	X 8
16	Prosedürler ve kişi-kişi etkileşimi tarafından aktarılan bilgilerin yetersiz kalitesi	X 3
17	Çıktıya ait bağımsız bir kontrolün ya da testin az veya hiç olmaması	X 3
18	Anında ve uzun vadeli hedefler arasında bir çatışma	X 2.5
19	Doğruluk kontrolleri için bilgi girişi çeşitliliğinin bulunmaması	X 2.5
20	Bir bireyin eğitim başarı düzeyi ile görev gereksinimleri arasında bir uyumsuzluk	X 2
21	Daha tehlikeli prosedürleri kullanma için teşvik	X 2
22	İşin anlık sınırları dışında zihin ve beden egzersizi yapmak için çok az fırsatın olması	X 1.8
23	Güvenilmez teçhizat (fark edilmesi yeterli)	X 1.6
24	Bir operatörün yetenekleri veya deneyimlerinin ötesinde olan mutlak yargılara duyulan ihtiyaç	X 1.6
25	İşlev ve sorumluluğun belirsiz dağılımı	X 1.6
26	Etkinlik sırasında ilerlemeyi takip etmenin açık bir yolunun bulunmaması	X 1.4
27	Sınırlı fiziksel yeteneklerin aşılması tehlikesi	X 1.4
28	Bir görevde az ya da anlamsız tanımlamalar	X 1.4
29	Üst düzey duygusal stres	X 1.3
30	Çalışanlar arasında hastalık özellikler ateş	X 1.2
31	Düşük işgücü morali	X 1.2
32	Gösterge ve prosedürlerin anlamının tutarsızlığı	X 1.2
33	Kötü ya da uygun olmayan bir ortam (% 75'inin altında sağlık ya da yaşamı tehdit eden şiddet)	X 1.15
34	Uzun süreli hareketsizlik veya düşük zihinsel iş yükü görevlerinin sıklıkla tekrarlanan döngüsü	İlk yarım saat için X 1.1 Sonraki her saat için X 1.05
35	Normal iş-uyku döngüsünün bozulması	X 1.1
36	Görev hızına başkalarının müdahaleleri	X 1.06
37	Normal ve tatmin edici bir şekilde görev yapmak için gerekli olan ek ekip üyeleri	Ek adam başına X 1.03
38	Algısal görevleri yerine getiren personelin yaşı	X 1.02

3.2. HEART Metodu Uygulaması

Geleneksel HEART metoduna yönelik en büyük eleştiri, GTT ve EPC'lerin tek bir karar verici tarafından belirlenmesinin süreci subjektif hale getirmesidir. Sübjektifliğin azaltılması için birden fazla uzman görüşünün alınması çözüm olarak geliştirilmiştir (Chadwick ve Fallon, 2012; Yazgan ve Delice, 2021; Guo, 2020; Sun vd., 2016; Sheikhalishahi vd., 2016). Uzman sayısının optimal seviyede tutulması önemlidir. Uzman sayısının 10'u aşması durumunda, işlemlerin hata olasılıklarının artacağı, işlemlerin sıkıcı hale geleceği ve hesaplamaların destek için bilgisayar programlarına ihtiyaç duyacak kadar karmaşık bir yapıya bürüneceği ortaya konmuştur (Seaver ve Stillwell, 2015). Bu tezde, subjektifliği azaltmak ve aynı zamanda işlem karmaşasına sebebiyet vermemek amacıyla yedi farklı uzmanın görüşlerine başvurulmuştur. Uzmanlar, X1'den başlayarak X7'ye kadar numaralandırılmıştır.

İlk aşamada, uzmanlar birbirinden bağımsız olarak tüm alt görevler için GTT ve EPC'leri belirlemişlerdir. Belirlenen GTT ve EPC'ler incelenmiş ve uyumsuzluk bulunan alt görevler için çoğunluk kuralı uygulanmıştır. Çoğunluk kuralı sonrasında ortaya çıkan GTT ve EPC'ler uzmanlar tarafından birlikte değerlendirilmiş ve mutabakat sağlanmıştır (Akyüz vd., 2016).

İkinci aşamada, belirlenmiş olan EPC'lere yönelik APOA değerlerinin tespiti için üzerinde mutabık kalınan EPC'lerin işlenmiş olduğu çizelgeler uzmanlara sunulmuştur. Geleneksel hesaplama yönteminde, her bir EPC'nin etkisini yansıtan APOA değeri 0 ile 1 arasında değerlendirilir. Bu değer, EPC'nin ilgili görev üzerindeki göreceli ağırlığını temsil ettiği için APOA'nın hesaplanması karar vericiler tarafından gerçekleştirilir (Akyüz vd., 2016). APOA değerleri uzmanlar tarafından birbirlerinden bağımsız olarak belirlenmiştir. Uzmanlar tarafından belirlenen değerler tek bir çizelgede birleştirilerek ortalamaları alınmış ve çalışmada bu ortalama değerler kullanılmıştır (Chadwick ve Fallon, 2012).

Geleneksel HEART yönteminde, bazı HEP değerleri 1'den büyük olarak ortaya çıkmaktadır. Bu konuda literatürde iki farklı çözüm önerilmiştir. Birincisi, APOA değerlerinin normalleştirilmesi; ikincisi ise Williams (1988) ile Chadwick ve Fallon (2012) tarafından önerilen, 1 değerini aşan olasılıkların 1 değerine sabitlenmesi yöntemidir. En sık karşılaşılan normalizasyon yöntemi min-max normalizasyon formülüdür (Larose ve Larose, 2015). Bu formülle en yüksek değer 1 olarak, en düşük

değer ise 0 olarak normalleştirilir. Ancak, bu durum hata olasılığı açısından problemlere yol açabilir. Öte yandan, decimal scaling formülü kullanıldığında tüm değerler 0-1 arasında normalleştirilir ve bu yöntem daha önce de kullanılmıştır (Faucett, 2017; Williams, 1988).

$$X_{\text{decimal}} = \frac{x}{10^d} \quad (3.1)$$

Decimal scaling formülüne göre ilgili serinin en yüksek değeri tespit edilir ve tam sayı kısmının basamak sayısı normalize için tespit edilir. Bu tam sayı kısmın basamak sayısı 10 üzerine gelerek her bir değere bölünerek normalize edilmiş olur.

Bu çalışmada, hata olasılığının görece yüksek olduğu alt görevler belirlenerek buna yönelik önlemler alınması amaçlandığından hata olasılıklarının göreceli değerlendirmesinin yapılması gerekmektedir. Bu açıdan decimal scaling formülü ile olasılık değerleri 0-1 arasına alınabilirken, aynı zamanda alt görevler arasındaki farklılıklar görülebilmektedir. Sonuç olarak, tez çalışmasında doğru değerlendirmeler yapabilmek için decimal scaling formülü ile normalizasyon yöntemi kullanılmıştır.

Süreç sonunda tespit edilen hata olasılık değerleri Garvey (2001) tarafından risk açıklama aralıkları şeklinde yorumlanmıştır (Garvey, 2001; Köseoğlu vd., 2023). İlgili değerler Tablo 3.4'te gösterilmiştir.

Tablo 3.4. Hata olasılıkları yorumu ve değerleri (Köseoğlu vd., 2023)

Olay Risk Olasılığı	Tanımlama	Değerlendirme
$> 0 - \leq 0.05$	Gerçekleşme ihtimali yok	Düşük
$> 0.05 - \leq 0.15$	Gerçekleşmeme ihtimali çok yüksek	Düşük
$> 0.15 - \leq 0.25$	Gerçekleşmeme ihtimali yüksek	Düşük
$> 0.25 - \leq 0.35$	Gerçekleşmeme ihtimali az	Düşük
$> 0.35 - \leq 0.45$	Gerçekleşmeme ihtimali gerçekleşmesinden fazla	Orta
$> 0.45 - \leq 0.55$	Gerçekleşmeme ihtimali gerçekleşme ihtimaliyle aynı	Orta
$> 0.55 - \leq 0.65$	Gerçekleşme ihtimali gerçekleşmemesinden fazla	Orta
$> 0.65 - \leq 0.75$	Gerçekleşme ihtimali var	Yüksek
$> 0.75 - \leq 0.85$	Gerçekleşme ihtimali yüksek	Yüksek
$> 0.85 - \leq 0.95$	Gerçekleşme ihtimali çok yüksek	Yüksek
$> 0.95 - < 1$	Gerçekleşme ihtimali kesin	Yüksek

4. UH-60 HELİKOPTERİ VE HELİKOPTER TEST UÇUŞU

Birçok sektörde uygulama alanı bulmuş olan *HEART* yaklaşımının havacılık sektöründe uygulamalarının çok az olduğu ve insan hatasının askeri havacılıkta da kazalara neden olmasına rağmen bu alanda çalışmaların daha da sınırlı olduğu görülmüştür. Yapılan incelemelerde, askeri havacılık çalışmalarının F-18 ve Tayvan *IDF* uçaklarına yoğunlaştığı tespit edilmiştir. Dünyada birçok ülkede ve Türkiye’de de birçok kurumda geniş kullanım alanı bulan UH-60 helikopterlerinin dahil edildiği bir çalışmaya ise rastlanılmamıştır.

Dünya üzerinde 4000 adet helikopter ile *ABD* ve 34 diğer ülkede çok çeşitli görev yelpazesinde uçuşlara devam eden UH-60 helikopterinin hikayesi 1972 yılında *ABD* ordusunun başlattığı “Taktik Genel Maksat Hava Aracı Sistemi” (*UTTAS*-Utility Tactical Transport Aircraft System) programı ile başlamıştır. Kore Savaşı’nda edinilen tecrübe ışığında ihtiyaç duyulan, taktik bir birliği (11 tam teçhizatlı askerden oluşan bir takım) arazinin istenilen kısmına tek seferde taşıyabilecek bir helikopter sistemini temin etmek için başlatılan programa Bell, Boeing ve Sikorsky firmaları başvurmuş ve ilk seçim sonrasında Boeing ve Sikorsky firmaları prototiplerini teslim etmek üzere seçilmiştir. 1976 yılının mart ayında *ABD* ordusu Sikorsky firmasından 3 adet YUH-60A, Boeing firmasından 3 adet YUH-61A prototip helikopterini teslim alarak, 8 ay sürecek olan hükümet yarışma testine başlamıştır. 23 Aralık 1976 tarihinde *UTTAS* prototip sözleşmesini kazandıktan 52 ay sonra, Sikorsky üretim programının kazananı olarak açıklanmıştır (Sikorsky, 2024; Leoni, 2007).

Sikorsky firması, yaklaşık 50 yıllık süreçte *ABD* ordusuna UH-60 adıyla, talep eden diğer ülkelere istedikleri konfigürasyonda S-70 ana model adıyla helikopter üretmeye devam etmektedir. Türkiye’de Türk Uçak Sanayii Anonim Ortaklığı (*TUSAŞ*) firmasının ana yükleniciliğinde lisans altında üretim modeliyle T-70 adıyla 2021 yılından itibaren seri üretimi yapılmaya başlanmıştır. Türk Silahlı Kuvvetleri, Jandarma Genel Komutanlığı ve Orman Genel Müdürlüğü ilk kullanıcıları olarak görünmektedir (*TUSAŞ*, 2024; Sikorsky, 2024).

UH-60 helikopterinin Türkiye serüveni ise 1988 yılında başlamıştır. Türkiye’nin taktik genel maksat helikopteri ihtiyacını karşılamak üzere başlattığı yarışmaya, 1988 yılı mart ayında Sikorsky firması UH-60, Aerospatiale firması (günümüzde Airbus firmasının dahilinde) Puma ve *MBB* (Messerschmitt-Bölkow-Blohm) firması BO-105 helikopteri ile katılmıştır. Yarışmada Amerikalı pilotlar Diyarbakır’ın kuzeyinde dağlık bir bölgeden

aldıkları 43 asker ve beraberindeki malzemeleri 20 dakikalık uçuş ile ana üsse getirmiştir. Bu performans ile yarışmanın kazananı olarak ilk önce Jandarma Genel Komutanlığı tarafından kullanılmaya başlanırken, günümüze kadar farklı zamanlardaki siparişlerle yaklaşık 150 adet helikopter Türk Silahlı Kuvvetleri ve İçişleri Bakanlığı tarafından kullanılmaya devam etmektedir (Leoni, 2007).

UH-60, çift türbin motorlu, tek rotorlu, yarı monokok gövdeli, döner kanatlı bir helikopterdir. Helikopterin birincil görev kabiliyeti, asker, malzeme ve ekipmanın taktik taşınmasıdır. İkincil görevler arasında eğitim ve afet yardım desteği bulunmaktadır. Ana rotor sistemi, titanyum/fiberglastan yapılmış dört pale sahiptir. Transmisyon sistemi, ana transmisyon, ara dişli kutusu ve kuyruk rotor dişli kutusundan oluşur ve bunları bağlayan miller vardır. Tahrik sistemi, paralel çalışan iki T700-GE-700 (modele göre T700-GE-701A, T700-GE-701C veya T700-GE-701D) motoruna sahiptir. İçeri toplanamayan iniş takımı, ana iniş tekerleri ve bir kuyruk tekerinden oluşur. Silah donanımı, opsiyonel olarak helikopterin ön kabininde her iki yanda birer adet 7.62 mm makineli tüfekten oluşur. Menzil arttırma tankları, kurtarma vinci, tıbbi tahliye, kızılötesi bastırma, pal anti-buzlanma/çözme, karartma cihazları, kar kayakları, kış kitleri ve statik/iplerle inme kitlerini kapsayan kit seçenekleri mevcuttur (Department of the Army Headquarters, 1996).

Helikopterin mürettebatı iki pilot ve bir teknisyenden oluşur. Yolcu kapasitesi 14 personel veya 6 sedyedir. Azami kalkış ağırlığı dahili yük ile 9979 kg, harici yük ile 10660 kg'dır. Uzunluğu 19,76 m., yüksekliği 5,13 m. ve rotor çapı 16,36 m.'dir. Azami hızı saatte 357 km.'dir. Menzili 592 km. ve servis tavanı 6096 m.'dir. Motor güç oranları T700-GE-700 motoru 1565 *SHP* (Shaft Horse Power), T700-GE-701 motoru 1690 *SHP*, T700-GE-701C motoru 1800 *SHP* ve T700-GE-701D motoru 1902 *SHP* olarak belirtilmiştir (Department of the Army Headquarters, 1996).

Bir hava aracı test uçuşu, tipik olarak normal görevleri hat uçuşu olan uçuş mürettebatı tarafından gerçekleştirilen, gelir getirmeyen bir uçuş olarak sınıflandırılabilir. Son dönemde bu tür uçuşlara Fonksiyonel Kontrol Uçuşları veya Bakım Kontrol Uçuşları da denmektedir (Knezevic, 2018). Test uçuşunun amacı, hava aracı sistemlerinin doğru işleyişini test etmektir (Poprawa, 2015). Genellikle;

- (a) Önemli bir büyük bakım olayından sonra,
- (b) Uçağın sökülüp yeniden birleştirildiği bakım kontrolünden sonra,
- (c) Bir uçağın kabulü veya iadesi için,

(d) Düzenleyici otorite tarafından gerekli görüldüğünde,

(e) Hava aracı bakım el kitabının gerektirdiği durumlarda hava aracı test uçuşu yapılması gerekliliği ortaya çıkar (Poprawa, 2015).

Havacılık Güvenliği Ağı, 2002'den bu yana web sitesinde, gelir amaçlı uçuşlarda ticari jet uçaklarının karıştığı ve yanlış veya yetersiz bakım prosedürlerine veya uçak teknik komplikasyonlarına doğrudan atfedilebilen 49 uçak kazasını veya olayını listelemektedir. Bu kazalar her geçen yıl azalsa da tamamen ortadan kaldırılamamıştır. İnsan hatası endüstrinin her yerinde mevcut olmaya devam etmektedir (Poprawa, 2015).

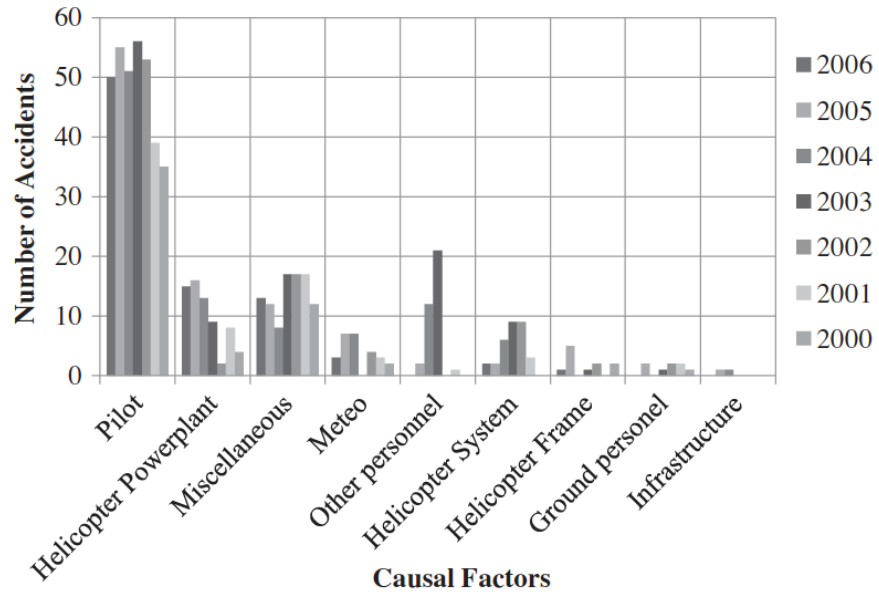
Bu tür kaza istatistikleri, mürettebat müdahalesi ile önlenen olayları değil, yalnızca önlenemeyen gerçekleşmiş olayların boyutunu ortaya koyuyor. Önlenebilen olaylara ilişkin istatistikler ya mevcut değildir ya da hava aracının ait olduğu birimin arşivlerinde bulunmakta ve yayınlanmamaktadır. Sonuçta olumsuzlukları kaydetmek ve raporlamak, her zaman başarılı olayların ölçülmesinden daha kolay olmuştur (Poprawa, 2015).

Hava aracı test uçuşlarının maksadı normal uçuş operasyonlarının güvenli bir şekilde devam etmesini sağlamaktır. Dolayısı ile emercensi bir durumun normal uçuşlara göre test uçuşunda meydana gelmesi ihtimali yüksek olmaktadır. Bu durum da pilotun üzerinde halihazırda bulunan uçuş stresini çok yüksek seviyelere çıkararak insan hatası ihtimalini artırmaktadır. Hava aracı test uçuşlarında mevcut olan yüksek riskin, tüm raporlanabilmiş olaylara göre en az bir veya iki kat daha yüksek görüldüğünü söylemek yanlış olmayacaktır. Dolayısıyla insan hatası sonucu problem yaşanan test uçuşlarının sadece çok küçük bir kısmının felaketle sonuçlandığı sonucunu çıkarmak mümkün olmakla birlikte ortaya çıkan felaketin boyutu düşünüldüğünde kabul edilemeyeceği açıkça görülmektedir (Knezevic, 2018).

5. UH-60 HELİKOPTERİ TEST UÇUŞ HAREKETLERİNDE İNSAN HATASI OLASILIĞININ DEĞERLENDİRİLMESİNDE HEART YAKLAŞIMI

5.1. Kritik Olan Test Uçuş Hareketlerinin Seçilmesi

Helikopter kazalarını araştırmak üzere yürütülen çok fazla çalışma olmamasına rağmen, ABD ve Rusya’da yürütülen iki farklı çalışmada 2005 yılında helikopter kaza oranlarının 100,000 uçuş saatinde 6,3’e kadar gerilediği ancak uçak kazalarına göre daha yüksek olduğu ortaya konmuştur (de Voogt ve van Doorn, 2007; Volodko, 1996). Helikopter kazalarının oluşumunda birçok farklı faktörün aynı anda etki yarattığı unutulmamalıdır. Ancak araştırmalar helikopter kazalarının yüksek oranda insan faktöründen kaynaklandığını ortaya koymuştur. 2000-2005 yılları arasında Avrupa’da gerçekleşen helikopter kazası nedenleri Şekil 5.1’de gösterilmiştir (Cokorilo vd., 2013).



Şekil 5.1. Helikopter kazalarına neden olan faktörler (Avrupa) (Cokorilo vd., 2013)

Hava aracı test uçuşları, can kaybının azaltılması ve güvenlik standartlarının sağlanması için havacılık endüstrisinin ayrılmaz bir parçasıdır. Ancak bu tip uçuşlar normal uçuşlara göre birkaç kat daha fazla risk teşkil etmektedir (Poprawa, 2015).

Helikopter test uçuşları genellikle test pilot eğitimi görmüş pilotlar tarafından yapılır. Test uçuşu esnasında yapılan bakım, değiştirilen parça veya tespit edilen arızaya yönelik olarak test uçuş çeklistine uygun olarak uçuş icra edilir. Test uçuşları esnasında normal uçuş stresinin üzerine pilotun üzerinde takip etmesi ve hatta bazı durumlarda

kaydetmesi gereken durumlar nedeniyle daha fazla stres binmektedir. Bu nedenle test uçuşları esnasında insan hatası olasılığının daha yüksek olduğu işlem adımlarının tespit edilmesi ve bu işlem adımlarına yönelik önlem alınması gerçekleştirilecek kazaların önüne geçmeye yardımcı olacaktır.

UH-60 Helikopteri test uçuş çeklisti incelendiğinde test uçuşu öncesi, iç kısım, motor çalıştırmadan önce, motor çalıştırma, motor hızlandırma, taksi, kalkış öncesi, havır, kalkış sonrası, tırmanış, seyahat, iniş öncesi, iniş sonrası ve motor susturma bölümlerinin olduğu görülmektedir. Yerde ve havırda icra edilen test uçuş hareketlerinin de insan hatasına açık olduğu ve hava aracı kazasının bu kısımlarda da gerçekleştirilebileceği kabul edilse de bu çalışmada riskin daha fazla olduğu uçuş hareketleri incelenecektir.

Seyahat kısmında yer alan test uçuş hareketleri incelendiğinde, 8 alt başlıkta ifade edilebileceği görülmüştür. Bu alt başlıklar Tablo 5.1’de gösterilmiştir.

Tablo 5.1. *Seyahat test uçuş hareketleri alt başlıkları (Department of the Army Headquarters, 1997)*

Seyahat Test Uçuş Hareketleri	
1	Otorotasyon <i>RPM</i> Kontrolü
2	Uçuş Kontrol Edilebilirliği Kontrolü
3	Maksimum Güç Kontrolü
4	Stabilatör Kontrolü
5	<i>FPS/SAS</i> Kontrolü
6	Beep Trim Kontrolü
7	Hava Aracı Durumu/Sürat Kontrolü
8	Vh Kontrolü

Çalışma için tüm test uçuş hareketlerinin insan hatası analizi yapılması planlanmıştır. Ancak uzmanlarla yapılan görüşmelerde, seyahat test uçuş hareketlerinde kontrol edilen sistemlerin bazılarının normal uçuş koşullarına yakın koşullarda yapıldığı, bazılarının ise sürat, güç veya rotor dönüşü limitlerinde hatta normal uçuş limitlerinin dışında yapıldığı, dolayısı ile tüm hareketlerin analizinin gerekli olmadığı değerlendirilmiştir. Normal uçuş koşullarına yakın yapılan 2,4,5,6,7. uçuş hareketlerinin pilot hatası açısından incelenmesi durumunda normal uçuş koşullarındaki hatalara yakın sonuçlar elde edileceği değerlendirilmektedir.

Otorotasyon *RPM* kontrolü esnasında rotor dönüşü limitlerinin aşılması veya güçlü uçuşun tesis edilmesinde geç kalınması gibi test uçuş çeklistinde de belirtilen durumlarla

karşılaşılabileceğinden test pilotu üzerindeki stresin nispeten yüksek olacağı değerlendirilmektedir. Maksimum güç kontrolünde ise hava aracının tek motor ile motor limitlerine erişilebildiği ve bu limitlerde sağladığı güç miktarının kaydedilmesi gerekmektedir. Bu hareket esnasında karşılaşılabilecek emercensi durumlarda zaten tek motor koşullarında bulunulduğundan ve yüksek pal açısı mevcut olduğundan reaksiyon süresi çok kısıtlı olmaktadır. Bu nedenle pilot üzerindeki stres seviyesi bu durumda da çok yüksek olmaktadır. Son olarak Vh kontrolünde ise çift motor ile üst çalışma limitine kadar güç tatbiki sağlanması ve bu güç durumunda bazı değerlerin kaydedilmesi istenmektedir. Yine bu durumda gerçekleşebilecek bir emercensi durumda reaksiyon süresi kısıtlı olduğundan test pilotu üzerindeki stres seviyesi çok yüksek olmaktadır. Bu nedenlerle çalışmada bu üç test uçuş hareketi incelenecektir.

5.2. Analiz Edilecek Test Uçuş Hareketleri İçin Alt Görevlerin Belirlenmesi

Çalışmada ABD ordusunun herkese açık olarak sınırsız yayınladığı 31 Mart 1997 tarihli UH-60A/UH-60L/EH-60A helikopteri test uçuş maneli (TM 1-1520-237-MTF) kullanılmıştır. Yayına son değişiklik 27 Kasım 2000 tarihinde işlenmiştir. Bu yayına göre Otorotasyon RPM Kontrolü alt görevleri Tablo 5.2’de, Maksimum Güç Kontrolü alt görevleri Tablo 5.3’te ve Vh Kontrolü alt görevleri Tablo 5.4’te verilmiştir.

Tablo 5.2. Otorotasyon RPM Kontrolü alt görevleri (Department of the Army Headquarters, 1997)

Alt Görevler
1. Basınç İrtifası – İkinci Pilot Altimetresini 29.92 İnç Cıva Ayarla
2. Kontrol İrtifasına Tırman ve FAT Stabil Olana Kadar Düz Uçuş Yap ve Kaydet
3. Otorotasyon Hareketine Başlamak İçin 1000 feet Daha Tırman
4. Düz Uçuşta 80 Kt Muhafaza Et
5. NO.2 ENG POWER CONT- IDLE, Stabil Olduktan Sonra IDLE Pozisyonunun Hemen Önüne Al
6. Hava Aracı Trimde ve 80 Kt Muhafaza Ederek Kollektifi Yavaşça Tam Aşağı Bastır
7. NO.1 ENG POWER CONT- IDLE Pozisyonuna Çek. Sonra IDLE Pozisyonunun Hemen Önüne Al
8. Kontrol İrtifasını Geçerken % RPM R ve Yakıt Miktarını Kaydet
9. NO.1 ve NO.2 ENG POWER CONT- FLY Pozisyonuna İlerlet, % RPM 1 veya 2 % RPM R'dan Daha Fazla Olmamalı
10. Güçlü Uçuşu Tekrar Sağla
11. 5. Bölümdeki Otorotasyon RPM Düzeltme Çizelgesini Kullanarak, RPM'in ± 3 İçerisinde Olduğunu Kontrol Et

Tablo 5.3. *Maksimum Güç Kontrolü alt görevleri (Department of the Army Headquarters, 1997)*

Alt Görevler
1. NO.1 ve NO.2 ENG POWER CONT Kolları - FLY ve %100 RPM R ile 120 Kt Düz Uçuşu Sağla
2. Kontrol Edilmeyen Motor ENG POWER CONT Kolu - Yaklaşık %55 TQ Olacak Şekilde Geriye Al (%50 TQ Altında Olmamalı). Sonraki Adımlarda Bu TQ Koruyacak Şekilde ENG POWER CONT Kolunu Ayarla
3. %2 RPM R Düşüşü Görülene Kadar Kollektif Kumandayı Yukarı Tatbik Etmeye Devam Et. Tek Motor TQ Limitini (%135) Gözlemle. Gerekirse Süratin Artmasına Müsaade Et. Kontrol Edilen Motorun TGT Değerini Kaydet
4. Kontrol Edilen Motor İle 120 Kt Tek Motor Uçuşu Sağla. Diğer Motor %0 TQ Olacak Şekilde Geriye Aldıktan Sonra Önceden Kaydedilen TGT Değeri (866±6) Görülene Kadar Kollektif Tatbik Et ve 30 Saniye Bekle. TQ, TGT, NG, Basınç İrtifası ve FAT Değerlerini Kaydet
5. % RPM R 1-2 Düşene Kadar Yavaşça Kollektif Tatbik Etmeye Devam Et. %135 TQ veya 2,5 Dk Limitleme Ayarını (891±5) Aşma. Limitlenen TGT Değerini Kaydet ve Düz Uçuşu Tekrardan Sağla
6. TM 55-2840-248-23' e Göre, Motor Tork Faktörü (ETF) ve Hava Aracı Tork Faktörü (ATF) Tespit Et.

Tablo 5.4. *Vh Kontrolü alt görevleri (Department of the Army Headquarters, 1997)*

Alt Görevler
1. Saykılık Pozisyonu - Yanal Olarak Ortada. Borda Paneli İle Saykılık Arasındaki Mesafeyi Ölç. Saykılık, Yer Saykılık İleri Durdurucu Kontrolündeki Değerden En Az 2 İnç Geride Olmalı
2. Pedallar - Sağ Pedal Sol Pedaldan 2 İnçten Daha Fazla İlerde Olmayabilir
3. Kollektif Yukarı Durdurucusu - Kollektif Yukarı Durdurucuya Gelmeden Önce Vh Gözlemlenebilir. Yukarı Durdurucuya Değdiği Pozisyonda Vh Gözlemlenebiliyorsa Bu Durum Kabul Edilebilir
4. STAB POS Göstergesi - Aşağı 0-4 Derece Arasında Olduğunu Kontrol Et
5. Sarsıntı - Anormal Sarsıntı Varsa Kaydet

5.3. Analiz Edilecek Test Uçuş Hareketleri Alt Görevleri İçin GTT'lerin Belirlenmesi

Bu işlem basamağında tespit edilen her alt görev için Tablo 3.2'de belirtilen A'dan M'ye kadar olan GTT'lerden bir tanesi belirlenir. Bu GTT'ler belirlenirken uzman görüşlerine başvurmak gerekmektedir.

Bu çalışmada biri 30-35, üçü 36-40 ve üçü 40-45 yaş aralığında olan ve uçuş yılları yaşlarıyla orantılı olarak 14-25 yıl arasında değişen 7 test uçuş pilotunun görüşleri alınmıştır. Pilotların uçuş saati tecrübesi ise 2000-4500 uçuş saati arasında değişmektedir.

Test uçuş yılları ikisinin 15 yıl üzerinde olmakla beraber diğer beşinin 7-12 yıl arasında ve test uçuş saatleri 700-2000 uçuş saati arasındadır.

Uzman görüşleri birbirlerinden bağımsız olarak alınmış ve çelişkili alt görev maddeleri için çoğunluk kuralı uygulanmıştır. Çoğunluk kuralı uygulandıktan sonra elde edilen veriler üzerinde uzmanlar tarafından mutabakat sağlanmıştır.

5.4. Analiz Edilecek Test Uçuş Hareketleri Alt Görevleri İçin EPC ve APOA'ların Belirlenmesi

Bu adımda alt görevler için EPC'lerin belirlenmesi maksadıyla aynı yedi uzmanın bağımsız olarak görüşü alınmış ve farklılık görülen durumlarda çoğunluk kuralı uygulanmıştır. Çoğunluk kuralı uygulandıktan sonra elde edilen veriler üzerinde uzmanlarca mutabakat sağlanmıştır.

Bir sonraki aşama olan APOA değerinin bulunması için yedi uzmana ilgili adımlarda tespit edilen EPC'lerin etki oranlarını 0-1 arasında değerlendirmeleri istenmiştir. Yapılan değerlendirmeler sonucunda Otorotasyon RPM Kontrolü için belirlenen APOA değerleri Ek-1'de, Maksimum Güç Kontrolü için belirlenen APOA değerleri Ek-2'de ve Vh Kontrolü için belirlenen APOA değerleri Ek-3'te verilmiştir. Çalışmada, uzmanlarca tespit edilen APOA değerlerinin ortalaması alınarak bu ortalama değer kullanılmıştır.

5.5. Analiz Edilecek Test Uçuş Hareketleri Alt Görevleri için HEP Değerinin Belirlenmesi

Son adım olan test pilotunun alt görevleri yerine getirirken hata yapma olasılığını hesaplamada aşağıdaki formül kullanılacaktır.

$$HEP = GTT \times [(EPC1-1) \times APOA1 + 1] \times [(EPC2-1) \times APOA2 + 1] \times \dots \times [(EPCn-1) \times APOAn + 1]$$

Otorotasyon RPM Kontrolü için geleneksel HEART metodu ile bulunan GTT, EPC ve HEP değerleri Tablo 5.5'te gösterilmiştir.

Tablo 5.5. Otorotasyon RPM Kontrolü için GTT, EPC ve HEP değerleri

Alt Görev	GTT	EPC'ler	HEP
1.	E	EPC (14) (15) (17) (19) (31) (32) (36) (38)	1,46E-01
2.	E	EPC (4) (17) (23) (31) (32) (36) (38)	1,40E-01

Tablo 5.5. (Devam) Otorotasyon RPM Kontrolü için GTT, EPC ve HEP değerleri

3.	E	EPC (4) (29) (31) (32) (36) (38)	8,46E-02
4.	E	EPC (4) (15) (16) (17) (23) (28) (29) (32) (36) (38)	4,61E-01
5.	C	EPC (1) (2) (3) (4) (7) (9) (12) (15) (16) (29) (34) (35) (38)	4,91E+03
6.	F	EPC (2) (5) (15) (16) (17) (23) (28) (29) (35) (36) (38)	4,31E-01
7.	C	EPC (1) (2) (3) (4) (12) (15) (16) (25) (29) (35) (38)	5,02E+02
8.	D	EPC (2) (5) (9) (15) (16) (28) (29) (32) (36) (38)	1,80E+01
9.	C	EPC (1) (2) (4) (9) (11) (12) (15) (16) (28) (29) (32) (35) (36) (38)	1,30E+03
10.	D	EPC (1) (2) (4) (7) (12) (15) (16) (28) (29) (35) (36) (38)	4,58E+02
11.	H	EPC (2) (4) (5) (9) (10) (16) (17) (28) (29) (36) (38)	2,05E-02

Otorotasyon RPM Kontrolü için bulunan HEP değerlerinin bazılarının 1'in üzerinde olması nedeniyle decimal scaling formülü kullanılarak normalizasyon işlemi yapılmıştır. Otorotasyon RPM Kontrolü için 5. alt görevin değeri 4907,130617 olması sebebiyle, virgülden önceki basamak sayısı 4 olduğundan d sayısı 4 olarak belirlenmiştir. Normalizasyon sonucu elde edilen HEP değerleri Tablo 5.6'da gösterilmiştir.

Tablo 5.6. Normalize edilmiş Otorotasyon RPM Kontrolü HEP değerleri

Subtask	Geleneksel HEP	Normalize HEP
1.	1,46E-01	0,0000145661
2.	1,40E-01	0,0000140423
3.	8,46E-02	0,0000084650
4.	4,61E-01	0,0000460856
5.	4,91E+03	0,4907130617
6.	4,31E-01	0,0000430507
7.	5,02E+02	0,0501866711
8.	1,80E+01	0,0018028000
9.	1,30E+03	0,1300273173
10.	4,58E+02	0,0458143946
11.	2,05E-02	0,0000020529

Maksimum Güç Kontrolü için geleneksel HEART metodu ile bulunan GTT, EPC ve HEP değerleri Tablo 5.7'de gösterilmiştir.

Tablo 5.7. *Maksimum Güç Kontrolü için GTT, EPC ve HEP değerleri*

Alt Görev	GTT	EPC'ler	HEP
1.	D	EPC (9) (15) (16) (19) (28) (29) (32) (36) (38)	1,11E+00
2.	C	EPC (1) (2) (4) (7) (12) (15) (29) (32) (35) (38)	3,94E+02
3.	C	EPC (1) (2) (4) (8) (12) (15) (29) (32) (35) (38)	2,48E+02
4.	C	EPC (1) (2) (4) (11) (12) (15) (29) (32) (35) (38)	3,33E+02
5.	C	EPC (1) (2) (4) (7) (11) (12) (15) (21) (29) (35) (38)	1,30E+03
6.	H	EPC (1) (4) (10) (16) (28) (29) (36) (38)	2,17E-03

Maksimum Güç Kontrolü için bulunan *HEP* değerlerinin bazılarının 1'in üzerinde olması nedeniyle decimal scaling formülü kullanılarak normalizasyon işlemi yapılmıştır. Maksimum Güç Kontrolü için 5. alt görevin değeri 1303,6081 olması sebebiyle, virgülden önceki basamak sayısı 4 olduğundan d sayısı 4 olarak belirlenmiştir. Normalizasyon sonucu elde edilen *HEP* değerleri Tablo 5.8'de gösterilmiştir.

Tablo 5.8. *Normalize edilmiş Maksimum Güç Kontrolü HEP değerleri*

Subtask	Geleneksel HEP	Normalize HEP
1.	1,11E+00	0,0001113493
2.	3,94E+02	0,0394398470
3.	2,48E+02	0,0247907610
4.	3,33E+02	0,0332854973
5.	1,30E+03	0,1303608107
6.	2,17E-03	0,0000002174

Vh Kontrolü için geleneksel *HEART* metodu ile bulunan *GTT*, *EPC* ve *HEP* değerleri Tablo 5.9'da gösterilmiştir.

Tablo 5.9. *Vh Kontrolü için GTT, EPC ve HEP değerleri*

Alt Görev	GTT	EPC'ler	HEP
1.	D	EPC (5) (9) (11) (15) (16) (28) (29) (32) (35) (36) (38)	5,17E+00
2.	E	EPC (4) (11) (17) (19) (28) (29) (32) (36) (38)	4,99E-01
3.	D	EPC (7) (11) (12) (15) (16) (25) (28) (29) (32) (36) (38)	1,04E+01
4.	D	EPC (9) (11) (23) (28) (29) (32) (34) (36) (38)	1,06E+00
5.	E	EPC (1) (7) (9) (10) (12) (15) (16) (19) (28) (29) (34) (36) (38)	2,94E+01

Vh Kontrolü için bulunan *HEP* değerlerinin bazılarının 1'in üzerinde olması nedeniyle decimal scaling formülü kullanılarak normalizasyon işlemi yapılmıştır. Vh Kontrolü için 5. alt görevin değeri 29,43019 olması sebebiyle, virgülden önceki basamak sayısı 2 olduğundan d sayısı 2 olarak belirlenmiştir. Normalizasyon sonucu elde edilen *HEP* değerleri Tablo 5.10'da gösterilmiştir.

Tablo 5.10. *Normalize edilmiş Vh Kontrolü HEP değerleri*

Subtask	Geleneksel HEP	Normalize HEP
1.	5,17E+00	0,0517163245
2.	4,99E-01	0,0049894127
3.	1,04E+01	0,1036917621
4.	1,06E+00	0,0106026183
5.	2,94E+01	0,2943018631

6. SONUÇ, TARTIŞMA VE ÖNERİLER

6.1. Sonuç

Bu çalışmada geleneksel *HEART* metodu ile test uçuş hareketlerindeki insan hatası olasılıkları bulunmuştur. Bu olasılıkların bulunması için test uçuş yılları beş yılın ve test uçuş saatleri 500 uçuş saatinin üzerinde olan test pilotlarının görüşleri alınmış ve literatür taraması yapılarak helikopter test uçuşları için geleneksel *HEART* metodunun kullanılmasına karar verilmiştir.

Uzmanların *APOA* değeri belirlemeleri sonucunda oluşturulan *EPC*'lerin önem sırası incelenmiştir. Otorotasyon *RPM* Kontrolü için en çok etkiye sahip *EPC*'nin 'algılanan ve gerçek risk arasındaki uyumsuzluk' olduğu görülmüştür. *EPC*'lerin uzman görüşleri doğrultusunda belirlenen *APOA* değerleri açısından sıralandırılması sonucu ilk 10'da yer alanlar Şekil 6.1' de gösterilmiştir.

Otorotasyon RPM Kontrolü		
	Hata Üreten Durum (EPC)	APOA
12.	Algılanan ve gerçek risk arasındaki uyumsuzluk	0,59
2.	Hata tespiti ve düzeltme için yeterli zaman eksikliği	0,58
29.	Üst düzey duygusal stres	0,54
35.	Normal iş-uyku döngüsünün bozulması	0,52
36.	Başkalannın müdahalesinin neden olduğu görev hızı	0,52
23.	Güvenilmez enstrümantasyon (Yeter ki bildirilsin)	0,51
31.	Düşük işgücü morali	0,48
7.	İstenmeyen bir eylemi tersine çevirmenin açık bir yolu olmaması	0,45
15.	Operatör deneyimsiz (ömeğin, yeni kalifiye bir işçi, ancak bir "uzman" değil)	0,41
32.	Gösterge ve prosedürlerin anlamının tutarsızlığı	0,35

Şekil 6.1. Otorotasyon RPM Kontrolü *EPC* önem sıralandırılması

Uzmanların APOA değeri belirlemeleri sonucunda, Maksimum Güç Kontrolü için en çok etkiye sahip EPC'nin 'hata tespiti ve düzeltme için yeterli zaman eksikliği' olduğu görülmüştür. EPC'lerin uzman görüşleri doğrultusunda belirlenen APOA değerleri açısından sıralandırılması sonucu ilk 10'da yer alanlar Şekil 6.2'de gösterilmiştir.

Maksimum Güç Kontrolü		
	Hata Üreten Durum (EPC)	APOA
2.	Hata tespiti ve düzeltme için yeterli zaman eksikliği	0,59
29.	Üst düzey duygusal stres	0,58
12.	Algılanan ve gerçek risk arasındaki uyumsuzluk	0,57
36.	Başkalarının müdahalesinin neden olduğu görev hızı	0,45
11.	Gerekli performans standartlarında belirsizlik	0,44
1.	Nadiren ortaya çıkan veya yeni olan potansiyel öneme haiz bir duruma yabancı olma	0,39
32.	Gösterge ve prosedürlerin anlamının tutarsızlığı	0,36
35.	Normal iş-uyku döngüsünün bozulması	0,36
9.	Bir teknikten vazgeçerek, karşıt felsefenin uygulamasını gerektiren bir tekniği kullanma ihtiyacı	0,34
28.	Bir görevde az ya da anlamsız tanımlamalar	0,34

Şekil 6.2. Maksimum Güç Kontrolü EPC önem sıralandırılması

Uzmanların APOA değeri belirlemeleri sonucunda, Vh Kontrolü için en çok etkiye sahip EPC'nin 'algılanan ve gerçek risk arasındaki uyumsuzluk' olduğu görülmüştür. EPC'lerin uzman görüşleri doğrultusunda belirlenen APOA değerleri açısından sıralandırılması sonucu ilk 10'da yer alanlar Şekil 6.3'te gösterilmiştir.

Vh Kontrolü		
	Hata Üreten Durum (EPC)	APOA
12.	Algılanan ve gerçek risk arasındaki uyumsuzluk	0,63
23.	Güvenilmez enstrümantasyon (Yeter ki bildirilsin)	0,56
29.	Üst düzey duygusal stres	0,54
11.	Gerekli performans standartlarında belirsizlik	0,39
36.	Başkalarının müdahalesinin neden olduğu görev hızı	0,39
7.	İstenmeyen bir eylemi tersine çevirmenin açık bir yolu olmaması	0,39
15.	Operatör deneyimsiz (örneğin, yeni kalifiye bir işçi, ancak bir "uzman" değil)	0,35
32.	Gösterge ve prosedürlerin anlamının tutarsızlığı	0,34
38.	Algısal görevleri yerine getiren personelin yaşı	0,32
10.	Özel bilgileri, kayıp olmaksızın görevden göreve aktarma ihtiyacı	0,29

Şekil 6.3. Vh Kontrolü EPC önem sıralandırılması

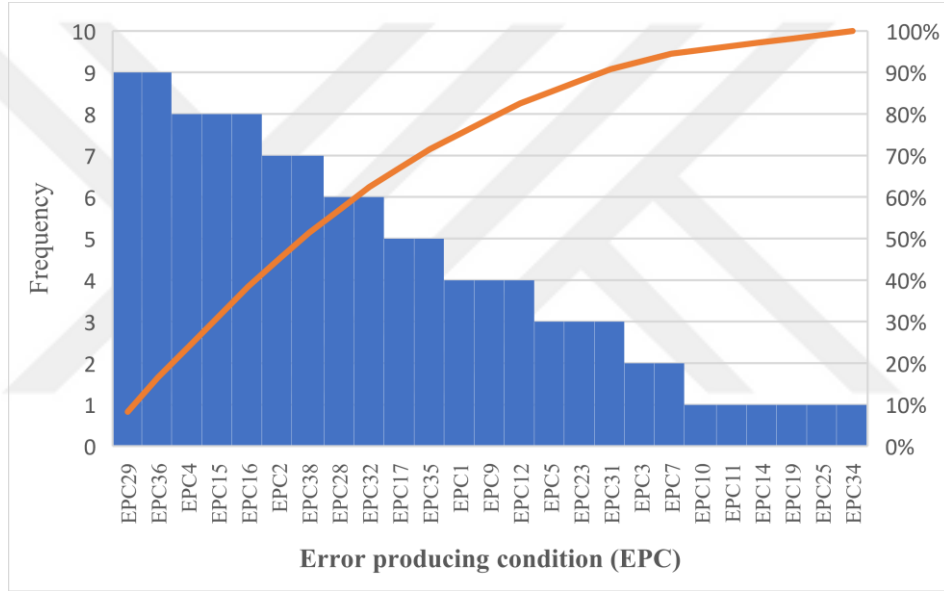
EPC önem sıralamaları birlikte değerlendirildiğinde tutarlı yapıda oldukları görülmektedir. Maksimum güç kontrolünde helikopter motorlarının teker teker yüksek pal açısıyla kontrol edildiği göz önüne alındığında, en yüksek etki oranına sahip *EPC*'nin 'hata tespiti ve düzeltme için yeterli zaman eksikliği' olması normal görünmektedir. Diğer iki hareket için en yüksek etkiye sahip *EPC*'nin risk algısındaki değişiklik olması ise önemli bir noktaya işaret etmektedir. Test pilotlarının çeklist maddesi gereği yaptıkları hareketler esnasında manevrayı hataya sebep olmayacak şekilde görmelerine rağmen bu manevranın gerçek risk seviyesinin algılanamadığını göstermektedir. Yani test pilotları bu hareket esnasında normal uçuş benzeri risk değerlendirmesi yaparken arka planda risk seviyesi yüksek olmaktadır.

Diğer önemli husus ise güvenilmez enstrümantasyon olarak karşımıza çıkmaktadır. Vh kontrolünde ikinci sırada yer alan bu *EPC*, test pilotlarının bu hareket esnasında

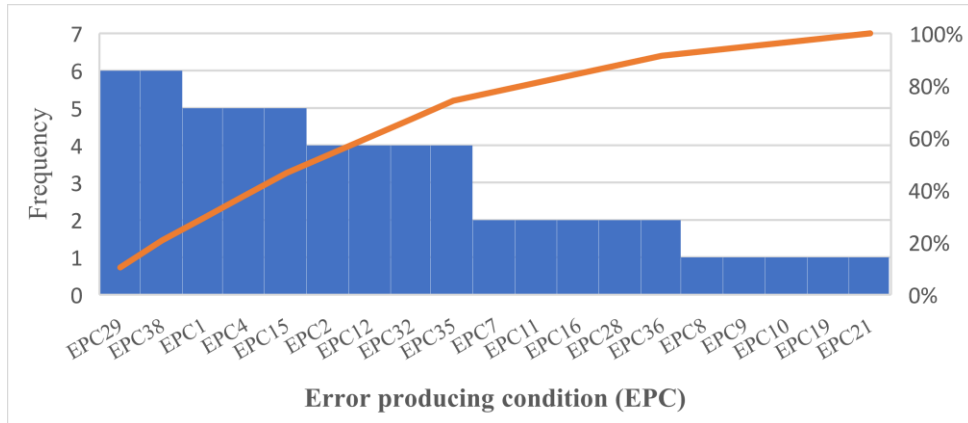
gerçek durumu bazen göz ardı ederek ezbere bildirimde bulunduğu işaret edebilir. Bunun en mantıklı açıklaması helikopterin bulunduğu limitlere yakın uçuş koşullarının bir an önce sonlandırılmaya çalışılması olabileceği değerlendirilmektedir.

Son olarak ‘başkalarının neden olduğu görev hızı’, ‘normal iş-uyku düzeninin bozulması’ ve ‘düşük işgücü morali’ *EPC*’lerinin nispeten yoğun olarak etkili olması yönetsel hususların var olabileceği düşüncesini oluşturmaktadır. ‘Üst düzey duygusal stres’ *EPC*’sinin var olması da yönetsel faktörleri işaret edebilecek ayrı bir husustur.

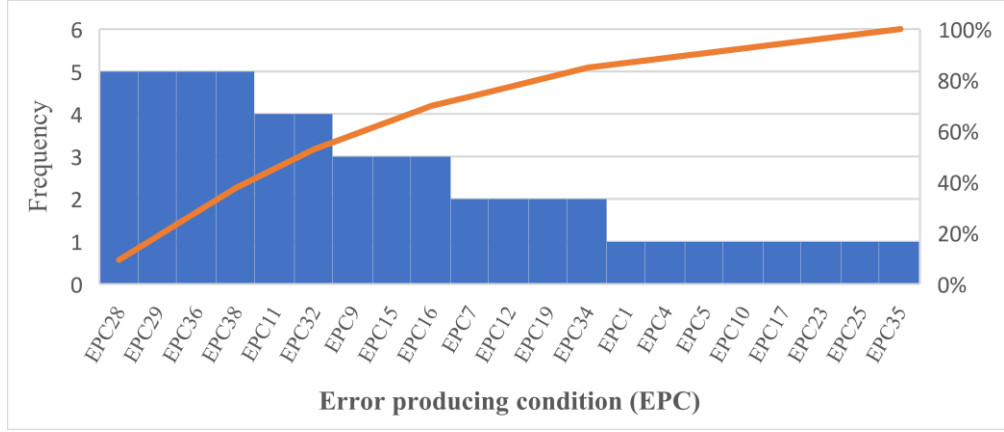
Otorotasyon *RPM* kontrolü, maksimum güç kontrolü ve *Vh* kontrolü için *EPC* sıklıklarının gösteren grafikler sırasıyla Şekil 6.4, 6.5 ve 6.6’da gösterilmiştir.



Şekil 6.4. Otorotasyon RPM Kontrolü EPC sıklıkları grafiği



Şekil 6.5. Maksimum Güç Kontrolü EPC sıklıkları grafiği

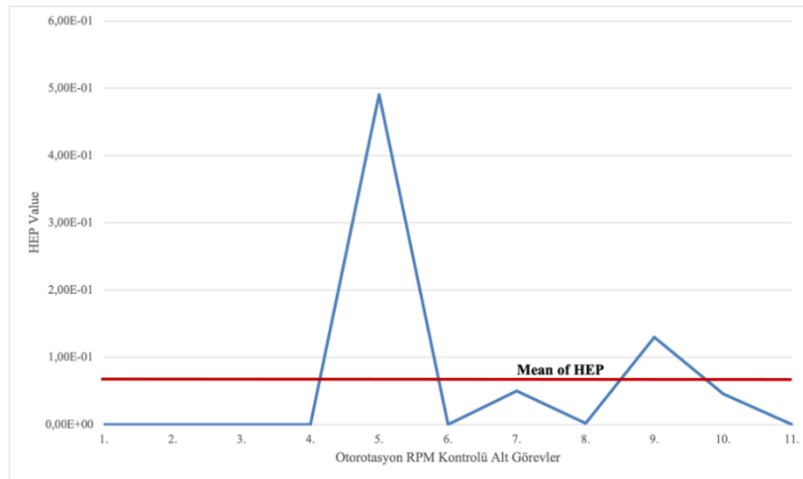


Şekil 6.6. Vh Kontrolü EPC sıklıkları grafiği

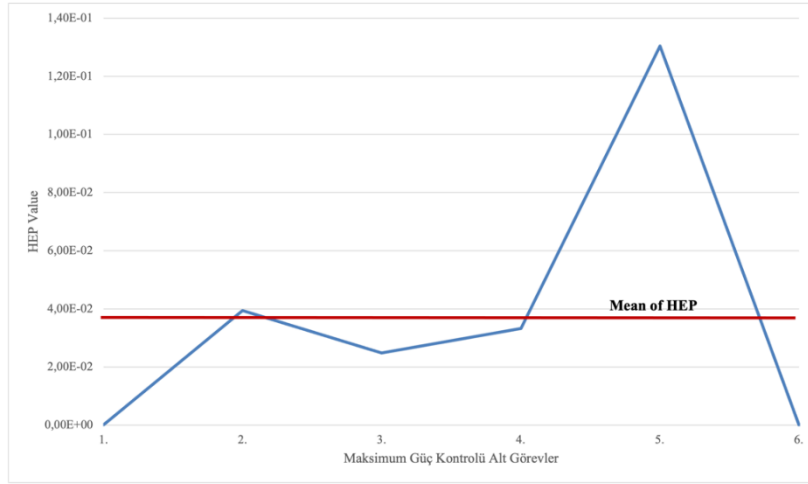
EPC sıklıkları incelendiğinde ‘üst düzey duygusal stres’ ve ‘başkalarının müdahalesinin neden olduğu görev hızı’ EPC’lerinin en yüksek sıklıkla değerlendirildiği görülmektedir. Helikopter test uçuşlarında, özellikle arama kurtarma veya sıhhi tahliye maksatlı kullanılan helikopter tipleri dikkate alındığında helikopterin bir an önce uçuşa verilmesi yüksek önem arz etmektedir. Bu EPC’lerin sıklıkla kullanılması bunun bir sonucu olarak karşımıza çıkabilmektedir.

EPC sıklık grafikleri ayrıntılı incelendiğinde her test uçuş hareketinin kendine özgü dinamikleri neticesinde farklı EPC’lerin var olabileceği değerlendirilmiştir. Bu da test pilotlarının değerlendirme esnasında monotonluktan uzak kalarak test uçuş hareketinin nev’ine göre karar verdiklerini göstermektedir.

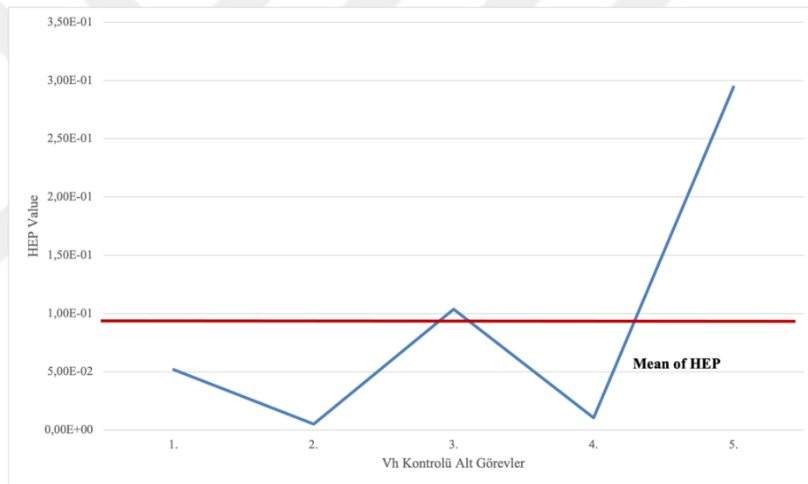
Otorotasyon RPM kontrolü, maksimum güç kontrolü ve Vh kontrolü için HEP değerlerini gösteren grafikler sırasıyla Şekil 6.7, 6.8 ve 6.9’da gösterilmiştir.



Şekil 6.7. Otorotasyon RPM Kontrolü normalize geleneksel HEART HEP değerleri grafiği



Şekil 6.8. Maksimum Güç Kontrolü normalize geleneksel HEART HEP değerleri grafiği



Şekil 6.9. Vh Kontrolü normalize geleneksel HEART HEP değerleri grafiği

Sonuçlara yönelik grafikler analiz edildiğinde otorotasyon *RPM* kontrolünde 5 ve 9. alt görevlerde, maksimum güç kontrolünde 2 ve 5. alt görevlerde ve Vh kontrolünde 3 ve 5. alt görevlerde *HEP* değerinin ortalamanın üzerinde olduğu tespit edilmiştir. Otorotasyon *RPM* kontrolü için bakıldığında ortalama üzerinde çıkan insan hatası olasılığı değerlerinin helikopterin güçlü uçuştan güçsüz uçuşa ve güçsüz uçuştan güçlü uçuşa geçtiği alt görevlerde ortalama üzerinde çıktığı tespit edilmiştir.

Maksimum güç kontrolünde bir basamağın tek motor ile çift motor değeri alınması gereken basamağın olduğu alt görev, diğerinin ise tek motor ile ilgili motorun ulaşması gereken maksimum güç değerine ulaşması gerektiği alt görevlerin ortalama üzerinde riske

sahip olduğu tespit edilmiştir. Vh kontrolünde ise pal açısının en yüksek seviyeye ulaştığı ve sarsıntı değerlendirmesinin yapıldığı alt görevler insan hatası açısından riskli olarak tespit edilmiştir.

Çalışmanın en başında helikopter test uçuş hareketlerinin kendi arasında değerlendirmesinin yapılması amaç olarak ortaya konmuştur. Geline durumda araştırmaya konu olan hareketlerin kendi arasında değerlendirmesi sonucunda insan hatası açısından en riskli olanın otorotasyon *RPM* kontrolü olduğu görülmüştür. Helikopter normal uçuş zarfının karakteri itibariyle dışında olan bu uçuş hareketinin insan hatası açısından yüksek risk barındırması kabul edilebilir. Ancak motorların birer birer test edildiği ve test esnasında yüksek pal açılarının kullanıldığı maksimum güç kontrolünün de risk seviyesi oldukça yüksek görünmektedir.

Vh kontrolüne bakıldığında ise diğ er uçuş hareketlerine nazaran daha az insan hatası riski oluştuğu gözlemlenmiştir. Her ne kadar pilot tarafından risk algısında hataya düşölse de Vh kontrolü normal uçuş zarfına en yakın hareket olarak değerlendirilebilir. Yani risk açısından algılanan ve gerçek risk açısından uyumsuzluk yaşanması çok normal görünmektedir. İnsan hatası riskinin gerçekleşmediği müddetçe test pilotunun bu hareket esnasında dikkat etmesi gereken sarsıntı haricinde bir hususun bulunmadığı değerlendirilmektedir.

Birçok ölke tarafında kullanılmasına rağmen UH-60 helikopteri test uçuşlarında pilot hatası ile ilgili daha önceden yapılan bir çalışmaya rastlanmamıştır.

İlgi çalışmayla elde edilen sonuçlar genel olarak;

1. Otorotasyon *RPM*, maksimum güç ve Vh kontrolü alt işlemlerinin *GTT*, etkileyen *EPC* ve *APOA* değerleri bulunmuş,
2. İşlem maddelerini etkileyen *EPC*'lerin önem seviyeleri sıralanmış,
3. Otorotasyon *RPM*, maksimum güç ve Vh kontrolü alt görevlerinde pilot hata ihtimalleri bulunmuş ve grafikleri ortaya konmuş,
4. Ortalama üzerinde insan hatası ihtimaline sahip maddeler için iyileştirme tavsiyeleri sunulmuştur.

Havacılık sektöründe ve özellikle de askeri havacılıkta yüksek maliyetlerin yanında, ulusal güvenlik ve prestij konuları ciddi seviyede öne çıkmaktadır. Yapılan bu çalışma sonucunda ölke güvenliğinde rol oynayan kurumların kullandığı UH-60 helikopterinin test uçuş prosedürlerinin daha fazla emniyetle sürdürölmesi ile uçuş

emniyeti açısından önemli bir adım atılması ve uçuş operasyonlarının güvenle yürütülmesine katkı sağlanacağı değerlendirilmektedir.

6.2. Tartışma

Geleneksel *HEART* metodunda temin edilen bir uzman görüşü birçok makalede dezavantaj olarak öne sürülmektedir. Bu dezavantajı ortadan kaldırmak için yedi uzman görüşü alınmıştır. Uzman nitelikleri diğer bir tartışma konusunu yaratırken, yeterli uçuş tecrübesine sahip uzmanlar seçilerek bu tartışmanın önüne geçilmiş ve otomasyon ile gerekli iş yükü ve zamanın kısaltılması sağlanmıştır.

Geleneksel *HEART* metodu ile *APOA* değerleri bulunduğunda bazı *HEP* değerlerinin maksimum ihtimal değeri olan 1 değerinden fazla olduğu görülmüştür. İhtimallerin değerlendirilebilmesi maksadıyla %100 olarak kabul edilen 1'in üzerindeki değerler normalize edilmiştir. Normalize metodu ile ilgili açık bir çalışma bulunmamakla birlikte, normalize yöntemleri açısından doğrusal normalize, vektörel ve monoton olmayan yöntemlerin olduğu fakat uygulamada bunların kullanımına yönelik fikir birliğinin olmadığı vurgulanmıştır (Özdağoğlu, 2013). Diğer vektörel, monoton olmayan veya doğrusal normalizenin farklı formülleri kullanılsa da sayı değerlerinde büyük farklılıklar oluşmadığı yorumlama açısından görülmüştür. Larose D. Ve Larose C. tarafından yazılan kitapta ise min-maz normalize, decimal normalize ve z-sayısı standardize normalize formülleri ifade bulunmaktadır. Faucett (2017) tarafından yazılan tezde ise daha doğru değerlendirmelerin yapılabilmesi maksadıyla decimal scaling normalize yöntemi kullanılmıştır ve çalışmamızda da belirtilen yöntem tutarlılık açısından kabul edilmiştir.

6.3. Öneriler

Havacılık sektörü, insan-makine entegrasyonunun yüksek olduğu, maliyetlerin büyük ve personel yetiştirme ve personelin tecrübe kazanımının zaman aldığı karmaşık bir alandır. Havacılık kazalarının genellikle ölümcül ve hasar miktarının ise yüksek olduğu göz önüne alındığında, önlenmesi mümkün olan insan hatalarının meydana çıkması durumunda ödenen bedelin çok yüksek olabileceği değerlendirilmektedir. Bu nedenle havacılıkta yerdeki bakım ve işletme faaliyetlerinden, her türlü uçuş koşulu ve uçuş görev çeşidine kadar ayrı ayrı ve çeşitli insan hatası analiz metodlarının uygulanarak, kullanım alanlarının genişletilmesi önerilmektedir.

HEART metodunun uygulanması sonucu tespit edilen insan hatalarına yönelik alınan önlemler sayesinde nükleer enerji sektöründe insan hatası kaynaklı kazaların azaldığı gözlemlenmiş ve daha sonra pek çok farklı alanda kullanılmaya başlanmıştır. *EPC* değerleri standart olmasına rağmen yapılan araştırmalar incelendiğinde, bazı sektörlerde ilgili sektöre yönelik farklı *EPC* değerlerinin belirlendiği ve bu değerlere bağlı katsayıların hesaplanmasının zorunlu hale geldiği görülmüştür. Akyüz ve Çelik'in 2016 yılındaki çalışmasında 6.000 denizcilik kazası analiz edilmiş ve denize özgü *EPC* değerleri tespit edilmiştir. Benzer şekilde, Gibson ve Kirwan (2008) havacılık için özel *EPC*'ler belirlemiş, ayrıca hava trafik kontrolüne özgü *EPC*'ler saptamışlardır. Pilotların hata yapma olasılıklarının inceleneceği çalışmalarda kullanılmak üzere, uçuşa özgü bazı *EPC*'ler tespit edilerek, olasılıkların gerçeğe daha yakın olmasıyla havacılık sektörüne önemli seviyede katkı sağlanabilecektir.

Pilot eğitimlerinde, simülatör çalışmalarına daha fazla önem verilerek hata olasılıklarının yüksek olduğu işlemler üzerinde durulması, farkındalığın artırılması önerilmektedir. Simülatör çalışmalarında, özellikle hata olasılığının yüksek olduğu alt maddeler esnasında insan hatasını meydana getirebilecek dikkat dağıtıcı girdiler yapılarak, pilota insan hatasının meydana geliş şekli gösterilebilir. Bu da pilotun alt görevler esnasında hangi durumlarla karşılaşabileceğini gösterir ve farkındalık seviyesini yükseltebilir. Farklı senaryolar ve standart kontrollerin uygulanmasıyla hata olasılıklarını azaltmak mümkündür. Eğitim ihtiyaçlarının belirlenmesi, çeşitli eğitim programlarının hazırlanması, senaryoların eğitime dahil edilmesi ve belirli aralıklarla tekrarlanması, etkili stratejiler arasında yer alabilir. Gerçekçi senaryoların belirlenen sıklıklarda uygulanması ve performans değerlendirmeleri de yararlı olacaktır.

Çalışmada tespit edilen alt görev maddelerine yönelik test pilotlarının simülatör veya gerçek hava aracı ile eğitime tabi tutulması elbette insan hatasını düşürmeye yönelik bir adım olacaktır. İnsan hatasının tespit edilmesi maksadıyla ileride yapılacak helikopter çalışmalarına yönelik olarak geçmişteki helikopter kazalarının daha ayrıntılı incelenmesinin, helikopter test uçuşunun bilimsel olarak değerlendirilmesinin ve genel itibarıyla helikopter uçuşlarında insan hatasının ele alınmasının literatüre faydalı olacağı değerlendirilmektedir.

EPC sıklıkları incelendiğinde ortaya çıkan duruma göre yönetsel faktörlere işaret eden bazı hususların var olabileceği değerlendirilmiştir. Bu kapsamda test uçuş pilotunun uçuş haricindeki iş süreçleri gözden geçirilerek, uçuş esnasında pilot üzerinde etki

yaratabilecek hususların tespit edilmesi ve tespit edilen hususlara yönelik önlem alınması pilot hatalarının önüne geçmekte fayda sağlayacaktır.

Bu çalışmada, helikopter test uçuşlarında insan hatası olasılığı hesaplaması için geleneksel *HEART* metodunun basit ve anlaşılabilirliğinden faydalanma amacı güdülmüştür. Bundan faydalanırken, geleneksel *HEART* metodu için yapılan eleştiriler göz önünde bulundurularak basitlikten uzaklaşmadan literatürde kullanılmış çözüm önerileri birlikte kullanılmıştır. Helikopter uçuşu veya helikopter test uçuşlarının literatürde görülen geliştirilmiş *HEART* metodları kullanılarak veya bu uçuş tipleri için özel olarak *EPC*'ler tespit edilerek bu *EPC*'ler kullanılarak gelecek çalışmaların yapılması literatüre önemli derecede katkı sağlayacaktır.

Sonuç olarak, pilotun uçuşu gerçekleştirmek için yaptığı girdilerde hata olasılığını azaltacak sistemlerin *AR-GE* çalışmaları, gelişen teknolojilerin aktif kullanılması ve bu teknolojilerin entegrasyonu kaza sayısını azaltmada önemli bir rol oynayacaktır.

KAYNAKÇA

- Havaalanları Daire Başkanlığı. (Aralık 2011). Uluslararası Sivil Havacılık Teşkilatı (ICAO) tarafından yayımlanan Safety Management Manual (SMM) Doc. 9859 AN/474 dokümanını. *Doc 9859 Türkçe Tercüme*. SİVİL HAVACILIK GENEL MÜDÜRLÜĞÜ/Pegem Akademi Yayıncılık.
- Akça, M. (2020). An evaluation on the pilot error concept and aircraft accident. *The Journal Of Social Science*.
- Akyüz, E., & Çelik, E. (2016). A modified human reliability analysis for cargo operation in single point mooring (SPM) off-shore units. *Applied Ocean Research*, 11-20.
- Akyüz, E., & Çelik, M. (2015). A methodological extension to human reliability analysis for cargo tank cleaning operation on board chemical tanker ships. *Safety Science*, 146-155.
- Akyüz, E., & Çelik, M. (2016). A hybrid human error probability determination approach: The case of cargo loading operation in oil/chemical tanker ship. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 424-431.
- Akyüz, E., Çelik, M., & Cebi, S. (2016). A phase of comprehensive research to determine marine-specific EPC values in human error assessment and reduction technique. *Safety Science*, 63-75.
- Akyüz, E., Çelik, M., Akgün, İ., & Çiçek, K. (2018). Prediction of human error probabilities in a critical marine engineering operation on-board chemical tanker ship: The case of ship bunkering. *Safety Science*, 102-109.
- Bowo, L. P., & Furusho, M. (2019). Usability of Human Error Assessment and Reduction Technique with a 4M framework (HEART-4M) – A Case Study on Ship Grounding Accidents. *Journal of ETA Maritime Science*, 266-279.
- Boyd, D. D. (2017). A review of general aviation safety (1984–2017). *Aerospace Medicine & Human Performance*, 660.
- Can, G. F., & Delice, E. K. (2020). An advanced human error assessment approach: HEART and AV-DEMATEL. *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries*, 29–49.
- Castiglia, F., & Giardina, M. (2013). Analysis of operator human errors in hydrogen refuelling stations: Comparison between human rate assessment techniques. *International Journal of Hydrogen Energy*, 1166-1176.
- Chadwick, L., & Fallon, E. (2012). Human reliability assessment of a critical nursing task in a radiotherapy treatment process. *Appl. Ergonom.* 43, 89-97.
- Chang, Y.-H., & Wang, Y.-C. (2010). Significant human risk factors in aircraft maintenance technicians. *Safety Science*, 54-62.
- Cokorilo, O., Mirosavljevic, P., Vasov, L., & Stojiljkovic, B. (2013). Managing safety risks in helicopter maritime operations. *Journal of Risk Research*, 613-624.
- Crognale, M. A., & Krebs, W. H. (2008). Helicopter Pilot Performance: Inadvertent Flight into Instrument Meteorological Conditions. *PROCEEDINGS of the HUMAN FACTORS AND ERGONOMICS SOCIETY 52nd ANNUAL MEETING* (s. 1190-1193). Human Factors and Ergonomics Society.

- de Voogt, A. (2011). Fatalities in General Aviation: From Balloons to Helicopters. E. Turk içinde, *Forensic Pathology Reviews, Volume 6* (s. 169-179). New York: Springer Science+Business Media.
- de Voogt, A., & van Doorn, R. (2007). Helicopter accidents: data-mining the ntsb database. *Proceedings of the 33rd Rotorcraft Forum*. Kazan.
- Deacon, T., Amyotte, P., Khan, F., & MacKinnon, S. (2013). A framework for human error analysis of offshore evacuations. *Safety Science*, 319-327.
- Department of the Army Headquarters. (1996, Ekim 31). TM 1-1520-237-10. *Operator's Manual For UH-60A/UH-60L/EH-60A*. Washington D.C.
- Department of the Army Headquarters. (1997, Mart 31). Maintenance Test Flight Manual UH-60A/UH-60L/EH-60A. *TM 1-1520-237-MTF*. Washington, D.C.
- Dickinson, J. (2019). H-60 Five Year Mishap Review FY14 – FY18. *Flightfax*, 1-3.
- Erjavac, A. J., Iammartino, R., & Fossaceca, J. M. (2018). Evaluation of preconditions affecting symptomatic human error in general aviation and air carrier aviation accidents. *Reliability Engineering and System Safety* 178, 156-163.
- Faucett, C. M. (2017). Using the Human Error Assessment and Reduction Technique to Predict and Prevent Catheter Associated Urinary Tract Infections. Manhattan, Kansas: B.S., Kansas State University; M.S., Kansas State University.
- GAO, U. S. (2023). *NATIONAL GUARD HELICOPTERS Additional Actions Needed to Prevent Accidents and Improve Safety*. Washington, DC: United States Government Accountability Office (GAO).
- Garvey, P. (2001). Track 2: implementing a risk management process for a large scale information system upgrade—a case study. *INCOSE* 4(1), 14-18.
- Gibson, W. H. (2012). *Railway Action Reliability Assessment User Manual: A Technique for the Quantification of Human Error in the Rail Industry*. RSSB.
- Gibson, W. H., & Kirwan, B. (2008). Application of the CARA HRA tool to Air Traffic Management safety cases. *EEC*.
- Goldman, S. M., Fiedler, E. R., & King, R. E. (2002). *General Aviation Maintenance-Related Accidents: A Review of Ten Years of NTSB Data*. Washington, DC: United States. Department of Transportation. Federal Aviation Administration. Office of Aviation. Civil Aerospace Medical Institute. https://rosap.ntl.bts.gov/view/dot/57936/dot_57936_DS1.pdf adresinden alındı
- Gopal, D. (2000). Analysis of factors leading to pilot error accidents in civil aviation. *Ind J Aerospace Med* 44(1), 34-38.
- Guo, Y. S. (2020). Flight safety assessment based on an integrated human reliability quantification approach. *PLoS ONE*, 1-2.
- Hou, L. X., Liu, R., Liu, H. C., & Jiang, S. (2021). Two decades on human reliability analysis: A bibliometric analysis and literature review. *Annals of Nuclear Energy*, 151.
- http-1. (2024). MAYIS 07, 2024 tarihinde Human Error Assessment & Reduction Technique (HEART): <https://pdf4pro.com/view/human-error-assessment-amp-reduction-technique-heart-47f02f.html> adresinden alındı

- Kim, J., Jung, W., Jang, S., & Wang, J. (2006). A Case Study For the Selection of a Railway Human Reliability Analysis Method. *International Railway Safety Conference*, (s. 22-27).
- Kirwan, B. (1994). *A guide to practical human reliability assessment*. London: Taylor and Francis,.
- Kirwan, B. (1997). The validation of three human reliability quantification techniques: THERP, HEART and JHEDI Part III, Practical aspects of the usage of the techniques. *Applied Ergonomics*, 28, 27-39.
- Kirwan, B., Gibson, H., Kennedy, R., Edmunds, J., Cooksley, G., & Umbers, I. (2004). Nuclear Action Reliability Assessment (NARA): A Data-Based HRA Tool. *Probabilistic Safety Assessment and Management* (s. 1206-1211). Springer, London.
- Knezevic, J. (2018). Post-maintenance flight test as a mechanism of motion in MIRCE mechanics. *Journal of Applied Engineering Science*, 185-191.
- Köseoğlu, S. C., Delice, E. K., & Erdebilli, B. (2023). Nurse-Task Matching Decision Support System Based on FSPC-HEART Method to Prevent Human Errors for Sustainable Healthcare. *International Journal of Computational Intelligence Systems*.
- Kowalsky, N. B., Masters, R. L., B., S. R., Babcock, G. L., & Rypka, E. W. (1974). An Analysis Of Pilot Error-Related Aircraft Accidents. *Department Of Aerospace And Environmental Medicine Lovelace Foundation*.
- Larose, D. T., & Larose, C. D. (2015). *Data mining and predictive analytics (Second edition.)*. US: John Wiley & Sons Inc.
- Leoni, R. D. (2007). *Black Hawk: The Story of a World Class Helicopter*. Virginia: American Institute of Aeronautics and Astronautics, Inc.
- Li, G., Grabowski, J. G., Baker, S. P., & Rebok, G. W. (2006). Pilot Error in Air Carrier Accidents: Does Age Matters? *Aviation Space and Environmental Medicine*, 737–41.
- Li, W.-C., Harris, D., Hsu, Y.-L., & Li, L.-W. (2009). The Application of Human Error Template (HET) for Redesigning Standard Operational Procedures in Aviation Operations. *International Conference on Engineering Psychology and Cognitive Ergonomics* (s. 547-553). Springer, Berlin, Heidelberg.
- McFadden, L. K. (1997). Predicting pilot-error incidents of US airline pilots using logistic regression. *Applied Ergonomics Vol 28.*, 209-212.
- Morris, C. (2005). Midair collisions: limitations of the see-and-avoid concept in civil aviation. *Aviat Space Environ Med*, 357-65.
- Noroozi, A., Khan, F., Mackinnon, S., Amyotte, P., & Deacon, T. (2014). Determination of human error probabilities in maintenance procedures of a pump. *Process Safety and Environmental Protection*, 92(2), 131-141.
- Olaganathan, R. (2024). Human factors in aviation maintenance: understanding errors, management, and technological trends. *Global Journal of Engineering and Technology Advances*, 92-101.

- Özdağoglu, A. (2013). Çok Ölçütlü Karar Verme Modellerinde Normalizasyon Tekniklerinin Sonuçlara Etkisi : COPRAS Örneği. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi İİBF Dergisi*, 2229-252.
- Petruni, A., Giagloglou, E., Douglas, E., Geng, J., Leva, M., & Demichela, M. (2019). Applying Analytic Hierarchy Process (AHP) to choose a human factors technique: Choosing the suitable Human Reliability Analysis technique for the automotive industry. *Safety Science*(119), 229-239.
- Poprawa, S. (2015). Maintenance test flying – an accident waiting to happen? *The Aeronautical Journal*, 781-790.
- Prasad, V. S., & Raveendran, C. (2024). A CASE ANALYSIS OF HUMAN FACTORS AFFECTING AVIATION MAINTENANCE PERSONNEL. *International Research Journal of Modernization in Engineering Technology and Science*, 400-410.
- Rashid, H., Place, C., & Braithwaite, G. (2010). Helicopter maintenance error analysis: Beyond the third order of the HFACS-ME. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 636-647.
- Rezaei, J. (2015). Best-worst multi-criteria decision-making method. *Omega*, 49-57.
- Santos, I., Grecco, C., Mól, A., Carvalho, P., Oliveira, M., & Botelho, F. (2007). Human Reliability analysis as an evaluation tool of the emergency evacuation process on industrial installation. *International Nuclear Atlantic Conference – INAC*. Santos.
- Seaver, D. A., & Stillwell, W. G. (2015). Procedures for using expert judgement to estimate human error probabilities in nuclear power plant operations. *USNRC, NUREGICR-2743, Washington DC*.
- Shappell, S., Detwiler, C., Hackworth, C., Boquet, A., & Wiegman, D. (2007). Human Error and Commercial Aviation Accidents: An Analysis Using the Human Factors Analysis and Classification System). *The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 227.
- Sheikhalishahi, M., Azadeh, A., Pintelon, L., Chemweno, P., & Ghaderi, S. (2016). Maintenance Scheduling Optimization in a Multiple Production Line Considering Human Error. *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries*, 655-666.
- Sikorsky. (2024, Mayıs 05). *BLACK HAWK® Best-in-Class Multi-Mission Performer*. <https://www.lockheedmartin.com/en-us/products/sikorsky-black-hawk-helicopter.html> adresinden alındı
- Singh, S., & Kumar, R. (2015). Evaluation of Human Error Probability of Disc Brake Unit Assembly and wheel set maintenance of Railway Bogie. *Procedia Manufacturing*, 3, 3041-3048.
- Stanton, N., Harris, D., Salmon, P., Demagalski, J., Marshall, A., Young, M., . . . Waldmann, T. (2006). Predicting design induced pilot error using HET (human error template) – A new formal human error identification method for flight decks. *The Aeronautical Journal*, 107-115.
- Sun, G., Zeng, S., Guo, J., & Zhou, G. (2016). A quantitative evaluation method of pilot errors during landing process of carrier-based aircraft. *2015 First International Conference on Reliability Systems Engineering (ICRSE)*. Beijing: IEEE.

- Thomas, L., Thomas, H., & Spencer, P. (2019). *Trends in U.S. Airforce Aircraft Mishap Results*. RAND CORPORATION.
- TUSAŞ. (2024, Mayıs 05). *T70 GENEL MAKSAT HELİKOPTER PROGRAMI*. <https://www.tusas.com/urunler/helikopter/ortak-gelistirme/t70> adresinden alındı
- Volodko, A. (1996). Cause-factor analysis of helicopter accident rate. *Proceedings of the 22nd European Rotorcraft Forum* (s. 31.1-31.13). Brighton: Royal Aeronautical Society.
- Williams, J. C. (1988). A data-based method for assessing and reducing human error to. *IEEE fourth conference on human factors and power plants* (s. 436-450). In W. Hagen.
- Yalçın, E., Altun Çiftçioğlu, G., & Güzel, B. (2023). Human Reliability Analysis Methods. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 282-292.
- Yazdi, M. (2019). A perceptual computing-based method to prioritize intervention actions in the probabilistic risk assessment techniques. *Quality and Reliability Engineering International*, 187-213.
- Yazgan, E., & Delice, E. K. (2021). Hybrid Human Error Assessment Approach for Critical Aircraft Maintenance Practice in the Training Aircraft. *The International Journal of Aerospace Psychology*.
- Yürekli, A. (2019). Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tez Yazım Kılavuzu. *Eskişehir Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü*, 1-12.
- Zhao, J., Sun, G., Zeng, S., Guo, J., & Zhou, G. (2016). The reliability assessment of human systems interaction for aircraft carrier landing. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 4465-4469.

EKLER

EK-1 Otorotasyon RPM Kontrolü İçin Belirlenen APOA Değerleri

	Hata Üreten Durum (EPC)	Hedef koşullardan "kötü" olana kadar güvenilmezliğin değişebileceği maksimum minimum nominal değer	APOA	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7
1.	Nadiren ortaya çıkan veya yeni olan potansiyel öneme sahip bir duruma ulaşılması	17,00	0,29	0,6	0,2	0,1	0,2	0,5	0,2	0,2
2.	Hata tespiti ve düzeltme için yeterli zaman eksikliği	11,00	0,58	1	0,4	0,75	0,3	0,8	0,5	0,3
3.	Düşük bir sinyal-gürültü oranı	10,00	0,17	0,2	0,1	0,3	0,1	0,3	0,1	0,1
4.	Çok kolay erişilebilir olan bilgi veya özelliklerin bastrılması veya geçersiz kılınması durumu	9,00	0,25	0,5	0,1	0,45	0,1	0,4	0,1	0,1
5.	Mekânsal ve işlevsel bilgileri operatörlere kolayca asimile edebilecekleri bir biçimde aktarmanın hiçbir yönünün olmaması durumu.	8,00	0,26	0,6	0,1	0,5	0,1	0,3	0,1	0,1
7.	İstenmeyen bir etki tersine çevirmenin açık bir yolu olmaması	8,00	0,45	0,2	0,4	0,65	0,4	0,7	0,4	0,4
9.	Bir teknikten vazgeçerek, karşıt felsefenin uygulamasını gerektiren bir teknoloji kullanma ihtiyacı	6,00	0,33	0,3	0,3	0,3	0,3	0,5	0,3	0,3
10.	Özel bilgileri, kayıp olmaksızın görevden görev aktarma ihtiyacı	5,50	0,28	0,3	0,1	0,75	0,1	0,5	0,1	0,1
11.	Gerekli performans standartlarında belirsizlik	5,00	0,34	0,8	0,1	0,55	0,1	0,6	0,1	0,1
12.	Algılanan ve gerçek risk arasındaki uyumsuzluk	4,00	0,59	1	0,4	0,7	0,5	0,6	0,4	0,5
14.	Kontrolün uygulanacağı sistem kısmından istenen bir etkinin doğrudan ve zamanında doğrulanmaması	3,00	0,34	0,3	0,2	0,75	0,2	0,5	0,2	0,2
15.	Operatör deneyimsiz (örneğin, yeni kalfiye bir işçi ancak bir "uzman" değil)	3,00	0,41	1	0,1	0,85	0,1	0,6	0,1	0,1
16.	Prosedürler ve kişi-kişi etkileşimi tarafından aktarılan bilgilerin yoksulluğu	3,00	0,26	0,5	0,1	0,55	0,1	0,4	0,1	0,1
17.	Çıkışa atılmış bir kontrolün yada testin az veya hiç olmaması	3,00	0,24	0,6	0,1	0,35	0,1	0,3	0,1	0,1
19.	Doğruluk kontrolleri için bilgi girişi çözümlenmiyor	2,50	0,23	0,6	0,1	0,3	0,1	0,3	0,1	0,1
23.	Güvenilmez enstrümanasyon (Yeter ki bildirilsin)	1,60	0,51	0,9	0,5	0,3	0,5	0,4	0,5	0,5
25.	İşlev ve sorumluluğun belirsiz dağılımı	1,60	0,26	0,8	0,1	0,25	0,1	0,4	0,1	0,1
28.	Bir görevde az ya da anlaşılmaz tutumlar	1,40	0,29	0,8	0,1	0,35	0,1	0,5	0,1	0,1
29.	Üst düzey duygusal stres	1,30	0,54	1	0,5	0,35	0,5	0,4	0,5	0,5
31.	Düşük güçlü morali	1,20	0,48	1	0,3	0,85	0,3	0,3	0,3	0,3
32.	Gösterge ve prosedürlerin anlaşılmaz tutumları	1,20	0,35	0,8	0,2	0,55	0,2	0,3	0,2	0,2
34.	Uzun süreli hareketlilik veya düşük zihinsel yükü görevlerin sıkı sıkıya tutulmuş döngüsü	1,10	0,33	0,8	0,1	0,8	0,1	0,3	0,1	0,1
35.	Normal iş-uyku döngüsünün bozulması	1,10	0,52	1	0,4	0,55	0,4	0,5	0,4	0,4
36.	Başkalarının müdahalesinin neden olduğu görev hızı	1,06	0,52	1	0,3	0,95	0,4	0,3	0,4	0,3
38.	Algılanan görevleri yerine getiren personelin yarı	1,02	0,26	0,4	0,2	0,55	0,2	0,1	0,2	0,2

EK-2 Maksimum Güç Kontrolü İçin Belirlenen APOA Değerleri

	Hata Üreten Durum (EPC)	Hedef koşullardan "kötü" olana kadar güvenilmezliğin değişebileceği maksimum tahmini nominal değer	APOA	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7
1.	Nadiren ortaya çıkan veya yeni olan potansiyel öneme haiz bir duruma yabancı olma	17,00	0,39	0,7	0,2	0,1	0,2	0,9	0,3	0,3
2.	Hata tespiti ve düzeltme için yeterli zaman eksikliği	11,00	0,59	1	0,4	0,75	0,3	0,8	0,4	0,5
4.	Çok kolay erişilebilir olan bilgi veya özelliklerin bastırılması veya geçersiz kılınması durumu	9,00	0,25	0,6	0,1	0,45	0,1	0,3	0,1	0,1
7.	İstenmeyen bir eylemi tersine çevirmenin açık bir yolu olmaması	8,00	0,32	0,2	0,4	0,65	0,4	0,2	0,3	0,1
8.	Özellikle gereksiz bilginin sunumundan kaynaklanan, kanal kapasitesinin aşırı yüklü olması durumu	6,00	0,21	0,3	0,1	0,26	0,2	0,3	0,1	0,2
9.	Bir teknikten vazgeçerek, karşıt felsefenin uygulamasını gerektiren bir tekniği kullanma ihtiyacı	6,00	0,34	0,5	0,3	0,2	0,3	0,5	0,4	0,2
10.	Özel bilgileri, kayıp olmaksızın görevden göreve aktarma ihtiyacı	5,50	0,29	0,3	0,2	0,75	0,1	0,5	0,1	0,1
11.	Gerekli performans standartlarında belirsizlik	5,00	0,44	0,8	0,4	0,55	0,3	0,6	0,1	0,3
12.	Algılanan ve gerçek risk arasındaki uyumsuzluk	4,00	0,57	1	0,4	0,7	0,5	0,6	0,5	0,3
15.	Operatör deneyimsiz (ömeğin, yeni kalifiye bir işçi, ancak bir "uzman" değil)	3,00	0,21	0,4	0,1	0,3	0,1	0,4	0,1	0,1
16.	Prosedürler ve kişi-kişi etkileşimi tarafından aktarılan bilgilerin yoksul kalitesi	3,00	0,29	0,5	0,2	0,55	0,1	0,4	0,1	0,2
19.	Doğruluk kontrolleri için bilgi girişi çeşitliliği yok	2,50	0,24	0,6	0,1	0,3	0,1	0,3	0,1	0,2
21.	Daha tehlikeli diğer prosedürleri kullanma teşviki	2,00	0,29	0,8	0,1	0,25	0,1	0,6	0,1	0,1
28.	Bir görevde az ya da anlamsız tanımlamalar	1,40	0,34	0,8	0,2	0,35	0,1	0,5	0,1	0,3
29.	Üst düzey duygusal stres	1,30	0,58	1	0,6	0,35	0,5	0,4	0,5	0,7
32.	Gösterge ve prosedürlerin anlamının tutarsızlığı	1,20	0,36	0,8	0,1	0,55	0,2	0,3	0,4	0,2
35.	Normal iş-uyku döngüsünün bozulması	1,10	0,36	1	0,3	0,55	0,1	0,2	0,1	0,3
36.	Başkalarının müdahalesinin neden olduğu görev hızı	1,06	0,45	1	0,3	0,95	0,2	0,2	0,2	0,3
38.	Algısal görevleri yerine getiren personelin yaşı	1,02	0,28	0,4	0,1	0,55	0,3	0,1	0,3	0,2

EK-3 Vh Kontrolü İçin Belirlenen APOA Değerleri

	Hata Üreten Durum (EPC)	Hedef koşullarından "kötü" olana kadar güvenilmezliğin değişebileceği maksimum tahmini nominal değer	APOA	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7
1.	Nadiren ortaya çıkan veya yeni olan potansiyel öneme haiz bir duruma yabancı olma	17,00	0,27	0,4	0,1	0,2	0,2	0,5	0,3	0,2
4.	Çok kolay erişilebilir olan bilgi veya özelliklerin bastırılması veya geçersiz kılınması durumu	9,00	0,29	0,5	0,2	0,45	0,1	0,4	0,1	0,3
5.	Mekânsal ve işlevsel bilgileri operatörlere kolayca asimile edebilecekleri bir biçimde aktarmanın hiçbir yolunun olmaması durumu.	8,00	0,23	0,1	0,2	0,5	0,1	0,3	0,1	0,3
7.	İstenmeyen bir eylemi tersine çevirmenin açık bir yolu olmaması	8,00	0,39	0,2	0,2	0,65	0,3	0,7	0,4	0,3
9.	Bir teknikten vazgeçerek, karşıt felsefenin uygulamasını gerektiren bir tekniği kullanma ihtiyacı	6,00	0,27	0,3	0,1	0,3	0,3	0,5	0,1	0,3
10.	Özel bilgileri, kayıp olmaksızın görevden göreve aktarma ihtiyacı	5,50	0,29	0,3	0,1	0,75	0,1	0,5	0,1	0,2
11.	Gerekli performans standartlarında belirsizlik	5,00	0,39	0,8	0,4	0,55	0,1	0,6	0,1	0,2
12.	Algılanan ve gerçek risk arasındaki uyumsuzluk	4,00	0,63	1	0,6	0,7	0,5	0,6	0,5	0,5
15.	Operatör deneyimsiz (örneğin, yeni kalifiye bir işçi, ancak bir "uzman" değil)	3,00	0,35	0,3	0,2	0,85	0,1	0,6	0,1	0,3
16.	Prosedürler ve kişi-kişi etkileşimi tarafından aktarılan bilgilerin yoksul kalitesi	3,00	0,24	0,2	0,2	0,55	0,1	0,4	0,1	0,1
17.	Çıktıya ait bağımsız bir kontrolün ya da testin az veya hiç olmaması	3,00	0,25	0,4	0,2	0,35	0,1	0,3	0,1	0,3
19.	Doğruluk kontrolleri için bilgi girişi çeşitliliği yok	2,50	0,24	0,5	0,2	0,3	0,1	0,3	0,2	0,1
23.	Güvenilmez enstrümantasyon (Yeter ki bildirilsin)	1,60	0,56	0,9	0,7	0,3	0,5	0,4	0,6	0,5
25.	İşlev ve sorumluluğun belirsiz dağılımı	1,60	0,28	0,6	0,3	0,25	0,1	0,4	0,2	0,1
28.	Bir görevde az ya da anlamsız tanımlamalar	1,40	0,28	0,5	0,2	0,35	0,1	0,5	0,1	0,2
29.	Üst düzey duygusal stres	1,30	0,54	0,7	0,7	0,35	0,5	0,4	0,6	0,5
32.	Gösterge ve prosedürlerin anlamının tutarsızlığı	1,20	0,34	0,7	0,3	0,55	0,2	0,3	0,1	0,2
34.	Uzun süreli hareketsizlik veya düşük zihinsel iş yükü görevlerinin sıklıkla tekrarlanan döngüsü	1,10	0,27	0,2	0,2	0,8	0,1	0,3	0,2	0,1
35.	Normal iş-uyku döngüsünün bozulması	1,10	0,28	0,5	0,2	0,55	0,1	0,2	0,1	0,3
36.	Başkalarının müdahalesinin neden olduğu görev hızı	1,06	0,39	0,5	0,4	0,95	0,2	0,2	0,2	0,3
38.	Algısal görevleri yerine getiren personelin yaşı	1,02	0,32	0,4	0,3	0,55	0,3	0,1	0,3	0,3

ÖZGEÇMİŞ

ORCID NO: 0000-0003-3839-5629

Ad Soyad : Ferdi GÜNAYDIN

Yabancı Dil : İngilizce

Eğitim ve Mesleki Geçmişi:

- 2009, Teğmen, Kara Harp Okulu, Sistem Mühendisliği, Helikopter Pilotu
- 2020, Anadolu Üniversitesi, İktisat Fakültesi, Uluslararası İlişkiler
- 2021, Anadolu Üniversitesi, Açıköğretim Fakültesi, Adalet
- 2022, Anadolu Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İşletme Yönetimi YL (Tezsiz)
- 2024, Akdeniz Üniversitesi, Hukuk Fakültesi, Hukuk Pr.

Yayınları ve/veya Bilimsel/Sanatsal Faaliyetleri:

- 2022, Kongre Bildirisi, 28. Ulusal Ergonomi Kongresi, Eskişehir