

Çevresel Faktörlerin Pilot Hatalarına Etkilerinin
Taguchi Yaklaşımı İle İncelenmesi

Savaş Baydar

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Ocak 2010

Environmental Factor Effect Analysis On Pilot Error With Taguchi Methods

Savaş Baydar

MASTER OF SCIENCE THESIS

Department of Industrial Engineering

January 2010

Çevresel Faktörlerin Pilot Hatalarına Etkilerinin Taguchi Yaklaşımı İle İncelenmesi

Savaş Baydar

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca
Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı
Endüstri Mühendisliği Bilim Dalında
YÜKSEK LİSANS TEZİ
Olarak Hazırlanmıştır

Danışman : Prof. Dr. A.Sermet ANAGÜN

Ocak 2010

ONAY

Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı Anabilim Dalı Yüksek Lisans öğrencisi Savaş Baydar'ın YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı “Çevresel Faktörlerin Pilot Hatalarına Etkilerinin Taguchi Yaklaşımı İle İncelenmesi” başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

Danışman : Prof. Dr. A.Sermet ANAGÜN

İkinci Danışman : -

Yüksek Lisans Tez Savunma Jürisi:

Üye : Prof. Dr. A. Sermet ANAGÜN

Üye : Prof. Dr. Nimetullah BURNAK

Üye : Doç. Dr. Zeki YILDIZ

Üye : Yrd. Doç. Dr. Feriştah ÖZÇELİK

Üye : Dr. Tuğba SARAÇ

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun tarih ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Nimetullah BURNAK

Enstitü Müdürü

ÖZET

Endüstri Mühendisliği uygulamaları kapsamında yapılan bu çalışmada Taguchi yöntemleri ile tasarlanan deneyler kullanılarak, bir uçak simulatöründe pilot hatalarına etki eden çevresel faktörlerin incelenmesine çalışılmıştır. Simulatörün kabiliyetleri çerçevesinde oluşturulan deney şartlarında uçulan görevlerde, gürültü faktörleri de göz önünde bulundurularak pilotların yaptıkları hatalar test edilmiştir. Test sonucunda elde edilen veriler analiz edilmiş, faktörlerin tümü ve kendi aralarında ki etkileşimleri için pilotların yapabilecekleri hatalar değerlendirilmiştir. Havacılıkta insan hatası ve insan performansı üzerine yapılacak çalışmalarda da kaynak olarak kullanılabilecek çeşitli çevresel koşullar altında pilotların yaptıkları hata sayıları tahmin edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Pilot Hatası , Durumsal Farkındalık, Taguchi, Çevresel Faktör

SUMMARY

This study covers the effects of selected environmental factors on pilot error. Taguchi methods were used to design the experiment including the noise factors to test the errors of pilots in an aircraft simulator. Simulator capabilities are considered while deciding on the factors to be tested. The data analysis was set to test the effect of the factors and the effect of interactions between them. Researches working on human factors and performance in aviation may use the prognosticated pilot error data acquired in this study.

Keywords: Pilot Error, Situation Awareness, Taguchi, Environmental Factors

TEŞEKKÜR

Bu tezin her aşamasında bana danışmanlık ederek, beni yönlendiren, her türlü olanağı ve elastikiyeti sağlayan danışmanım Sayın Prof. Dr. A.Sermet ANAGÜN 'e şükranlarımı sunuyorum.

Tezin gerçekleşmesinde her konuda desteğini aldığım sevgili eşime sonsuz teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	v
SUMMARY.....	vi
TEŞEKKÜR.....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xiii
 1. GİRİŞ	 1
 2. GENEL HAVACILIK	 3
2.1 Uçuş eğitimi	5
2.2 Havacılıkta insan hatası	6
2.4 Performansı etkileyen genel etkenler.....	8
 3. DURUMSAL FARKINDALIK	 12
3.1 Durumsal farkındalık nedir?	12
3.1.1 Algı	13
3.1.2 Kavrama.....	13
3.1.3 Öngörü	14
3.2 Zaman.....	14
3.3 Durumsal farkındalık ve karar verme	15
3.3 Durumsal farkındalık nasıl elde edilir?.....	16
3.4 Durumsal farkındalığın ölçülmesi	17
 4. TAGUCHI YÖNTEMLERİ	 20
4.1 Kalite ve Taguchi yöntemleri	20
4.2 Taguchi yöntemlerinde veri analizi	22
4.3 Robust parametre tasarımı	22

İÇİNDEKİLER (devam)

Sayfa

4.4 Kayıp Fonksiyonu	24
4.5 Nominal en iyi	25
4.6 Büyük iyi	25
4.7 Küçük iyi	26
5. DENEY TASARIMI	29
5.1 Simulatör	29
5.2 Temel alet uçuşu	30
5.2.1 Kontrol Aletleri	30
5.2.2 Performans aletleri	31
5.2.3 Seyrüsefer aletleri	31
5.2.4 Kontrol ve performans yaklaşımı	31
5.2.5 Çapraz kontrol	32
5.2.6 Çapraz kontrolü etkileyen faktörler	32
5.3 Deneyde kullanılan çevresel koşullar	33
5.3.1 Türbülans	33
5.3.2 Gece / Gündüz.....	33
5.3.3 IMC / VMC	34
5.3.4 Yan Rüzgar	34
5.3.5 Tehdit	34
5.3.6 Telsiz konuşmaları	35
5.3.7 Alet alçalması	35
5.4 Performans	35
5.4.1 Sürat	36
5.4.2 İrtifa.....	36
5.4.3 Alçalış – Tırmanış hızı	37
5.4.4 Durum Cayrosu	38
5.4.5 Uçuş rota başı	38

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
5.4 Deneyler	39
6. DENEYLERİN ANALİZİ	42
6.1 Sürat Saati Performans Göstergesine İlişkin Analizler	42
6.2 İrtifa Performans Göstergesine İlişkin Analizler	45
6.3 ADI Performans Göstergesine İlişkin Analizler	47
6.4 Heading Saati Performans Göstergesine İlişkin Analizler	49
6.5 VVI – Dikey Hız Performans Göstergesine İlişkin Analizler.....	52
7. SONUÇ VE ÖNERİLER	55
8. KAYNAKLAR DİZİNİ	57

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1 İnsan ve uçuş ortamı etkileşimi	3
4.1 Taguchi $L_8(2^7)$ Serisi	21
4.2 Süreç	23
4.3 Kayıp Fonksiyonu Grafiği	24
4.4 Büyük iyi İçin Kayıp Fonksiyonu	26
4.5 Küçük İyi İçin Kayıp Fonksiyonu.....	27
5.1 Sürat Saati Göstergesi	36
5.2 İrtifa Göstergesi	37
5.3 Alçalış Tırmanış Hızı Göstergesi	37
5.4 Durum Cayrosu	38
5.5 Uçuş Rota Başı	39

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Cizelge</u>	<u>Sayfa</u>
5.1 Gürültü Faktörleri Matrisi	39
5.2 Ana Faktörler Matrisi – Inner Array	40
5.3 Deneylerin Sinyal Gürültü Değerleri	41
6.1 Sürat Saati Performans Göstergesine İlişkin Analiz Sonuçları	43
6.2 Sürat Saati Performans Göstergesi Varyans Analizi Tablosu	44
6.3 İrtifa Performans Göstergesine İlişkin Analiz Sonuçları	45
6.4 İrtifa Performans Göstergesi Varyans Analizi Tablosu	46
6.5 ADI Performans Göstergesine İlişkin Analiz Sonuçları	48
6.6 ADI Performans Göstergesi Varyans Analizi Tablosu	48
6.7 Rota Başı Performans Göstergesine İlişkin Analiz Sonuçları	50
6.8 Rota Başı Performans Göstergesi Varyans Analizi Tablosu	51
6.9 VVI Performans Göstergesine İlişkin Analiz Sonuçları	52
6.10 VVI Performans Göstergesi Varyans Analizi Tablosu	53
6.11 Analizler İle Oluşturulan Tahmin Modeli İle Elde Edilen, Çevre Koşullarının Değişmesi İle Pilotların O Koşullar Altında Yapabilecekleri Hata Sayılar	54

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Acıklama</u>
σ	Standart Sapma
μ	Beklenen değer
Σ	Toplam Sembolü
σ^2	Varyans , Gürültü Gücü
μ^2	Sinyal Gücü
S	Sinyal - Signal
N	Gürültü - Noise
T	Amaç Değer – Target

<u>Kısaltmalar</u>	<u>Acıklama</u>
TACAN	Tactical Air Navigation
VOR	VHF Omni Direction
ILS	Instrument Landing System
VVI	Vertical Velocity Indicator
ADI	Attitude Director Indicator
HSI	Horizontal Situation Indicator
SA	Situation Awareness
AOA	Angle Of Attack
EPR	Engine Pressure Ratio
AI	Attitude indicator
RPM	Revolution Per Minute
NDB	Non Directional Beacon
GPS	Global Positioning System
IMC	Instrumental Flight Conditions
VMC	Visual Flight Conditions
KNOT	Deniz Mili Birimi
CAS	Calibrated Air Speed
FAF	Final Approach FIX
MDA	Minimum Descent Altitude

1. GİRİŞ

1903'te Wright kardeşlerin tasarladıkları motorlu bir uçak ile parlayan, bilim ve teknolojiler yardımı ile günden güne gelişen havacılık, günümüzde ulaşım, savunma sanayi ve uzay araştırmalarında çok önemli bir yer sahibidir. Tarih boyunca kuşların sahip oldukları benzersiz yeteneği taklit etmeye çalışan ve uzaklara daha çabuk ulaşmayı amaçlayan insan, yirminci yüzyılın başında attığı adımla bunu gerçekleştirmiştir.

Teknolojik gelişmeler sayesinde yirmi birinci yüzyılda uçaklar ve hava taşıtları en güvenilir ulaşım araçları olmuşlardır. Buna rağmen, havacılık sisteminin herhangi bir biriminde insan olduğu sürece, hatalar mutlaka olacaktır. Pilotlar, uçakların parçalarını tasarlayan mühendisler, uçakların bakımlarını yapan makinistler, hava trafiğini yönlendiren kontrolörler sistemin insan faktörü bileşenini oluştururlar. Çağımızda, havacılıktaki insan hatası, çözülmeye çalışılan ana problem olmuştur. Havacılık otoriteleri uçuş emniyetinde insan odaklı programların sayılarını arttırarak, kazaların engellenmesi için pilot hatalarına etki eden faktörlerin etkilerinin en aza indirilmesini amaçlamaktadırlar.

İnsan faktörünün en göz önünde bulunan ögesi pilotlardır. Uçak kazaları hakkında yapılan araştırmalarda, kazaların %70'inin insan hatasından kaynaklandığı tespit edilmiştir (R.D.Campbell and M. Bagshaw, 2002). Bu hataların genelini pilot hataları oluşturmaktadır. Pilotların neden hata yaptıkları inceleme konularının başında gelmektedir. İnsan faktörü incelemelerinde geniş yer tutan durumsal farkındalık (Situation Awareness) araştırmaları 1980'lerden bu yana çok geniş ilgi görmektedir (Endsley and Garland, 2000). Pilotların çevrelerinde olup bitenleri nasıl algılayıp ne derece iyi değerlendirdikleri, durumsal farkındalıklarını ne derece sürdürebildiklerinin incelenmesi, tasarımcıların pilot durumsal farkındalığını arttıracak sistemleri yaratmalarına temel oluşturmaktadır. Buradaki ana amaç pilotların hatalı karar vermelerine engel olmaktır.

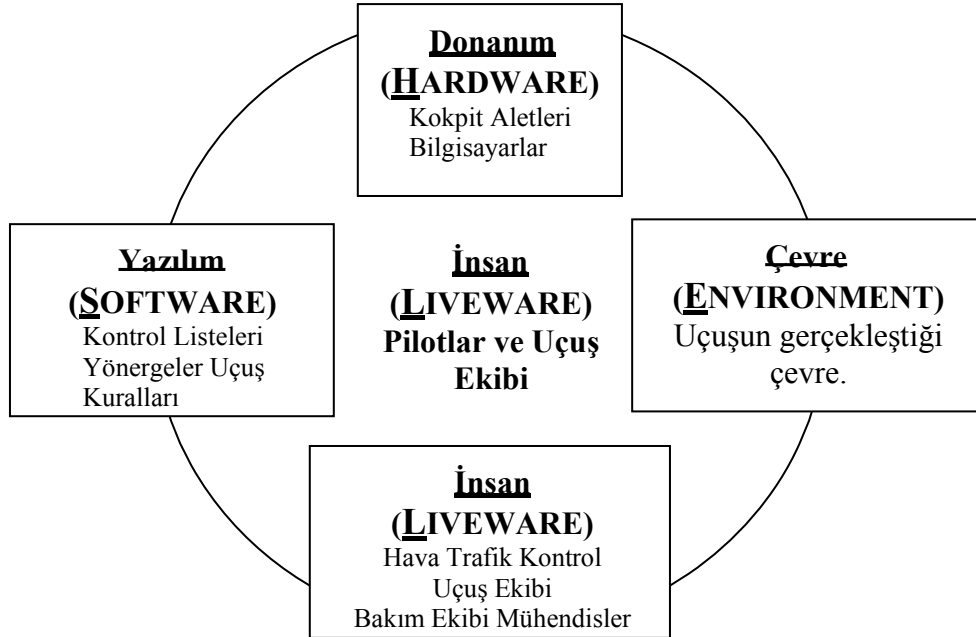
Yirminci yüzyılın başından beri, uçak kazalarının incelenmesi ile, hava ulaşımında büyük gelişmeler sağlanmıştır. Yeni sistemler geliştirilmiş, yeni kurallar yazılmıştır. Geleneksel araştırmalar kapsamında, yapılan hatalar incelenmiş ve reaktif davranılarak hatanın tekrar edilmemesi için sistematik çalışmalar yapılmıştır. Bu sistemin havacılığı çok geliştirdiği gerçeği yadsınamaz. Fakat, artık riskler incelenerek hataların önüne daha olmadan geçilmesi yaklaşımına ihtiyaç duyulmaktadır. Geleneksel pilot hatalarında hakim olan dört ana faktör; çevresel faktörler, uçaktan kaynaklanan faktörler, ekonomik faktörler ve pilot kişiliğine bağlı faktörler başlıkları altında sıralanabilir (McFadden and Towell, 1999). Çevresel faktörler iç, dış ve iş çevresi olarak değerlendirilebilir. Bu alanda çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Uçak kokpitindeki sıcaklık ve gürültünün pilot performansını etkilediği ortaya konmuştur (Pandolf et al.,1995; Wagstaff et al.,1998). Gürültü, sesli iletişimi etkilediği için bir çok kazaya sebep olmuştur. (Wagstaff et al.,1998). Rüzgar sapmalarından (Windshear) ve dikey rüzgarlardan (Microburst) kaynaklanan kazalar incelenmiştir (Spillane and Lourensz, 1986; Potts, 1991). Hava yolları şirketlerindeki uçak kazalarında, hava durumunun etkisi %5 civarındadır. (BASE,1997). Fakat BOEING şirketinin araştırmasına göre kazaların %50 si çeşitli hava durumu koşulları altında, pilotların iş yükünün ve trafik yoğunluğunun çok olduğu alçalma ve iniş aşamasında gerçekleşmektedir (BASE,1997).

Bu tezde çevresel faktörlerin pilot hatalarına etkileri üzerinde çalışılmıştır. Bir simülâtör ortamında yaratılan değişik uçuş çevre koşullarında pilotların belirlenen uçuş bileşenleri üzerindeki hataları incelenmiş ve bir alet alçalması sırasında yapılabilecek hata sayıları öngörölmeye çalışılmıştır. Elde edilen sonuçların değerlendirilmesi ile hangi çevre koşullarında ne kadar hata yapılabileceği tartışılmıştır. Deney tasarımıında Taguchi yöntemleri kullanılmıştır. Çevresel faktörler olarak hava durumu, gece gündüz koşulları, türbölans, yan rüzgar, bulutluluk değerlendirilmiş ve bu ana faktörlerin trafik yoğunluğu, tehdit ortamı ve karmaşık alet alçalmaları gürültü faktörleri etkisi altında, pilotların yaptıkları sürat, irtifa, alçalış ve tırmanış oranları, rota başı ve uzaysal pozisyon hata sayılarına etkileri incelenmiştir.

2. GENEL HAVACILIK

Pilotların uçağı uğurabilmeleri için; uçak motorları, aerodinamik, alet uçuşu, meteoroloji, seyrüsefer ve havacılık kuralları gibi birçok teknik konuda bilgiye sahip olması gerekmektedir. Pilot uçak içerisinde karar verebilmek için bu bilgi birikiminden faydalanacaktır. Bu birikim uygulamalı uçuş ve tecrübelerle desteklenmektedir. Uluslararası Sivil Havacılık Kurumu (ICAO) pilot eğitimlerinde insan faktörleri ile ilgili derslerin de teknik eğitimler ile birlikte verilmesini şart koştaktadır. İnsan faktörlerini kavrayan pilotlar uçak ve uçuş ekibi yönetimindeki becerilerini geliştireceklerdir.

İnsan ve uçuş ortamında bulunan faktörlerin etkileşimi, 1973 yılında bir psikolog olan Edwards tarafından tasarlanan Şekil-2.1'deki basit kabuk (SHELL) modeli ile özetlenebilmektedir.



Şekil 2.1 : İnsan ve uçuş ortamı etkileşimi

Kabuk (SHELL) modeli adını modeli oluşturan bileşenlerin İngilizce adlarının baş harfleri kullanılarak oluşturulmuştur.

Yazılım (SOFTWARE) başlığı altında; yazılı havacılık kuralları, yönergeler, kontrol listeleri, standart semboller, haritalar ve yayınlanmış hava yolları, uçak kullanım kuralları ve limitleri ile uçuş bilgisayar yazılımları gibi alt maddeler toplanmaktadır.

Donanım (HARDWARE) başlığında; uçak kokpit ve aerodinamik tasarımı, uçuş aletleri ve sensörler yer almaktadır.

Çevre (ENVIRONMENT) uçak içinde ve dışındaki uçuşun gerçekleştiği ortamdır.

İnsan (LIVEWARE), modelin merkezindeki L ise en değerli ve elastik bileşen olan sorumlu pilottur. Pilot tüm etkileşim ortamında karar verecek merkez noktadır.

Pilotların uçuş eğitimi, öğrenilen bilgilerin pratiğe dönüştürülerek psikomotor yeteneklerin kazanılması ile gerçekleşir. Geleneksel uçuş eğitimin de genel felsefe bilgi, yetenek ve tecrübeye dayandırılmıştır. Psikomotor becerinin zamanla gelişmesi, uçak hakimiyetinin artması sürekli pratik ile mümkündür.

Yeni eğitim yaklaşımlarında uçuş eğitiminde üzerinde durulması gereken başlıklar aşağıdaki şekilde olmaktadır (Campbell and Bagshaw, 1991):

- ☐ Havacı nosyonu, kişisel disiplin
- ☐ Psikomotor gelişim
- ☐ Stres Yönetimi
- ☐ Risk Yönetimi
- ☐ Uçuş yönetimi
- ☐ Uçuş ekibi koordinasyonu.

Bu başlıklar, SHELL merkezindeki pilotlar için karar verebilme yetisini, durumsal farkındalığı arttırarak pilot hatalarını azaltmayı ve uçucu profesyonelliğini geliştirmeyi amaçlamaktadır.

2.1 Uçuş Eğitimi

Uçuş eğitiminde ilk adım öğrenci pilotların genel bilgi ile yüklenmesidir. Uçuculuk hayatları boyunca kullanacakları temel bilgiler, uçacakları uçağın sistem bilgileri, normal ve acil durum usulleri yoğun bir şekilde hafızalarına işlenir. Uçuş safhasına başlamadan önce bu bilgilere hakim oldukları test edilir ve takiben uçuş eğitimine başlanır.

Sentetik eğitimler ana adımlardan birisidir. Sentetik eğitimlerde öğrencilere uçak sistemleri, sistem arızaları, genel usuller ve karşılaşılabilecekleri normal veya anormal ortamlar hakkında benzetilmiş senaryolar sunulur. Sentetik eğitimlerin en önemli yardımcısı, uçak sistemlerinin birebir benzetilmiş simülörleridir. Bu sistemler, öğrencilerin içinde bulundukları aşamaya göre hazırlanmış senaryoların öğretmen pilotlar tarafından öğrencilere çalıştırıldığı en önemli eğitim yardımcısıdır.

Uçuş eğitim programları ve eğitim standartları öğrencilerin hangi aşamada nasıl bir performans göstermesi gerektirdiğini belirleyecek şekilde yapılırlar. Eğitim planları ilk olarak uçağı tanımayla başlar. Uçak limitleri, sistemleri ve uçağın genel uçuş karakteristiğı öğretilir ve uçulur. Bu aşamada görerek uçuş şartlarında görevler yapılır. Öğrenci görsel olarak ufuk hakimiyetini, uçağın uzaysal pozisyonuna hakimiyetini geliştirir. Meteorolojik şartlar aletlere bağımlı olmadan uçmaya elverişlidir.

Görsel olarak yapılan ilk aşama geçildikten sonra, temel alet uçuşu görevleri planlanır. Öğrenciler sadece uçak sistemlerini kullanarak uçmayı öğrenirler. Bu aşamada simülör eğitimleri çok önem kazanmaktadır. Görerek uçuş şartlarında uçuş aletlerine daha az bağı olan öğrenci, sistem bilgilerine bakarak uçmaya alışmak zorundadır. Alet uçuşu şartları; havanın bulutlu, görüşün düşük ve ufuk hattının olmadığı veya tam olarak algılanamadığı durumlarda oluşur. Uzaydaki pozisyonun

sadece aletler tarafından belirlenebildiği bu şartlar, insani algı sistemini ikinci plana bırakıp, uçağı uçak aletlerine güvenerek kumanda etme gereğini ortaya çıkarmaktadır. Öğrenciler temel alet usullerini ve çapraz kontrolü, alet şartlarının benzetimi yapılan simulatör görevlerinde birçok kez uyguladıktan sonra gerçek temel alet görevine giderler.

Uçak aletlerine güvenerek uçağa hakimiyeti gelişen öğrenci pilot, bir sonraki adımda alet uçuş şartlarında seyrüsefer eğitimine başlar. Sentetik eğitimin etkin olarak kullanıldığı bu safha, öğrencilerin havacılık otoriteleri tarafından yayınlanmış rotaları, standart tırmanış ve alçalma planlarını uygulamayı öğrendikleri safhadır. Bu safhada uçağın uçuş karakteristiklerini öğrenmiş, meteorolojinin görsel uçuşu kısıtladığı durumlarda uçağın hakimiyetini aletlere bakarak sürdürebilen öğrenci, artık bir çok dinamik unsurun bir araya toplandığı hava trafiğine girmiş olmaktadır.

Simulator görevlerinde planlanan senaryolarda, öğrencilere karşılaşılabilecekleri şartlar oluşturulur ve gerçek görevlerde ne tür hata yapabilecekleri anlatılır. Böylece öğrenciler havada karşılaşılabilecekleri gerçek durumlara, simulatörde eğitimini aldığı usullerde müdahale edebilmektedir. Daha önceki tecrübeleri pilotların durumsal farkındalıklarını arttırmaktadır. Pilotun simulatörde eğitimini aldığı duruma müdahalesinde hata yapma olasılığı daha önce hiç karşılaşmadığı bir duruma müdahalesinde hata yapma olasılığından daha azdır. Eğitimin esas amacı insan hatalarını ortadan kaldırmaktır.

2.2 Havacılıkta İnsan Hatası

İnsanların birçok durumda makinelere göre çok avantajlı olduğu kabul edilmelidir. Fakat kusursuzluk bu avantajlardan birisi değildir. İnsanlar makinelere oranla daha fazla hata yaparlar.

Havacılıkta uçuş emniyetinin en dinamik parçalarından birisi insan faktörüdür. Her geçen gün ortaya atılan fikirler ve araştırmalarda insan hatalarından kaynaklanan problemlere çözüm aranmaktadır. İnsanlar ve içinde bulundukları ortamlar incelemelere

temel oluştururlar ki; ortamdan kasıt uçuş aletleri ve birlikte çalışılan ekiplerdir. Aynı zamanda içinde bulunulan hava sahası ve o anda ilgili hava sahasında bulunan tüm diğerk trafikler ve meteoroloji ortamın birer parçasıdır.

Bu kadar dinamik girdinin i içe olduğu ortam, insan faktörlerinin belirlenmesi veya insan faktöründen kaynaklanan hataların incelenmesi tartışmalarını çok zor ve karmaşık bir hale sokmaktadır. Nelerin insan faktöründen kaynaklandığı, bu hataların nasıl sınıflandırılacağı veya hataların nasıl lleceği tartışmaları devam etmektedir. Hiçbir pilot hatalı olduğunu kolay kolay kabul etmez. Bunu yaptığınızda soru neden uçmasına müsaade edildiğine gelir. Bu, cevabı çok zor bir sorudur.

Uuculuktaki insan faktörlerinin odak noktası pilottur. Her ne kadar pilotların geçmişi takip edilmeye çalışılsa da, elde ettiği tecrübe ve bilgileri tam olarak ölçülemez.

İnsan faktörü incelemelerinde bir diğerk sorun ise; mühendislerin incelemelerinde kullandıkları detaylı sayısal verilerin, insan faktörlerini inceleyen birim için mevcut olmamasıdır. Bir pilotun çok yorgun olduğu, dikkatini bu yüzden toplayamadığı, ve durumsal farkındalığının zayıfladığını ve sırf bu yüzden hata yaptığını açıklayabilmek zordur.

Hata tek başına veya zincirin parçası olarak gerçekleşebilir. Bir telsiz kanalının yanlış ayarlanması hemen fark edilip düzeltilebilir. Uçuş emniyetini çok büyük riske atmadan düzeltilen bu hata tek başına yapılmış küçük bir hatadır. Fakat uçuşun başında yanlış hesaplanmış bir yakıt akış değeri uçuş sonunda felaketle bitebilecek sonuçlar doğurabilmektedir. Yanlış bir anahtarın açılması da sonucunda hatalar dizisinin başlangıcı olabilir.

Bir hava meydanından diğerkine seyrüsefer planı yapan pilot, mesafe, uçulacak irtifa ve süratleri planlar ve havada kalınacak zamanı belirler. Bu süre de uçuş boyunca kullanılacak yakıt miktarı bellidir. Hava durumu incelenerek yedek inilecek hava meydanları gözden geçirilir ve alet uçuş planı doldurularak trafik otoritelerine hangi onaylanmış rotalardan seyrüseferin yapılacağı bildirilir. Birçok kontrol mekanizmasının

olduğu bu sistemde eğer planlama hataları yapılmışsa çoğu kez düzeltmek mümkün olabilmektedir. İş uygulama kısmına gelince hatalar sadece uçucu ekip tarafından düzeltilebilir. Pilotun planladığı rotayı planladığı süratte ve irtifada uçmaması demek yakıtının yetmemesi, başka trafiklerle çarpışması gibi felaket sonuçlar doğuracaktır. Uzun eğitim sürecinde geçen bilinçli pilotlar bunun farkında oldukları için işlerini çok hassas yaparlar. Normal şartlarda ruhsal problemi olmayan bir pilot asla hata yapmak için havaya çıkmaz. Gerekli usulleri uygularken, sistemlerde oluşan bazı hatalardan dolayı veya çevresel nedenlerle durumsal farkındalıklarının zayıfladığı ve dikkatlerinin dağıldığı anlarda pilotlar hata yaparlar. İnsan fizyolojisi, psikolojisi ve içinde bulunulan ortam şartlarının her biri durumsal farkındalığın seviyesini etkiler.

Yapılan incelemeler ve araştırmalarda varılan sonuçlara göre (Wiegmann, 2000; Wiegmann and Shappell, 2001a) insan hatalarının sebepleri altı ana grup altında toplanarak sınıflandırılmıştır;

- Ergonomik
- Davranışsal
- Fizyolojik
- Psikolojik
- Organizasyon kaynaklı.

2.3 Performansı Etkileyen Genel Etkenler

İnsanların performanslarını etkileyen genel faktörler basitçe şu şekilde sınıflandırılabilirler (Wood, 1997) :

Fizyolojik Faktörler

- Biodinamik
 - o Hipoksi – Oksijen Yetersizliği
 - o Hiperventilasyon – Aşırı hızlı nefes alıp verme.
 - o Kulak ve sinüs tıkanıklıkları

- o Dekompresyon rahatsızlığı – Kanda basınç altında çözünen gazların basınç kaybı ile çok hızlı gaz haline dönüşmesi.
- o G kuvvetlerinden kaynaklanan bayılmalar

□ Duyular

- o Görsel yanılmalar
- o Vestibüler sistem yanılmaları
- o Gürültü
- o Titreşim
- o Sürat mesafe pozisyon hakimiyetini kaybetme
- o Durum hakimiyetinin kaybı (Spatial Disorientation)

□ Patofizyolojik Etkenler

- o İlaçlar
- o Alkol kullanımı
- o Nikotin / kafein
- o Beslenme
- o Fizik kondisyon
- o Susuzluk
- o Zehirlenmeler
- o Harekete karşı hassasiyet / Bulantı
- o Sıcaklık / Hararet

Psikolojik Faktörler

□ Kabiliyetler

- o Toplam tecrübe
- o Geçmiş tecrübeler
- o Negatif alışkanlıkların transferi
- o Öğrenme yetisi
- o Hafıza kabiliyeti
- o Teknik bilgi
- o Durumsal hakimiyet
- o Dikkat vermeme

- o Tek noktaya dikkat kilitlenmesi
 - o Dikkat dağılması
 - o Sıkılma
 - o Heyecanlanma
 - o Kafa karışması
 - o Alışkanlıkların çakışması
 - o Aletlerin yanlış okunması / değerlendirilmesi
- Yorgunluk
 - o Fiziksel yorgunluk
 - o Motivasyon eksikliği
 - o Uykusuzluk
 - o Yaşam düzeni senkronu bozukluğu (Circadian Rythm Disorder)
- Algısal motor yetenekler
 - o Görevsel yoğunluk
 - o Kontrollerin karıştırılması
 - o Yetersiz koordinasyon
 - o Uçuş yetenekleri eksikliği
 - o Aşırı kontrol
- Karar verme ve değerlendirme
 - o Kabul edilen uygulama kurallarını benimsememe
 - o Seçilen yanlış uygulama
 - o Gerekli işlemi uygulamada geç kalma
 - o İşlemleri yapmada acele etme
 - o Uygulama hataları
 - o Göz ardı edilen kontrol uygulamaları
 - o Eve hemen varma / işi hemen tamamlama isteği
 - o Teknik emirlerde göz ardı edilen ikazlar / uyarılar
- Kişisel faktörler
- Duygusal durum
- Aile ortamı

- İş ortamı
- Arkadaş çevresi
- Ekonomik durum
- Beklentiler

Sıralanan etkenlerin her biri, pilotların performanslarına etki edebilir. Her pilotun tecrübesi, eğitimi ve kişiliği birbirinden farklı olduğu için, her etkenin her pilota aynı derece etki etmesi beklenemez. Bu, durumsal farkındalığın ölçülmesi için yapılan araştırmalarda, araştırmacıların deney tasarımlarında zorlandıkları noktadır. Psikomotor yetilerin, ne ölçüde çevresel faktörlerden etkilendiği daha çok tartışmaya açıktır.

3. DURUMSAL FARKINDALIK

Pilotlar, tüm uçuşu çevrelerinde olup bitenleri değerlendirerek durumsal farkındalık (Situation Awareness - SA) modeli ile oluşturarak gerçekleştirirler.

3.1 Durumsal Farkındalık Nedir?

En basit anlatımı ile durumsal farkındalık çevremizde ne olup bittiğinden haberdar olmaktır. Olup bitenler içerisinde bizi ilgilendiren veya bize etki edecek noktaları değerlendirerek hareket tarzımızı belirlemek işimizi veya operasyonu yönlendirmek, daha açıkçası kararlar vermek durumsal farkındalığın doğasını oluşturur. Durumsal farkındalığa sahip olmak için bir operasyon veya işlem gerçekleştiriyor olmak gerekmez. Yattığımız yerden sokakta olup bitenler hakkında durumsal farkındalığımız olabilir. Bu tezde pilotların simulatörde uçtukları görevlerde oluşturdukları durumsal farkındalık veya duruma hakimiyeti göz önüne alınarak inceleme yapılmıştır.

Pilotlar için durumsal farkındalık, görevi başarıya ulaştırmak için görev icrası boyunca verilecek doğru kararlara temel sağlar. Bir pilot uçağı emniyetle uçurup görevi emniyetle başarıya ulaştırmak için bilgiye ihtiyaç duyar. Durumsal farkındalık için literatür incelendiğinde (Endsley 1995a, Smith and Hancock 1995), yapılan açıklamaların ulaşılan ortak noktası şöyle özetlenebilir; bir kişinin belli bir yerde belli bir zamanda akıp geçen dinamik olaylar zinciri içerisinde kendi işlemini gerçekleştirmek için ne yapılması gerektiğini kavrayıp anlayabilmesidir. Durumsal farkındalık çevremizde süregelen değişken olayların algılanıp kavranmasıdır ve belli bir zamanda belli bir noktayı çevreleyen olayların o andaki anlam ve ifadeleri ile bu olayların yakın gelecekteki beklenen hal ve durumlarının öngörülebilmesidir (Endsley, 1988).

Durumsal farkındalık üç ayrı seviyede incelenebilir. Bu seviyeler algı, kavrama ve anlama, tahmin etme veya öngörme seviyeleridir (Jones and Endsley, 1996).

3.1.1 Algı

İnsanın beş temel duyusundan aldığı girdiler durumsal farkındalığın temelini oluşturmaktadır. Çevremizde olayların ipuçları beş duyumuzdan gelen girdiler ile elde edilmektedir. Temel algılarımız olmadan büyük resmin oluşması mümkün değildir. Pilot hatalarının %76 sı temel algı problemlerinden kaynaklanmaktadır (Jones and Endsley, 1996). Bu algı problemleri sistemdeki hatalardan veya pilotların algı hatalarından kaynaklanmaktadır. Durumsal farkındalığın bu seviyesinde, çevresel faktörler etkisini, algı zorlukları yaratarak göstermektedir. Örneğin yoğun telsiz konuşması olan bir ortamda uçan bir pilot, kendisini ilgilendiren hava trafik kontrolörü girdilerini duymakta zorluk çekmeye başlayabilir. Durumsal farkındalığın zayıflamasına sebep olacak bu durum pilotun hatalı karar vermesine kadar gidebilir. Bir başka örnek ise, bulutlu bir havada alet uçuş şartlarında ufuk hattını tam göremeyen pilotun sadece uçak aletleri ile uçak hakimiyetinin kontrolünü sağlamaya mecbur olduğu durumda karşımıza çıkar. Uçuş ve seyrüsefer aletlerine tam güvenerek uçulan alet uçuşu gerektiren meteorolojik şartlarda, pilot sistemden aldığı pozisyon bilgisine güvenmek zorundadır. Pilot sadece kokpit içerisinde gördüğü göstergelere ve duyduğu sesli ikazlara dayanarak uçağı kumanda eder. Uçak sisteminin verdiği, gerek uçağın uzaydaki pozisyon bilgisi gerekse performans bilgilerindeki hatalı bir bilgi pilot tarafından yorum yapılmadan kabul edileceği ve aynen algılanacağı için, durumsal hakimiyetini kaybedebilecektir. Bu durum pilotu his yanılmasına veya pilotun sağlık durumuna bağlı olarak vertigo durumuna sokabilecektir.

3.1.2. Kavrama

Durumsal farkındalık sadece algılardan ibaret değildir. Algı girdilerinin insanlar tarafından nasıl birleştirildiği, tasvir edilip anlam çıkarıldığı, nasıl depolanıp saklandığı durumsal farkındalığın çerçevesi içine girer. Durumsal farkındalık çoklu bilgi ve girdileri bir araya toplayıp birbiriyle birleştirilerek amaca yönelik olanları ayıklayıp kullanmaktır. Bu seviyede pilotun eğitimi ve sistemler hakkındaki genel bilgisi kavramanın etkinliğini belirleyen noktadır.

3.1.3 Öngörü

Durumsal farkındalığın en üst ve amaçlanan bu seviyesinde, yakın gelecekte, içinde bulunduğumuz durumun alabileceği yeni hali öngörebilmek yer alır. Algılanan ve kavranan bilgi ve girdilerin değerlendirilip yakın geleceğe yönelik tahminlemede kullanılarak, uygulamakta olduğumuz işlemin bir sonraki adımında nasıl davranılacağını belirlemek bu öngörüye dayanarak şekillenecektir. En üst seviye durumsal farkındalık girdilerin çok yoğun ve değişken olduğu ortamlarda yakın gelecek öngörüsü sağlar.

İşinde uzman pilotlar, içinde bulundukları anın girdileri ile amaçlarına yönelik doğru kararları doğru zamanda yakın geleceği tahmin ederek verirler. Havadayken “Uçağın bir adım önünde olmak” deyiminin kaynağı budur.

3.2 Zaman

Zaman algılaması ve zamana bağlı dinamiklerle ilişkili olaylar, durumsal farkındalığın elde edilmesi için anahtar rol oynar. Zaman, başlı başına durumsal farkındalığın bir ögesidir.(Endsley, 1993b,1994; Endsley, et al. 1998; Endsley and Robertson,1996; Endsley and Rogers, 1994) Zaman farkındalığı olay akış sırasını algılamada temeldir. Olayların gerçekleşmesine kadar ne kadar zaman gerekli olduğu ve verilen kararın ne kadar zamanda uygulanabileceği durumsal farkındalığın kritik noktasıdır. Zaman havacılıkta çok değerlidir. Gerçek dünyanın dinamik doğası durumsal farkındalığın bir bakış açısıdır (Endsley 1988, 1995c). Dinamik doğası gereği devamlı değişen ortam durumsal farkındalığın sabit kalamadan değişmesi gerekliliğini doğurur. Sürekli değişime ayak uydurma zorunluluğu pilotun her an kararlarını yenileyerek bir sonraki adımı planlaması ve durumsal farkındalığını tazelemesi gerekliliğini ortaya çıkaracaktır. Pilot değişen ortama ayak uyduramaz ise hassasiyetini kaybeden durumsal farkındalık hataya giden yolu açacaktır. Hız havacılığın en temel unsurlarından birisi olduğu için kararların da bu hıza paralel hızda verilmesi zorunluluğu havacılıkta zamanın değerini bir kez daha ortaya koyar.

3.3 Durumsal Farkındalık Ve Karar Verme

Karar verme ve pilotların performansları birbirlerinden farklı kademelerde yer alırlar. Durumsal farkındalık pilotun içinde bulunduğu çevreyi, o anda, algıları ile kendine modellemesidir. Pilot oluşturduğu bu anlık modeli temel alarak amacına yönelik işlemi nasıl ve ne zaman yapacağına karar verir. Durumsal farkındalık pilot kararlarında çok önemli rol oynasa da, durumsal farkındalığı performansına yansıtmak için birçok etken devreye girer.

Durumsal farkındalığı çok iyi olan bir pilotun hatalı karar vermesi olasıdır. Örneğin, hava muharebesinde düşmanın kabiliyetlerini çok iyi bilen bir pilotun seçtiği taktik hatalı ise veya taktiğin uygulamasında hata yaparsa performansı kötü olacaktır. Verilen taktik kararın uygulanmasında yeterlilik gösterilememesi zayıf durumsal hakimiyetten değil, tecrübesizlikten veya yetersiz eğitimden kaynaklanıyor olabilir. Uçak kazalarının %26,6 sı uçucu ekibin durumsal hakimiyetinin iyi olmasına rağmen verdikleri hatalı kararlardan kaynaklandığı söylemektedir (Endsley, 1995b). Tersî durumlar düşünülürse, çok zayıf durumsal hakimiyeti olan pilotların sadece şansları yardımı ile mükemmel karar verdikleri durumlar olabilmektedir. Tüm bunlar bir kenara, doğru ve zamanında verilecek bir kararın kuvvetli durumsal farkındalık gerektirdiği gerçeğini değiştirmez.

Kararlar ve performans arasındaki ilişki bazı ortamlar için dolaylı hal alır. Kararı verilen ve uygulanmak istenen işlem, fiziksel veya çevresel faktörlerden dolayı, işlem yoğunluğu, yetersiz eğitim veya sistem arızalarından dolayı sağlıklı ve doğru uygulanamayabilir. Harekat ortamlarında karşı dinamikler, örneğin düşman uçaklarının manevraları verilen kararların düşük performansla sonuçlanmasına sebep olabilir. Yüksek durumsal hakimiyet bu olaylar akışı içerisinde gerekli adaptasyonu sağlamayı ve yeni davranış biçimi veya uygulamaları seçme kararını vermeye yardımcı olur. Verilen her karar sonucunda dinamik ortama yeni girdi yapılacağı için süregelen kararlar birbirini izlemeye devam eder.

3.4 Durumsal Farkındalık Nasıl Elde Edilir?

Durumsal farkındalık genel anlamda, görme, duyma, dokunma, koku alma ve tat alma duyularını kullanarak toplanan bilgiler ile elde edilir (Endsley, 1995b, 1997). Algı adımının ilk adım olduğu göz önüne alınırsa, bazı girdilerin gücü çok yüksek seviyede olabilir. Alarm veren bir uçak sisteminin sesi düşünülürse uyarı sisteminin işlevini yerine getirmesi için kuvvetli olması tasarımın bir gereğidir. Bazı girdiler ise düşük düzeylidir. Motordan gelen hırıltı normal değildir fakat normal motor sesi ile var yok arasında saklanmış bir şekilde duyulur. Üreticiler sistemi, bilgi akışını ve geri beslemeleri, kullanıcıların durumsal farkındalıklarını arttıracak şekilde tasarlamaktadırlar.

Tasarlanan sistemleri kullanan pilotlar, içinde bulundukları uçak kokpitinde, uçuş ve görev icrasında durumsal farkındalıklarını sürekli kılmak için birden çok sistemi aynı anda kullanırlar. Uçuşun aerodinamik bölümü için durum cayroları, sürat saati, altimetre varyometre, g saati, seyrüsefer saatleri, uçak motor ve kumanda sistemlerinin takibi için motor dönüşü, türbin çıkış sıcaklığı, yakıt akışı, yağ basınç saati, hidrolik ve elektrik sistem saatleri bunlardan bazılarıdır. Tüm pilotlar en üst seviyede durumsal farkındalık için eğitim alırlar.

Her ne kadar üreticiler pilotlara durumsal farkındalıklarını arttıracak sistemler sunsa da, durumsal farkındalığı sadece kullanıcı ara yüzleri ve sistem tasarımı sağlamaz. Dinamik ortam olarak düşünülen yoğun uçuş trafiği ortamında, hava trafik kontrolörlerinden telsiz aracılığı ile alınan trafik bilgileri durumsal farkındalığın artmasına yardımcı olur. Bu noktada çok yoğun telsiz konuşmaları arasında kafa karışıklığı ve gerekli bilgilerin gözden kaçması da mümkündür. Durumsal farkındalığın oluşturulmasında diğer ortam öğeleri ile iletişim içinde bulunmak son derece önemlidir.

Sözlü iletişim açısından değerlendirmede, pilot ve kontrolörün havacılık lisansı haline gelmiş İngilizceyi ne kadar iyi kullandıkları, bilgi alışverişinin ne kadar etkin olacağını doğrudan etkiler. İletişim yapılan iletişim anadil değil ise, dile hakimiyet seviyesi durumsal farkındalığı etkileyecektir. Bilgi akışının netliği bozulacağı ve stresin

artacağı göz önüne alınırsa, pilotun durumsal farkındalığını etkileyecek çevresel bir faktör ortaya çıkacaktır. Bu noktada pilotun hata yapma olasılığı artacaktır.

Sonuç olarak; durumsal farkındalık çevresel ve kullanılan sistem bilgilerinden elde edilen girdilerin, pilotun tecrübesi, geçmiş eğitimi ve genel bilgi seviyesi ile elde edilir.

3.5 Durumsal Farkındalığın Ölçülmesi

Durumsal farkındalık, kendisini oluşturan dinamik yapılardan dolayı, ölçülmesi zor bir kavramdır (Salmon 2008). Durumsal farkındalığın ne olduğu üzerinde yapılan geniş tartışmalarda bazı araştırmacılar durumsal farkındalığın, insanın işlevsel hafızasında yer aldığını savunurlar (Bell and Lyon, 2000). Bazıları bilgilerin bilişsel olarak kavranıp işlenmesine durumsal farkındalık demektedirler (Endsley, 1995a). Bazıları da dış etkenlerle yönlendirilen bilinç olduğunu savunurlar (Smith and Hancock, 1995).

Durumsal farkındalığın ölçülmesi için çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. SAGAT (Situation Awareness Global Assessment Technique) bu yöntemlerden biri olup, üç aşamalı durumsal farkındalık yaklaşımını temel alarak tasarlanmış bir ölçüm yöntemidir (Endsley,1995b). Bir diğer yöntem SART (Situation Awareness Rating Technique) bir işlemin yapılması esnasında dikkatin paylaşılmasını gerektiren iş yükünün, durumsal farkındalığa etkilerinin çok yönlü ölçülmesini temel almaktadır (Taylor,1990).

Ergonomik yöntemler içerisinde otuz değişik yaklaşım, durumsal farkındalığı ölçmek için kullanılmaktadır (Stanton 2005).

Yaklaşımlardan biri olan dondurma teknikleri (Freeze-Probe Technique), test ortamının anlık müdahaleler ile durdurularak, deneğe yöneltilen o andaki durum ile ilgili sorulara dayanmaktadır. Kullanıcı durumsal farkındalığının direk olarak ölçülmesidir. SAGAT dondurma tekniklerini kullanmaktadır. Nesnel ve direk olan bu yaklaşımda, bölünen akıştan dolayı kaybedilen konsantrasyon sebebi ile genel

performansta düşüş yaşanabilmektedir (Salmon, 2008).

Gerçek zamanlı tekniklerde (Real Time Probe Tecniques) iş akışına müdahale etmeden uzmanlarca hazırlanan sorular, deneklere sorulmaktadır. Verilen cevapların doğruluğu ve cevap verilinceye kadar geçen zaman, ölçümlerde kullanılmaktadır. Yapılan işin normal akışı durdurulmamasına rağmen, konsantrasyonun bozulması, bu teknikte de söz konusudur. Var olan durumun değerlendirilmesi yöntemi SPAM (Situation Present Assesment Method) gerçek zamanlı bir tekniktir (Durso, 1998). Örneğin; hava trafik kontrolörleri için, radar ekranı başındaki görevliye telefonla yöneltilen, hava meydanına yaklaşan uçaklar arasındaki önceliklerin sorulması, gerçek zamanlı teknik için hazırlanan değerlendirme sorularından birisidir (Salmon, 2008).

Kendi kendine değerlendirme tekniği (Self Rating Technique), deneklerin görevlendirildikleri işi tamamladıktan sonra, uzmanlar tarafından hazırlanan her iş adımı için belirlenmiş seviyeleri içeren soru anketlerini cevaplandırılması ile uygulanmaktadır. Uygulanması çok kolay olan bu teknikler, işin akışına müdahale etmediği için dikkat dağılması riskini ortadan kaldırmaktadır. Fakat deneklerin yapılan iş sonunda detayları hatırlama zorlukları çekmeleri ve kişiye göre değişen hassasiyetler ölçümlerde sorunlar yaratmaktadır. SART tekniği bu yaklaşımı kullanmaktadır. Bu teknikte iş adımlarında, durumsal farkındalığın ölçüleceği noktalar yedi dereceli bir ölçek üzerinden; 1= düşük, 7= büyük olacak şekilde; deneklerden değerlendirmesi istenir (Salmon, 2008).

Gözlemci değerlendirmesi yaklaşımı (Observer Rating Techniques) en çok kullanılan yöntemdir. İş akışı sırasında operatöre müdahale edilmez. Örneğin simulatörde uçan bir pilotun durumsal farkındalığı, kontrol konsolundaki gözlemci tarafından değerlendirilir. Göreve hiçbir etkisi olmadığı için, gerçek şartlarda da kullanılabilirler. Örnek olarak hava trafik kontrolörlerinin bulunduğu operasyon odasında gözlemcilerin, günlük iş akışı içerisinde operatörleri değerlendirmesi verilebilir. Durumsal farkındalığın davranışsal değerlendirme ölçeği, SABARS (Situation Awareness Behavioural Rating Scale), orduda piyadelerin savaş alanındaki durumsal farkındalıklarını ölçen, gözlemci değerlendirmesidir (Matthews and Beal,

2002). Bu teknik belirlenmiş 28 davranışın tasarlanan senaryolarda denek üzerinde gözlenmesine dayanır.

Durumsal farkındalığın karmaşık sistemlerin üzerinde kullanılabilmesi için daha çok araştırma gerektiği bir çok uzman tarafından dile getirilmektedir (Artman, 1998; Jones and Kaber, 2004; Patrick, 2006 ; Salmon, 2009; Siemieniuch, 2006)

4. TAGUCHI YÖNTEMLERİ

Çevresel faktörlerin pilot hatalarını incelenmesi için tasarlanan deneylerde, simulatörde kullanılabilecek toplam zamanın kısıtlı olmasından dolayı, klasik deney tasarımı yerine, Taguchi yöntemleri kullanılarak deney sayısının azaltılması sağlanmıştır.

4.1 Kalite Ve Taguchi Yöntemleri

Taguchi yöntemleri adını yaratıcısı olan Dr. Genichi Taguchi' den almıştır. Taguchi yöntemi, 1960 yılından beri Japon mallarının kalitelerini arttırmak için başarı ile kullanılan kalite stratejisinin bir parçasıdır. 1980'lerde Amerika ve Avrupa'daki firmalar, üretimin hemen ardından kontrol edilerek, standartlara uymayan ürünlerin elenmesine dayanan eski kalite kontrol yöntemlerinin, Japon kalite stratejileri ile boy ölçüşemeyeceğini fark ettiler. Dr. Genichi Taguchi, bu yöntem ile ne kadar sıkı kontrol yapılırsa yapılsın ürünlerde kalite gelişiminin olmayacağını; Robust (Güçlü, Sert) tasarım ile kalitenin tasarım aşamasında ürüne katılması gerektiğini ortaya koymuştur.

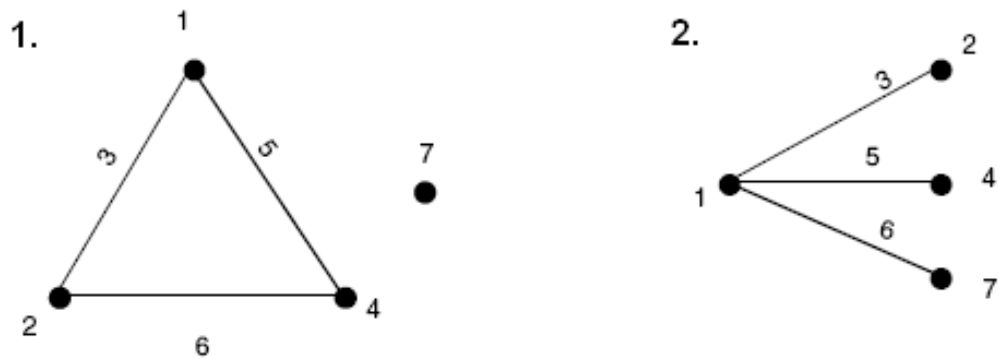
Robust tasarım, ürünlerin süratli ve düşük maliyetle üretilmesi için, araştırma geliştirme ve tasarım sürecinde üretkenliği geliştirecek mühendislik yöntemidir (Phadke, 1989). Robust tasarımın ardında, üretimde kontrol edemediğimiz etkenlerden kaynaklanan varyasyonların etkilerini ortadan kaldırılması yatar. Robust tasarımlar, ürünlerin kontrol edilemeyen faktörlere hassasiyetini en aza indirir.

Taguchi yöntemleri, mühendislik tasarımları ile Taguchi'nin ortogonal seri deney tasarımlarının birleştirilmesidir. Taguchi, deney tasarımlarında kullanılmak üzere 18 adet standart ortogonal seri geliştirmiştir. Bir ortogonal seri, ortogonal ve dengeli olan kesirli faktöriyel deney matrisidir. Taguchi ortogonal serilerinde, en az bir tane olmak üzere, ortogonal seri içerisindeki etkileşimleri belirleyen doğrusal bir grafik yer alır. Deneyde kullanılmak üzere belirlenen faktörler ve etkileşimler, grafik üzerinden hareket edilerek ilgili matris sütunlarına yerleştirilir ve sistemli bir şekilde her faktörün

farklı seviyeleri test edilir. Örneğin; faktör seviyesi 2 olan 3 faktör ve etkileşimleri için standart ortogonal seri ve doğrusal grafiği Şekil 4-1 de verilmiştir.

$L_8(2^7)$	Ortogonal Seri						
Experiment no.	Column						
	1	2	3	4	5	6	7
1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	2	2	2	2
3	1	2	2	1	1	2	2
4	1	2	2	2	2	1	1
5	2	1	2	1	2	1	2
6	2	1	2	2	1	2	1
7	2	2	1	1	2	2	1
8	2	2	1	2	1	1	2

Doğrusal Etkileşim Grafikleri



Şekil 4.1: Taguchi $L_8(2^7)$ Serisi

Deney tasarımına başlarken temel üç adım izlenir (Kai Yang and Basem El-Haik, 2003) :

1. Toplam serbestlik derecesinin bulunması
2. Kullanılacak ortogonal serinin belirlenmesi
3. Faktörlerin kullanılacak matris sütunlarına yerleştirilmesi.

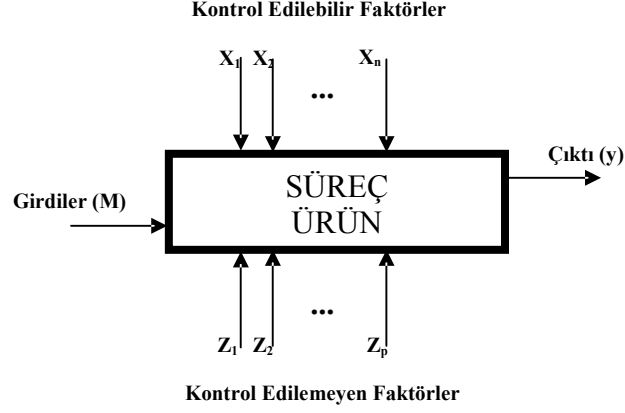
Taguchi deney tasarımlarında ana faktörler ve bu faktörlerin ikili etkileşimleri göz önünde tutulur, daha yüksek derecede etkileşimler göz ardı edilir. Deneyi yapacak kişi, deneye başlamadan önce, konuyla ilgili bilgisine dayanarak hangi faktörlerin etkileşimlerinin inceleneceğini belirler. Bu iki adımı takiben deneysel faktörlerin serbestlik dereceleri belirlenir. Serbestlik derecesi, belirlenen tüm etkileşimlerin incelenebilmesi için gerekli bağıl veri miktarıdır. Ortogonal seride yapılacak deney sayısı her zaman serbestlik derecesine eşit veya serbestlik derecesinden büyüktür. Ortogonal seri, faktörlerin seviyelerini kapsayacak şekilde seçilir. Ana faktörlerin ve etkileşimlerin hangi sütunlara yerleştirileceği, ortogonal seriler ile beraber tanımlanmış doğrusal etkileşim grafiklerine göre yapılır. Ortogonal serinin tüm sütunları doldurulamaz ise, boş bırakılır.

4.2 Taguchi Yöntemlerinde Veri Analizi

Taguchi yöntemlerinde, varyans analizi (ANOVA), ana etkiler grafiği ile etkileşim grafikleri, en iyileme (optimizasyon) ve beklenen etki öngörüsü sıkça kullanılan veri analiz teknikleridir. Varyans Analizi; test edilen verilerin ortalama değişimlerini istatistiksel temele dayanarak inceleyen nesnel karar verme aracıdır (Ross, 1996). Varyans analizinin kullanımı, Taguchi yöntemlerinde ve klasik deney tasarımlarında aynıdır. İlk adımda kareler toplamı hesaplanır. İkinci adımda kareler ortalaması hesaplanır ve tablolandır. Kareler ortalaması, kareler toplamının serbestlik derecesine bölünmesi ile bulunur. Ana etkiler grafikleri farklı seviyelerde faktörlerin her birinin çıktı ortalamalarının grafiğidir. Etkileşim grafiklerinde ise faktörlerin etkileşimleri ve kesişimleri incelenir. Beklenen etki öngörüsü; seviyelerine göre faktör kombinasyonlarından en iyi sonucu verenin bulunmasıdır.

4.3 Robust Parametre Tasarımı

Üretim modeline paralel olarak sisteme yapılan girdiler, süreç boyunca kontrol edilebilen ve kontrol edilemeyen faktörlerin etkisi altında kalarak çıktıya dönüşürler. Tüm faktörler ürün (çıktı) kalite karakteristiğini şekillenmesinde etkilidir. Belirtilen üretim süreci Şekil 4.5'te verilmiştir.



Şekil 4.2: Üretim Süreci

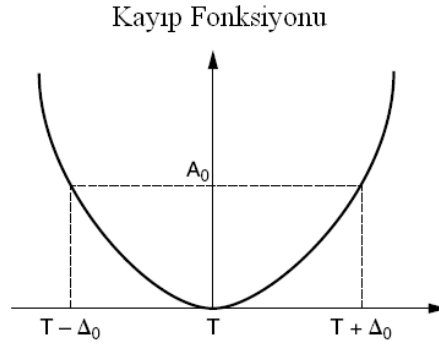
Girdiler (Sinyal faktörleri - M) üretici veya kullanıcı tarafından belirlenen, üründen vermesi beklenen değerlerdir. Serinlemek için kullanılan masa vantilatöründen gelecek hava miktarını arttırmak için, pervane süratini arttırmak gerekir. Hız ayarı, sisteme gönderilen girdidir (Phadke, 1989). Vantilatörün, çok az etkilese de, sürtünmeyi artırarak istenen hızda dönmesini engelleyecek ortamdaki toz miktarı gürültü olarak değerlendirilebilir. Kontrol edilemeyen faktörler (Gürültü - Z); tasarımcıların kontrolü altında olmayan, kontrol edilmesi çok güç veya çok pahalı olan, üründen ürüne ve zamandan zamana farklılık gösteren, sinyal faktörüne gelecek sistem cevabını hedeflenen çıktıdan uzaklaştıran etkenlerdir (Phadke, 1989). Parametre tasarımının amacı ürünün gürültü faktörlerinden etkilenmeyecek şekilde kontrol edilebilen faktörlerin ayarlanmasını sağlamaktır. Toz girmesini engelleyecek tasarım gürültü faktöründen etkilenmeyecek bir vantilatör ortaya çıkartacaktır. Kontrol edilebilen faktörler (X), tasarımcılar tarafından belirlenirler. Ürünün hangi malzeme ile yapılacağı, hangi sıcaklıkta boyanacağı gibi faktörler tasarımcıların kontrolü altındadır. Vantilatörün kayış ve dişlilerinin mukavemeti bu faktörlere örnek olarak verilebilir.

4.4 Kayıp Fonksiyonu

Taguchi kaliteyi ölçmek için bir kayıp fonksiyonu tanımlamıştır. Kalite kayıp fonksiyonu, sürekli fonksiyon olup tasarlanmış bir parametrenin ideal hedef çıktıdan sapmalarını ölçer.

$$L = kE(\sigma - T)^2$$

Fonksiyonda: L , kalite kaybı; k , kalite kaybı katsayısı; E , beklenen değer; T , hedeflenen ideal değer olarak verilmiştir. Robust tasarımın amacı kalite kaybının en küçüklenmesidir. Kalite kayıp fonksiyonu Şekil 4.3'te verilmiştir. Taguchi'ye göre y performans göstergesinden herhangi bir sapma kalite kaybına yol açacak ve ideal değerden sapmalar kullanıcıların memnuniyetsizliği arttıracaktır (Kai Yang and Basem El-Haik, 2003).



Şekil 4.3: Kayıp Fonksiyonu Grafiği

Taguchi, Robust tasarımında iç (Inner Array) ve dış (Outer Array) seriler kullanır. İç ortogonal seri kontrol edilebilir faktörlerin serisini, dış ortogonal seri ise incelenmekte olan gürültü faktörlerini içermektedir.

Bu iki serinin birleştirilmesi ile deneyde kullanılacak faktörlerin değişik seviyelerindeki kombinasyonları oluşturulur. Seçilen kontrol edilebilen faktörler, tüm

gürültü faktörlerinin kombinasyonları ile sistemli bir şekilde test edilir. Analiz aşamasında ortalama çıktı/cevap (mean response) ve standart sapmalar hesaplanır.

Tercih edilen faktör seviyesi vektörü Sinyal-Gürültü oranı (Signal-to-Noise Ratio: S/N) analizi ile belirlenir. Ortamda herhangi bir gürültü faktörü yok ise, sisteme giren sinyal sistemden tepkisini hiçbir değişime uğramadan hep aynı şekilde alacaktır. Sisteme etki eden bir gürültü sinyali olduğunu düşünülürse, gürültü faktörünün gücü ile orantılı olarak çıktılarda değişimler oluşmaya başlayacaktır. İyi bir iletişim sistemi hedefleniyorsa, gürültü faktörü etkisi en aza indirilmelidir. Bu noktada S/N bir kalite karakteristiği göstergesi olarak kullanılır; μ^2 - Sinyal Gücü , σ^2 - Gürültü Gücü iken; $S/N = \mu^2 / \sigma^2$ oranı ne kadar büyük olursa iletişim kalitesi de o derece iyi olacaktır. (Kai Yang and Basem El-Haik, 2003). Elektronikte S/N oranını kalite karakteristiği olarak, $\mu = E(y)$, $\sigma^2 = \text{Var}(y)$ şeklinde dikkate alınır ve aşağıda olduğu gibi gösterilir.

$$\frac{S}{N} = 10 \log \left(\frac{\mu^2}{\sigma^2} \right)$$

Amaçlanan performansa dayanan analizler, nominal en iyi (Nominal-the-best), küçük iyi (Smaller-the-better), büyük iyi (Larger-the-better) olarak incelenir.

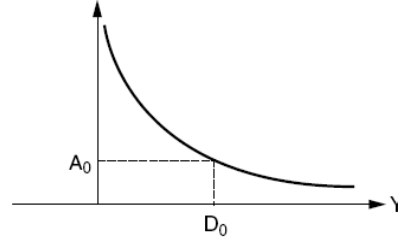
4.5.1 Nominal en iyi

Kalite kaybı fonksiyonu y değeri için hedeflenen sonlu bir değer T değeri olduğu sürece her zaman uygulanabilir. Bu amaç değerden uzaklaşmalar kalite kaybına yol açacaktır. Nominal en iyi grafiği şekil 4.3 te verilmiştir.

4.5.2 Büyük iyi

Bazı kalite karakteristikleri için; örneğin kaynak noktalarının mukavemetleri; ideal amaç her zaman sonsuzdur. Deneylerden elde edilen y değerleri kümesi $\{y_1, y_2, \dots, y_n\}$ için ortalama kareler sapması (MSD) dikkate alındığında S/N aşağıdaki gibi belirlenir. Bu duruma uygun kayıp fonksiyonu Şekil 4.4'te verilmiştir.

$$\frac{S}{N} = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right)$$



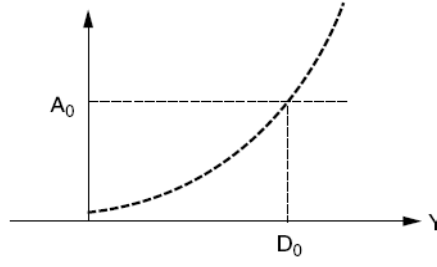
Şekil 4.4 Büyük İyi İçin Kayıp Fonksiyonu

4.5.3 Küçük iyi

Bazı kalite karakteristikleri için; örneğin arıza sayısı, hata sayısı, mikrodalga fırınlarda yayılan radyoaktiflik; ideal amaç her zaman sıfırdır. Araba motorlarından bırakılan atık gazlar, bilgisayarların açılma zamanları gibi kalite karakteristiklerinde de her zaman en az hedeflenir. Bu tip durumlarda kalite kaybı fonksiyonunda T değeri sıfır kabul edilir (Şekil 4.11)

Gerçek hayatta $E(y^2)$ değeri sadece istatistiksel yöntemler ile tahmin edilebilir. Deneylerden elde edilen y değerleri kümesi $\{y_1, y_2, \dots, y_n\}$ için ortalama kareler sapması dikkate alındığında, S/N oranı aşağıdaki gibi belirlenir. Bu duruma uygun kayıp fonksiyonu Şekil 4.5'te verilmiştir.

$$\frac{S}{N} = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right)$$



Şekil 4.5: Küçük İyi İçin Kayıp Fonksiyonu

Küçük iyi karakteristiksel yaklaşımı kullanırken izlenecek adımlar şöyle sıralanabilir .(Kai Yang and Basem El-Haik; 2003);

- Çıktının, en iyilenmesi amaçlanan kalite karakteristiklerinin belirlenmesi.
- Kontrol faktörlerinin ve seviyelerinin belirlenmesi .
- Gürültü faktörlerinin belirlenmesi; bir çok faktör var ise bunların aralarında birleştirilerek gürültü faktör kombinasyonlarının belirlenmesi.
- İç-Dış serinin belirlenmesi; İç seri içine kontrol faktörlerinin yerleştirilmesi, dış seri içine gürültü faktörlerinin yerleştirilmesi.
- Deneylerin gerçekleştirilmesi.
- En iyi kontrol edilebilir faktör seviyelerinin belirlenmesi için S/N temeline dayanan istatistiksel analizlerin yapılması.
- En iyi kontrol faktör seviye kombinasyonunda çıktıların beklenen değerlerinin öngörülmesi ve çıkan sonuçların teyit edilmesi için doğrulama deneyinin yapılması.

Taguchi parametre tasarımı ile simülasyon deneyi tasarlanırken, Taguchi'nin İç-Dış Ortogonal seri tasarımından yararlanılmıştır. Taguchi tasarımında gürültü faktörleri dış seride, tasarım faktörleri ise iç seride değerlendirilmiştir. Simülasyon ortamında trafik yoğunluğu, meydan alçalma tipi ve tehdit yoğunluğu dış seride gürültü olarak, gece veya gündüz aydınlanma durumu, hava durumu, türbülans ve rüzgar durumları ise iç

seride kontrol edilebilir faktörler olarak değerlendirilmiştir. Pilot hatasının en iyilenmesinde en az hata amaçlandığı için tasarım karakteristiği seçilmiştir.

5. DENEY TASARIMI

Çevresel faktörlerin pilot hatalarına etkilerinin incelenmesi için tasarlanan deneylerin gerçekleştirilmesinde uçuş eğitimlerinde kullanılan bir simulatörden faydalanılmıştır.

5.1 Simulator

Sentetik eğitimler için geliştirilen simulatörlerde kullanılan benzetim programları ve uçak modelleri, pilotların ve pilot adayı öğrencilerin normal uçuş usullerini, acil durumlardaki usulleri, alet uçuş şartlarını ve taktiksel eğitimleri uygulamalı olarak deneyerek, yapılabilecek hataları yaşayarak öğrendikleri en değerli yardımcılardır. Bir işi öğrenmenin ve o işte uzman olmanın yolu, o işte karşılaşılabilecek problemler ile yüzleşmekten ve yapılabilecek hataları yapmaktan geçer. Havacılıkta hata lüksünün kesinlikle olmadığı düşünülür ise, simulatörlerde benzetimleri yapılan uçuş eğitimleri pilot hatası ve pilot tecrübesi arasındaki köprüyü rahatça kurarak, hayat kaybetme riski olmaksızın, pilotlara bu hata yapma lüksünü verecektir.

Simulatör teknolojileri hızla gelişmektedir. Uçuş eğitimi veren okullarda simulatör eğitimleri kanuna bağlanarak şart koşulmaktadır. Pilot lisansı almak isteyen her kişi eğitimi süresince simulatörlerde belli sayıda görev uçmak zorundadırlar.

Uçaklar, kullandıkları sistemler ve tasarım gereği birbirinden farklıdır. Pilotlar uçacakları uçağın tipine uygun tasarlanmış simulatörde eğitim alırlar. Simulatörlerin yetenekleri ve limitleri de farklılık gösterir. Simulatörler gelişen bilgisayar teknolojileri ve benzetim teknikleri ile desteklenen büyük bir ticari sektör haline gelmiştir.

Pilotlara uçuş eğitimi verilen simulatörler, fiziksel olarak uçak kokpitinin birebir modeli, yöntemsel ve duruma dayalı senaryoların benzetilip uçuculara sunulduğu yönetim bilgisayarı ile konsolu ve tüm uçuşun görselinin gerçekleştiği ekran sisteminden oluşur. Yönetim konsolunda uçağın içerisindeki tüm saat ve göstergelerin durumlarını görebilmek, uçağın uçuğu ortamı anında değiştirebilmek, senaryo üzerinde

değişiklik yapabilmek mümkündür. Pilot kumanda girdileri ve uçağın benzetilmiş tepkisinin takibi ile uçulan rota ve alet alçalma planlarının nasıl uygulandığının görev sonu değerlendirilmesi için yazıcılardan döküm almak mümkündür.

Tezin konusu olan çevresel faktörlerin etkilerini incelemek için tasarlanan deneyde bu faktörler, kullanılacak simulatörün benzetim limitleri göz önünde bulundurularak, rüzgar, gece-gündüz, türbülans, trafik, tehdit, alçalma meydanı ve meteoroloji olarak belirlenmiştir. Deneyde, simulatör görevinde, alet alçalması sırasında pilotların tasarlanan her deney adımının gerektirdiği çevresel şart kombinasyonu içerisinde sürat saati, durum cayrosu, irtifa, uçuş rota başı ve alçalış-tırmanış oranı parametrelerinde yaptığı toplam hata sayıları sınanmıştır.

5.2 Temel Alet Uçuşu

Uçak, uzaydaki pozisyonunu muhafaza etmek için kumanda yüzeylerinden girdiler ve motor gücünün gerektiği kadar kullanılması ile uçurulur. Uçak pozisyonu kumanda yüzeyleri ile yatay (Lateral), dikey (Vertical) ve burun istikameti (Longitudinal) ekseninde, motor gücü de AOA (Angle Of Attack) yani hücum açısı ve toplam sürtünme dengesini sağlamak için gaz kolu ile kontrol edilmektedir. Kontrol ve performans yaklaşımında pilotun uçak kokpitinde kullandığı uçuş aletleri üç guruba ayrılmaktadır.

5.2.1 Kontrol aletleri

Bu gruptaki aletler uçağın uzaysal pozisyon bilgisini ve motor gücü ayarlarını sürekli olarak pilota bildiriler. Havacılıkta motor gücü terimi yerine genellikle takat kullanılır. Uçaktaki takat ile toplam sürtünme arasındaki denge ilişkisi uçuş aerodinamiğinin temel konulardan birisidir.

Pozisyon bilgileri uçaktaki durum cayrolarından AI (Attitude Indicator) devamlı takip edilmektedir. Uçak takat değerleri ise RPM (Revolution Per Minute), yakıt akış miktar göstergeleri, EPR (Engine Pressure Ratio), manifold basınç göstergesi gibi saatlerden okunabilmektedir (AFMAN 11-217,2000).

5.2.2 Performans aletleri

Bu gruptaki aletler, pilot tarafından verilen kumanda ve takat girdileri sonucu uçağın hızı, tırmanış oranı, uçuğu rota başı, AOA değeri ve dönüş kayış değerlerini gösterirler. Pilotun performansı bu çıktıları ne kadar başarı ile korunduğıyla doğru orantılıdır. Hava trafik kuralları gereğı uçuşması gereken irtifaların, uçuşması gereken rota başlarının, süratlerin ve tırmanış alçalış oranlarının hepsi uçak performans aletleri yardımı ile takip edilir. Pilot hatası kabul edilen değerler bu kuralların ihlal edilmesidir.

5.2.3 Seyrüsefer aletleri

Uçağın, pilot tarafından seçilen seyrüsefer yer istasyonuna (TACAN - Tactical Air Navigation, VOR - VHF Omnidirection, VORTAC, NDB - None directional Beacon gibi) alet yaklaşma sistemine göre durum bilgisini gösteren alet gurubudur. Hava trafik kuralları gereğı uçuşması gereken rotalar, meydanlara yapılacak inişlerde kullanılacak alet alçalmaları, meydanları kalkıştan sonra terk ederken kullanılacak standart tırmanış usulleri, alçalışta kullanılacak süzölüş ve yer izi takip alet alçalma sistemleri (ILS – Instrument Landing System) yeryüzünde konuşlandırılmış istasyonlara göre verilen radyal ve mesafeler yardımı ile belirlenmiştir. Gelişen teknolojiler sayesinde küresel konumlama sistemi kullanılarak da alet usulleri uygulanabilmektedir.

5.2.4 Kontrol ve performans yaklaşımı

Pilotlar uçak kontrolünü sağlarken üç temel adımdan yararlanırlar. İlk adımda uçağı kumanda yüzeylerini kullanarak uçuşmasını isteğı pozisyona getirirler. İkinci adımda yatış açısı, tırmanış açısı gibi istenen pozisyon sağlandığında, pozisyonu muhafaza etmesi için uçağın kontrol yüzeylerindeki karşı kuvveti ortadan kaldırmak için TRIM yaparlar. TRIM işlemi pilotun uçak kumandasında güç harcamadan üçüncü adıma geçmesine yardımcı olur. Son adım olarak istenen kumanda girdilerinin performans aletlerinden istenen sonucu verip vermediğı çapraz kontrole alınır. Bu nokta pilot dikkatinin yoğun olması gereken noktadır. Çapraz kontrolün zayıfladığı anlarda amaçlanan irtifalarda, rota başlarında, alçalış oranlarında hatalarla karşılaşılabilir. İstenen performans elde edilemiyorsa pilot uçağı kumanda vererek olması gereken yere

getirir ve üç adım tekrar başlar. Bu döngü, uçak motor çalıştırmasından başlayarak motor susturuncaya kadar devam eder.

5.2.5 Çapraz kontrol

Uçağın istenen performansı veya pozisyonu muhafaza etmesi için pilot kumanda ve takat ayarı yapar. Uçağın bu girdilere nasıl cevap verdiğinin kontrolü pilot tarafından göstergeler üzerinden sürekli olarak yapılır. Çapraz kontrol pilotun dikkatini hangi uçuş aletine yoğunlaştıracığının sıralandırmasıdır. Dikkat, gerekli aletlere gerektiği süreye yoğunlaşarak, tüm aletleri sırayla göz gezdirerek paylaşılır. Kontrol ve performans aletleri arasında yapılan bu kontrol akış sıralandırması uçuş boyunca devam eder. Pilotun hata yapabileceği yoğun iş yükünün olduğu hassas nokta burasıdır. Pilotun dikkatini dağıtabilecek her etken çapraz kontrolün zayıflamasına sebep olabileceği için, performans hataları ortaya çıkabilecektir.

5.2.6 Çapraz kontrolü etkileyen faktörler

Çapraz kontrolü etkileyen ilk faktör uçak içerisindeki aletlerin verilen girdilere gösterdikleri reaksiyon zamanıdır. Kontrol aletleri değişimlere direk ve anında reaksiyon vererek pilota bilgiyi gösterirler. Performans aletlerindeki reaksiyonlar ise kontrol veya takat ile ilgili aletlere göre, çok kısa da olsa, gecikmeli olarak pilota gösterilirler. Ataletsel hızlar ve bazı sistemlerin mekanik gecikmelerinden dolayı kaynaklanan bu gecikmeler uçuş esnasında göz önünde bulundurulur. Tırmanışa geçen uçakta altimetrede gösterimin çok kısa da olsa bir gecikmeyle başladığını pilot bilir ve düz uçuşa geçmek için hedeflenen irtifaya gelirken kademeli olarak tırmanış oranını düşürür ve düz uçuşa geçerken önlemeli olarak uçak burnunu ufka paralel duruma getirir. Uçaktaki takat ve kumanda girdilerinde durum ve kontrol aletlerindeki gösterimlerde çok uzun gecikmeler olmaz.

Çapraz kontrol çevresel etkenler ile de zayıflayabilir. Uçak içerisinde bir ikaz lambasının yanması, telsiz konuşmalarından kaynaklanan karışıklıklar, türbülans, aşırı sıcak veya soğuk ortam dikkatin dağılmasına ve çapraz kontrolün zayıflamasına sebep olabilir. Zayıf çapraz kontrol pilot performansına usul veya uygulama hatası olarak yansıyacaktır.

5.3 Deneyde Kullanılan Çevresel Koşullar

Simulator ortamında uçuşacak görevlerde oluşturulacak çevresel koşullar türbülanslı hava, gece gündüz uçuş ortamı, bulut içerisinde veya bulutsuz ortamda uçuş, yan rüzgarlı durumlarda uçuş, tehdit ortamında uçuş ve yoğun trafik ortamında uçuş olarak belirlenmiştir.

5.3.1 Türbülans

Uçak irtifasında önemli değişikliklere neden olan, dikine akışlarla sistematik irtifa değişiklikleri olmaksızın meydana gelen hava akışıdır. Diğer bir ifadeyle; atmosferdeki normal hava akımı içinde, düzensiz bir dağılım gösteren aşağı ve yukarı doğru dikine hareketlere veya anafollara türbülans denir. Uçuş esnasında pilotun kumanda girdileri olmaksızın uçuş performansını değiştirecek etki yaratır.

Deney tasarımında uçuşa etken olabilecek türbülans faktörü iki seviyeli olarak “türbülans var” veya “türbülans yok” olarak değerlendirilmiştir. Seviyeler faktörün düşük seviyesi 0 için, türbülans var, faktörün yüksek seviyesi 1 için, türbülans yok olarak tasarlanmıştır.

5.3.2. Gece-Gündüz

Gece uçuşlarında doğal olarak görüş gündüz uçuşlarından çok kısıtlıdır. Uçuşun kalkış ve iniş safhası haricinde tüm uçuş boyunca pilot aletlerle uçmak zorunda kalacaktır.

Deney tasarımında uçuşa etken olabilecek iki seviyeli faktör, gece ve gündüz uçuş olarak alınmıştır. Seviyeler faktörün düşük seviyesi 0 için, gece uçuşu, faktörün yüksek seviyesi 1 için, gündüz uçuşu olarak tasarlanmıştır.

5.3.3. IMC-VMC

Meteorolojik şartlar görerek yapılan uçuşları kısıtlayacak durumlar yaratabilir. Görüşü kısıtlayan sis veya bulut katmanları alet uçuşuna geçmeyi gerektiren çevresel etkenlerdir.

Deney tasarımında uçuşa etken olabilecek iki seviyeli faktör alet uçuş meteorolojik şartları IMC (Instrument Meteorological Condition) ve görerek uçuş şartları VMC (Visual Meteorological Condition) olarak kabul edilmiştir. Seviyeler faktörün düşük seviyesi 0 için, IMC, faktörün yüksek seviyesi 1 için, VMC olarak tasarlanmıştır.

5.3.4 Yan rüzgar

Alet alçalması yapılırken, planlı rota başlarını, gerekli ark bacaklarını ve noktadan noktaya seyrüseferi hassas yapmak çok önemlidir. Hesaplamalar yapılırken pilotlar yan rüzgarı da dikkate almaları gerekir. Uygulamada hata yaparak yan rüzgarı göz ardı eden pilot uçağı istediğı şekilde uçması gereken rotada tutamayabilir. Uçağın tam 90 derecesinden gelecek rüzgar bileşeni uçağı uçtuğı rotadan uzaklaştıracak etki yapacaktır.

Deney tasarımında uçuşa etken olabilecek rüzgar faktörü, iki seviyeli planlanmış ve yaklaşmayı yapan uçağı göre tam 90 derecesinden veya tam 180 derecesinden gelecek şekilde benzetilmiştir. Seviyeler faktörün düşük seviyesi 0 için, 90 dereceden rüzgar, faktörün yüksek seviyesi 1 için, 180 dereceden rüzgar olarak tasarlanmıştır.

5.3.5. Tehdit

Uçak içerisinde pilotun dikkatini dağıtabilecek faktörlerden birisi de uyarı ikazı veren sistemlerdir. İkaz sistemleri pilotu sesli görsel veya titreşim yolu ile uyarır.

Deney tasarımında uçuşa etken olabilecek radar ikaz alıcısından (RWR-Radar Warning Receiver) alınan sesli uyarılar, dikkat dağıtıcı gürültü faktörü kabul edilip iki seviyeli var veya yok olarak değerlendirilmiştir.

5.3.6 Telsiz konuşmaları

Uçulan bölgede trafik yoğunluğuna bağlı olarak çok yoğun telsiz konuşması yapmak gerekebilir. Pilotun telsiz kanallarını sıkça değiştirmesi gerekir ise çapraz kontrolü zayıflayabilir. Çevresinde uçan diğer trafiklerin yaptığı telsiz konuşmaları ve hava trafik kontrolörünün diğer trafiklere verdiği talimatlar da pilotun dikkatini paylaşırması gereken önemli noktalardır.

Deney tasarımında uçuşa etken olabilecek yoğun trafik ortamı gürültü faktörü olarak değerlendirilmiş, konsoldan 10-15 sn. aralıklarla verilen talimatlar ve kanal değişiklikleri ile benzetilmiştir. Bu çevresel faktör iki seviyeli var veya yok olarak değerlendirilmiştir. Yok olduğu ortamda telsiz konuşmaları gerektiği pilota normal bir yaklaşımda sadece gerektiği kadar bilgi aktararak yapılmıştır.

5.3.7 Alet alçalması

Bir hava meydanının alet alçalması, o meydana inişte uçulması mecbur olan standart usullerin yayınladığı dokümandır. Havacılık otoriteleri tarafından düzenli olarak yenilenir. Kurallar, TACAN, VOR, NDB gibi seyrüsefer yardımcılarının meydana konuş ve kuruluşlarına göre, bölgenin coğrafik şekilleri de göz önünde bulundurularak, pilotların yolunu belirler. Bu yol gayet karmaşık olabileceği gibi, düz arazili bölgelerde engel olmadığı için direk yaklaşmalı planlanabilir.

Deney tasarımında uçuşa etken olabilecek alet alçalması, gürültü faktörü olarak kabul edilerek iki seviyeli planlanmış ve yaklaşmanın karmaşık veya az karmaşık olması değerlendirmesine dayandırılmıştır. Karmaşık yaklaşımlarda ark veya kaide dönüşü olan yaklaşımlar seçilmiştir. Direk - düz yaklaşımlar kolay kabul edilmiştir.

5.4 Performans

Pilotların hatalarının takibi için performans göstergeleri sürat saati, irtifa, alçalış tırmanış oranı, uçuş başı ve durum cayrosu hakimiyeti olarak belirlenmiştir.

5.4.1 Sürat saati (AIRSPEED)

Sürat saati ölçümleri, uçak üzerinde bulunan hareketten doğan basıncın, uçulan irtifada ortamın statik hava basıncı ile karşılaştırılması ile ölçülür. Bu iki basınç arasındaki fark dinamik basınçtır. Sürat göstergesi içerisindeki hassas diyaframa hareketten doğan basınç yansıtılır. Saatin gövdesi içinde uçak gövdesinde bulunan statik basınç deliklerinden alınan sabit basınç, hassas mekanik bağlantılar ile diyafram üzerindeki basınçla karşılaştırılarak ölçeklendirilmiş şekilde sürat saatinde pilota işari hava sürati olarak gösterilir. Hava sürati birimi kalibre edilmiş (CAS: Calibrated Air Speed) olarak deniz mili (KNOT) biriminde gösterilir. Pilot uçuşu gereken süratleri CAS olarak, skala üzerinden takip eder. Deney sırasında pilotlar, alet alçalmalarında uçuşu gereken süratlerin ± 5 KNOT dışına çıktıklarında bir hata yapmış kabul edilmişlerdir. Örneğin; Alçalışta, 200 Knot ile uçuşu gereken bir bölümde sürat saatinde pilotun uçuşu gereken aralık 205 Knot -195 Knot arasında olduğu kabul edilmiştir. Sürat saati Şekil 5.1’de gösterilmiştir.



Şekil 5.1: Sürat saati göstergesi

5.4.2 İrtifa (ALTITUDE)

Uçuşun yapıldığı irtifa, statik hava basıncına göre hesaplanarak, Altimetre saati ile pilota gösterilir. Uçak gövdesi üzerinde bulunan statik hava deliklerinden alınan hava basıncı, altimetre üzerindeki diyaframa yansıtılarak mekanik bağlantılar ile saat üzerine yansıtılır. İrtifa için Feet birimi kullanılır. Pilot alet alçalması esnasında uçuşu gereken irtifaların ± 75 Feet dışına çıktığında bir hata yapmış kabul edilmiştir. Özellikle belirtilmiş minimum bir irtifa limiti, (FAF, Final Approach Fix; MDA Minimum Descent Altitude) altındaki herhangi bir değer; -75 Feet limitine bakılmadan, bir hata kabul edilmiştir. Örneğin; Alçalışta, 1500 Feet düz uçuş gereken bir bölümde

pilot 1575 Feet – 14725 Feet aralığında uçağı kontrol edemiyorsa bir hata yapmış kabul edilir. İrtifa göstergesi olarak kullanılan irtifa göstergesi Şekil 5.2’te verilmiştir.



Şekil 5.2 : İrtifa göstergesi - Altimetre

5.4.3 Alçalış-Tırmanış hızı (VVI-VERTICAL VELOCITY INDICATOR)

Dikey sürat göstergesi (VVI), pilota alçalış ve tırmanış oranı feet / dakika cinsinden gösterir. VVI. Pilot gidecekleri mesafe için verecekleri irtifa miktarından yola çıkarak, kat edilecek mil başına irtifayı hesaplar. Pilotlar, gidilecek mesafe için uçulan yer süratine göre gereken zamanı hesaplar ve bu zamanda kaybedilecek irtifa için gerekli alçalış süratini kullanırlar. Deneyde, alçalmaya ilk başlama noktasından (IAF; Initial Approach Fix) itibaren ve iniş öncesi uçak ağırlığına göre ayarlanan son yaklaşma süratine göre hesaplanan VVI değerinden +/-200 fpm farklı değerde alçalış yapan pilotlar bir hata yapmış kabul edilmiştir. Dikey hız göstergesi Şekil 5.3’te verilmiştir.



Şekil 5.3: Dikey hız göstergesi-VVI

5.4.4 Durum cayrosu (ADI – ATTITUDE INDICATOR)

Durum cayrosu, uçağın uçuş eksenlerinde yatış, tırmanış ve alçalış pozisyonunu, yapay ufuk hattı üzerinden pilota gösterir. Pilotlar yatış açılarını tepe indeksinden, ufka olan alçalış ve tırmanış açılarını cayro küresi üzerindeki referans çizgilerinden takip ederler. Genel olarak hesaplanan VVI değerlerini ayarlamak için dalış tırmanış üzerinden, rotada uçulacak baş dereceleri içinse yatış dereceleri kullanılır. Yatış ve alçalış / tırmanış kumandaları birbirlerini tamamlayacak şekilde koordineli olarak kullanılır. Durum cayrosu hataları değerlendirilirken uçuşun genel akışı göz önünde bulundurulmuştur. Örneğim; hesaplanan VVI derecesini muhafaza edecek dalış açısı +/- 2 derece içinde yapılmamışsa, iniş konfigürasyonu sağlandığında yapılacak dönüşler için kullanılacak yatış açısı 15 derecenin üstünde kullanıldığında pilot bir hata yapmış kabul edilmiştir. Durum cayrosu göstergesi Şekil 5.4'te verilmiştir.



Şekil 5.4 : Durum cayrosu göstergesi-ADI

5.4.5 Uçuş rota başı (HEADING)

Uçuş rota başı, uçaktaki manyetik kuzey sensörleri yardımı ile belirlenir. Uçak ataletsel seyrüsefer sistemlerinden aldığı manyetik baş bilgilerini manyetik sapmaları da hesaplayarak manyetik pusula üzerinde gösterir. Alet uçuşunda, TACAN alçalmalarında kullanılan seyrüsefer yardımcı sistemlerinin bilgileri ile uçak manyetik uçuş başının iç içe geçmiş şekilde gösterildiği saat ufki baş durum göstergesi (HSI; Horizontal Situation Indicator), tepe indeksinin altında derece cinsinden hangi rota derecede uçulduğunu, ve kadran ile de seçilen seyrüsefer istasyonun uçağa göre yerini derece olarak gösterir. Pilot uçuş esnasında, alçalma planlarında belirlenmiş rota

başlarından ± 2 derece farklı bir başta uçtuğunda hata yapmış kabul edilmiştir. Uçuş rota başı göstergesi Şekil 5.5’te verilmiştir.



Şekil 5.5: Uçuş rota başı göstergesi

5.5 Deneyler

Gürültü faktörleri olarak kabul edilen telsiz konuşmaları, trafik yoğunluğu ve alet alçalması faktörleri dış seri seviyeleri Çizelge 5.1 de verilmiştir.

Çizelge 5.1: Gürültü Faktörleri Matrisi (Dış Seri)

Sıra	Trafik Yoğunluğu	Tehdit	Alet Alçalması
1	0 - Yok	0 - Yok	0 - Kolay
2	0 - Yok	1 - Var	1 - Zor
3	1 - Var	0 - Yok	1 - Zor
4	1 - Var	1 - Var	0 - Kolay

Taguchi yöntemleri kullanılarak tasarlanan deneyde rüzgar, gece-gündüz, IMC-VMC ve türbülans ana faktörleri iç seri (Inner Array) seviyeleri Çizelge 5.2’de verilmiştir.

Çizelge 5.2: Ana Faktörler Matrisi (İç Seri)

	A	B	C	D
SIRA	RÜZGAR	IMCVMC	GECE GÜN	TÜRB.
1	0 - 90	0 - IMC	0 - GECE	0 - VAR
2	0 - 90	0 - IMC	0 - GECE	1 - YOK
3	0 - 90	0 - IMC	1 - GÜN	0 - VAR
4	0 - 90	0 - IMC	1 - GÜN	1 - YOK
5	0 - 90	1 - VMC	0 - GECE	0 - VAR
6	0 - 90	1 - VMC	0 - GECE	1 - YOK
7	0 - 90	1 - VMC	1 - GÜN	0 - VAR
8	0 - 90	1 - VMC	1 - GÜN	1 - YOK
9	1 -180	0 - IMC	0 - GECE	0 - VAR
10	1 -180	0 - IMC	0 - GECE	1 - YOK
11	1 -180	0 - IMC	1 - GÜN	0 - VAR
12	1 -180	0 - IMC	1 - GÜN	1 - YOK
13	1 -180	1 - VMC	0 - GECE	0 - VAR
14	1 -180	1 - VMC	0 - GECE	1 - YOK
15	1 -180	1 - VMC	1 - GÜN	0 - VAR
16	1 -180	1 - VMC	1 - GÜN	1 - YOK

İç seride tasarlanan 16 değişik çevresel durum kombinasyonu, dış seride tasarlanan 4 değişik gürültü faktör kombinasyonu ile sırayla eşleştirilerek, toplam 64 değişik ortam tasarlanmış ve simulatörde her biri bir alet yaklaşmasında denenecek şekilde uçuş tecrübesi birbirine çok yakın pilotlara uygulanmıştır.

Alçalmalar sırasında, sürat saati, altimetre, ADI, varyometre ve HSI gözlenerek, her performans göstergesinde yapılan hatalar kayıt edilmiştir. Deneyler sonucunda elde edilen verilerin gürültü etkisi altındaki sinyal değerleri, iç serideki karşılık sırasına göre Çizelge 5.3'te verilmiştir.

Çizelge 5.3: Deneylerin Sinyal/Gürültü Değerleri

Sürat	İrtifa	ADI	Heading	VVI
-12,1085	3,0103	-0,9691	-9,42008	-11,3033
-11,6879	1,249387	3,0103	-3,9794	-12,4304
-10,7004	3,0103	1,249387	-11,3033	-7,40363
-10,2119	6,0206	6,0206	1,249387	-4,77121
-11,3033	3,0103	6,0206	-12,4304	-9,29419
-12,3045	-4,77121	3,0103	0	-3,9794
-8,75061	-5,74031	3,0103	-5,11883	-10,8814
-10,2119	3,0103	3,0103	0	-3,52183
-13,5218	6,0206	3,0103	-6,53213	-7,9588
-9,42008	-3,9794	20	-1,76091	-4,77121
-11,3033	-1,76091	-1,76091	-5,11883	-11,6879
-11,6879	-1,76091	6,0206	-5,74031	-5,44068
-10,2119	1,249387	-2,43038	-5,74031	-9,16454
-10,3141	6,0206	1,249387	-3,9794	-10,5115
-11,0551	1,249387	-1,76091	-8,75061	-8,12913
-10,4139	-0,9691	3,0103	-1,76091	-5,11883

6. DENEYLERİN ANALİZİ

Analizlerde her performans ölçütüne ait ilk çizelgeler, dikkate alınan dört ana faktör ve ana faktörlerin ikinci ve daha yüksek mertebeden etkileşimlerine ilişkin ortalama etkilerini, varyans analizi tablosunda yer alacak kareler toplamalarını ve her bir faktör ve/veya etkileşimlerin toplamı kareler toplamı içindeki katkı değerlerini içermektedir. Taguchi yöntemine göre, kareler toplamaları veya yüzde katkı değerleri küçük olan faktör ve/veya etkileşimler, kritik etki yaratmayacakları düşüncesiyle hata terimine aktarılabilmektedir. Hangi faktör ve/veya etkileşimlerin hata terimine aktarılacağına karar verirken; yüzde katkı değerleri seçilen bir kritik değerin altında olanların otomatik olarak veya önemli etki yaratanların modelde tutulması biçiminde bir değerlendirme yapılabilir. Çok sayıda bileşenin hata terimine aktarılması, hata teriminin büyümesine neden olacağından, değişkenlik kontrol altına alınamayabilecektir.

Çizelgeler bu açıdan incelendiğinde, ortalama etkisi, kareler toplamı ve yüzde katkı değerleri açısından en düşük öneme sahip olan faktör ve etkileşimlerinin hata terimine aktarılması anlamlı görülenler belirlenmiştir. Belirtilen faktör ve etkileşimlerin hata terimine aktarıldıktan sonra, her bir performans göstergesi için gerçekleştirilen analizleri izleyen alt başlıklarda verilmiştir.

Genelde, faktörlerin uygun düzeyleri, faktör ve/veya etkileşimlerin düşük ve yüksek düzeylerine karşı gelen ortalamaların kullanımıyla oluşturulan ortalama etkiler grafikleri ile belirlenir. Ancak analizlerde kullanılan Design Expert programının, kritik etki yaratan bileşenlerin yer aldığı varyans analizi tablosunu dikkate alarak, seçilen performans göstergesinin iyileşme yönüne göre en uygun düzeyleri otomatik olarak belirleyen prosedürü sayesinde, ortalama etkiler grafikleri dikkate alınmamıştır.

6.1 Sürat Saati Performans Göstergesine İlişkin Analizler

Sürat saati performans göstergesi için yapılan analizlerden her bir faktör ve/veya etkileşim için elde edilen ortalama etkiler, kareler toplamaları (SS) ve % katkı de katkı değerleri Çizelge 6.1’de verilmiştir.

Çizelge 6.1: Sürat Saati Performans Göstergesine İlişkin Analiz Sonuçları

Bileşen	Ortalama Etki	SS	% Katkı
A	0.337852	0.45658	2.20489
B	0.817138	2.67085	12.8981
C	0.759569	2.30778	11.1447
D	-0.081139	0.02633	0.12717
AB	-0.516902	1.06875	5.16122
AC	-0.818714	2.68117	12.9479
AD	0.726185	2.10938	10.1866
BC	0.10843	0.04703	0.22711
BD	-1.06524	4.53893	21.9194
CD	0.224971	0.20245	0.97766
ABC	0.587712	1.38162	6.67212
ABD	-0.418838	0.70170	3.38866
ACD	0.024169	0.00234	0.01128
BCD	-0.331855	0.44051	2.12731
ABCD	0.719712	2.07194	10.0058

Çizelge 6.1 incelendiğinde; ortalama etkisi, kareler toplamı ve yüzde katkı değerleri açısından en düşük öneme sahip olan; D ana faktörü ile BC ve ACD etkileşimlerinin hata terimine aktarılması anlamlı görülmektedir.

Toplamda üç bileşenin hata terimine aktarıldığı Çizelge 6.2'deki varyans analizi tablosu incelendiğinde, CD bileşik etkisi (yatık yazı ile ve altı çizgili belirtilmiştir) dışında kalan tüm ana faktör ve etkileşimlerin %5 anlam düzeyinde kritik etki yarattıkları söylenebilir ($p < 0.05$). Bir başka ifadeyle; A, B, C ana faktörlerinin, AB, AC, AD, BD ikinci mertebeden etkileşimlerinin, ABC, ABD, BCD üçüncü mertebeden etkileşimlerin ve ABCD dördüncü mertebeden etkileşimin sürat saati performans göstergesinin belirleneceği tahmin denkleminde yer alması anlamlı görülmektedir.

Çizelge 6.2 : Sürat Saati Performans Göstergesi Varyans Analizi Tablosu

Kaynak	SS	sd	MS	F	p
A	0.46	1	0.46	18.09	0.0238
B	2.67	1	2.67	105.85	0.0020
C	2.31	1	2.31	91.46	0.0024
AB	1.07	1	1.07	42.36	0.0074
AC	2.68	1	2.68	106.26	0.0019
AD	2.11	1	2.11	83.60	0.0028
BD	4.54	1	4.54	179.88	0.0009
<u>CD</u>	<u>0.20</u>	<u>1</u>	<u>0.20</u>	<u>8.02</u>	<u>0.0661</u>
ABC	1.38	1	1.38	54.75	0.0051
ABD	0.70	1	0.70	27.81	0.0133
BCD	0.44	1	0.44	17.46	0.0250
ABCD	2.07	1	2.07	82.11	0.0028
Hata	0.076	3	0.025		
Toplam	20.71	15			

R²: 0.9963, Düz-R²: 0.9817

Kritik etki yarattığı belirlenen tüm bileşenlerin bulunduğu modelin belirlilik ve düzeltilmiş belirlilik katsayılarının, sırasıyla; %99.63 ve %98.17 olarak elde edilmesi, modelin tutarlı olduğunu göstermektedir. Bu kapsamda, sürat saati göstergesi için elde edilen tahmin denklemi,

Sürat Saati = -10.95 + 0.17*A + 0.41*B + 0.38*C - 0.26*AB - 0.41*AC + 0.36*AD - 0.53*BD + 0.11*CD + 0.29*ABC - 0.21*ABD - 0.17*BCD + 0.36*ABCD
şeklindedir.

Tahmin denkleminde yer alan sabit terim (-10.95) genel ortalama, faktör ve etkileşimlerin katsayısı olarak verilen değerler ise Çizelge 6.1'deki ortalama etki sütununda yer alan değerlerin yarısıdır (değerler xx.xx olacak şekilde yuvarlanmıştır). Kritik etki yaratan faktör ve etkileşimler için uygun düzeyler belirlendikten sonra sürat saati göstergesi tahmin edilebilmektedir.

A ve D faktörlerinin düşük düzeylerinde, B ve C faktörlerinin yüksek düzeylerinde olması halinde, sürat saati göstergesi için ortalama S/N oranının, 0.14 dB

(0.984 adet) standart hata ile -8.85857 dB (2.773 adet) seviyesinde gerçekleşeceği tahmin edilmiştir. Ayrıca, sürat saati göstergesinin %95 güven seviyesinde, -9.31 ile -8.40 dB (2.630 ile 2.921 adet) arasında değer alabileceği belirlenmiştir. A, B ve C faktörlerinin düşük, D faktörü yüksek düzeyinde olduğunda ise, ortalama S/N oranı 0.14 dB (0.984 adet) standart hata ile -13.5476 dB (4.758 adet) seviyesinde gerçekleşmiştir. Bu durum için %95 güven seviyesinde oluşturulan güven aralığı ise, -14.00 ile -13.09 dB (4.513 ile 5.012 adet) şeklindedir.

6.2 İrtifa Performans Göstergesine İlişkin Analizler

İrtifa performans göstergesi için yapılan analizlerden her bir faktör ve/veya etkileşim için elde edilen ortalama etkiler, kareler toplamaları (SS) ve % katkı de katkı değerleri Çizelge 6.3'te verilmiştir.

Çizelge 6.3 incelendiğinde; ortalama etkisi, kareler toplamı ve yüzde katkı değerleri açısından en düşük öneme sahip olan; A ve D ana faktörleri ile ABC ve BCD etkileşimlerinin hata terimine aktarılması anlamlı görülmektedir.

Çizelge 6.3 : İrtifa Performans Göstergesine İlişkin Analiz Sonuçları

Bileşen	Ortalama Etki	SS	% Katkı
A	-0.653598	1.70876	0.796452
B	-1.09383	4.78583	2.23067
C	-1.09383	4.78583	2.23067
D	-0.341252	0.465811	0.217114
AB	3.0392	36.9471	17.221
AC	1.53405	9.4133	4.38752
AD	-1.20822	5.83919	2.72164
BC	-0.895873	3.21036	1.49634
BD	-2.04435	16.7175	7.79202
CD	3.35155	44.9316	20.9425
ABC	-0.653598	1.70876	0.796452
ABD	-2.28663	20.9147	9.74831
ACD	1.60413	10.2929	4.7975
BCD	0.539205	1.16297	0.542057
ABCD	-3.59383	51.6624	24.0797

Toplamda dört bileşenin hata terimine aktarıldığı Çizelge 6.4'deki varyans analizi tablosu incelendiğinde, B ve C ana faktörleri ile AC, AD, BC, ACD etkileşimleri dışında kalan tüm ana faktör ve etkileşimlerin %5 anlam düzeyinde kritik etki yarattıkları söylenebilir ($p < 0.05$). Bir başka ifadeyle; AB, BD, CD ikinci mertebeden etkileşimlerinin, ABD üçüncü mertebeden etkileşimlerin ve ABCD dördüncü mertebeden etkileşimin irtifa performans göstergesinin belirleneceği tahmin denkleminde yer alması anlamlı görülmektedir.

Çizelge 6.4: İrtifa Performans Göstergesi Varyans Analizi Tablosu

Kaynak	SS	sd	MS	F	p
<u>B</u>	<u>4.79</u>	<u>1</u>	<u>4.79</u>	<u>3.79</u>	<u>0.1233</u>
<u>C</u>	<u>4.79</u>	<u>1</u>	<u>4.79</u>	<u>3.79</u>	<u>0.1233</u>
AB	36.95	1	36.95	29.29	0.0056
<u>AC</u>	<u>9.41</u>	<u>1</u>	<u>9.41</u>	<u>7.46</u>	<u>0.0524</u>
<u>AD</u>	<u>5.84</u>	<u>1</u>	<u>5.84</u>	<u>4.63</u>	<u>0.0978</u>
<u>BC</u>	<u>3.21</u>	<u>1</u>	<u>3.21</u>	<u>2.54</u>	<u>0.1859</u>
BD	16.72	1	16.72	13.25	0.0220
CD	44.93	1	44.93	35.62	0.0461
ABD	20.91	1	20.91	16.58	0.0152
<u>ACD</u>	<u>10.29</u>	<u>1</u>	<u>10.29</u>	<u>8.16</u>	<u>0.0641</u>
ABCD	51.66	1	51.66	40.95	0.0031
Hata	5.05	4	1.26		
Toplam	20.71	15			

R²: 0,9765, Düz-R²: 0.9118

Kritik etki yarattığı belirlenen tüm bileşenlerin bulunduğu modelin belirlilik ve düzeltilmiş belirlilik katsayılarının, sırasıyla; %97.65 ve %91.18 olarak elde edilmesi, modelin tutarlı olduğunu göstermektedir. Bu kapsamda, irtifa göstergesi için elde edilen tahmin denklemi,

İrtifa = +0.93 - 0.55* B - 0.55*C + 1.52*A*B + 0.77*A*C - 0.60*A*D - 0.45*B*C - 1.02*B*D + 1.68*C*D - 1.14*A*B*D + 0.80*A*C*D - 1.80*A*B*C*D
şeklindedir.

Tahmin denkleminde yer alan sabit terim (+0.93) genel ortalama, faktör ve etkileşimlerin katsayısı olarak verilen değerler ise Çizelge 6.3'deki ortalama etki sütununda yer alan değerlerin yarısıdır (değerler xx.xx olacak şekilde yuvarlanmıştır). Kritik etki yaratan faktör ve etkileşimler için uygun düzeyler belirlendikten irtifa göstergesi tahmin edilebilmektedir.

A, C ve D faktörlerinin yüksek, D faktörü düşük düzeyinde olduğunda ise, ortalama S/N oranı 0.97dB (0.894 adet) standart hata ile -6.461 dB (0,48adet) seviyesinde gerçekleşmiştir. Bu durum için %95 güven seviyesinde oluşturulan güven aralığı ise, 3.76 ile 9.16 dB (0.35 ile 0.65 adet) şeklindedir. A ve D faktörlerinin düşük düzeylerinde, B ve C faktörlerinin ise yüksek düzeylerinde olması halinde, irtifa göstergesi için ortalama S/N oranının, 0.97dB (0.894 adet) standart hata ile -6.29493 dB (2.064 adet) seviyesinde gerçekleşeceği tahmin edilmiştir. Ayrıca, irtifa göstergesinin %95 güven seviyesinde, -9.00 ile -3.59 dB (1.51 ile 2.82 adet) arasında değer alabileceği belirlenmiştir.

6.3 ADI Performans Göstergesine İlişkin Analizler

ADI performans göstergesi için yapılan analizlerden her bir faktör ve/veya etkileşim için elde edilen ortalama etkiler, kareler toplamaları (SS) ve % katkı de katkı değerleri Çizelge 6.5'te verilmiştir.

Çizelge 6.5 incelendiğinde, ortalama etkisi, kareler toplamı ve yüzde katkı değerleri açısından en düşük öneme sahip olan; D ana faktörü ile AB, ACD ve ABCD etkileşimlerinin hata terimine aktarılması anlamlı görülmektedir.

Toplamda dört bileşenin hata terimine aktarıldığı Çizelge 6.6'daki varyans analizi tablosu incelendiğinde, D ana faktörü ile AB, ACD ve ABCD etkileşimleri dışında kalan tüm ana faktör ve etkileşimlerin %5 anlam düzeyinde kritik etki yarattıkları söylenebilir ($p < 0.05$). Bir başka ifadeyle; A ve C ana faktörleri, AC, AD, BD, CD ikinci mertebeden etkileşimlerinin, BCD üçüncü mertebeden etkileşimlerin ve

ABCD dördüncü mertebeden etkileşimin ADI performans göstergesinin belirleneceği tahmin denkleminde yer alması anlamlı görülmektedir.

Çizelge 6.5: ADI Performans Göstergesine İlişkin Analiz Sonuçları

Bileşen	Ortalama Etki	SS	%Katkı
A	4,87	94,88	23,02
B	-1,76	12,43	3,02
C	-2,68	28,79	6,98
D	0,37	0,55	0,13
AB	-0,54	1,16	0,28
AC	-3,51	49,28	11,96
AD	3,44	47,20	11,45
BC	1,62	10,47	2,54
BD	-2,32	21,48	5,21
CD	-4,12	67,82	16,45
ABC	1,56	9,79	2,38
ABD	-1,49	8,88	2,15
ACD	-0,57	1,30	0,32
BCD	3,68	54,10	13,12
ABCD	1,01	4,08	0,99

Çizelge 6.6: ADI Performans Göstergesi Varyans Analizi Tablosu

Kaynak	SS	sd	MS	F	p
A	94,88	1,00	94,88	53,47	0.0019
B	12,43	1,00	12,43	7,00	0.0572
C	28,79	1,00	28,79	16,22	0.0158
AC	49,28	1,00	49,28	27,77	0.0062
AD	47,20	1,00	47,20	26,60	0.0067
BC	10,47	1,00	10,47	5,90	0.0721
BD	21,48	1,00	21,48	12,11	0.0254
CD	67,82	1,00	67,82	38,22	0.0035
ABC	9,79	1,00	9,79	5,52	0.0786
ABD	8,88	1,00	8,88	5,00	0.0889
BCD	54,10	1,00	54,10	30,49	0.0053
Hata	7,10	4,00	1,77		
Toplam	412,22	15,00			

R^2 : 0,9828, Düz- R^2 : 0.9354

Kritik etki yarattığı belirlenen tüm bileşenlerin bulunduğu modelin belirlilik ve düzeltilmiş belirlilik katsayılarının, sırasıyla; %98.28 ve %93.54 olarak elde edilmesi, modelin tutarlı olduğunu göstermektedir. Bu kapsamda, irtifa göstergesi için elde edilen tahmin denklemi,

$$ADI = +3.23 + 2.44 * A - 0.88 * B - 1.34 * C - 1.76 A * C + 1.72 * A * D - 0.81 * B * C - 1.16 * B * D - 2.06 * C * D + 0.78 * A * B * C - 0.74 * A * B * D + 1.84 * B * C * D$$

şeklindedir.

Tahmin denkleminde yer alan sabit terim (+3.23) genel ortalama, faktör ve etkileşimlerin katsayısı olarak verilen değerler ise Çizelge 6.5'deki ortalama etki sütununda yer alan değerlerin yarısıdır (değerler xx.xx olacak şekilde yuvarlanmıştır). Kritik etki yaratan faktör ve etkileşimler için uygun düzeyler belirlendikten irtifa göstergesi tahmin edilebilmektedir.

A ve D faktörlerinin yüksek, B ve C faktörlerinin düşük düzeyinde olması halinde, ortalama S/N oranı 1.15 dB (0.88 adet) standart hata ile 18,75 dB (0,12 adet) seviyesinde gerçekleşmiştir. Bu durum için %95 güven seviyesinde oluşturulan güven aralığı ise, 15.55 dB ile 21.96 dB (0.07 ile 0.17 adet) şeklindedir. A ve B faktörlerinin düşük düzeylerinde, C ve D faktörlerinin ise yüksek düzeylerinde olması halinde, ADI göstergesi için ortalama S/N oranının, 1.15 dB (0.88 adet) standart hata ile -3.13673 dB (1.435 adet) seviyesinde gerçekleşeceği tahmin edilmiştir. Ayrıca, ADI göstergesinin %95 güven seviyesinde, -6.34 ile 0.07 dB (1.00 ile 2.07 adet) arasında değer alabileceği belirlenmiştir.

6.4 Rota Baş Performans Göstergesine İlişkin Analizler

Rota başı performans göstergesi için yapılan analizlerden her bir faktör ve/veya etkileşim için elde edilen ortalama etkiler, kareler toplamaları (SS) ve % katkı de katkı değerleri Çizelge 6.7'de verilmiştir.

Çizelge 6.7 incelendiğinde, ortalama etkisi, kareler toplamı ve yüzde katkı değerleri açısından en düşük öneme sahip olan; D ana faktörü ile AB, AC, ABC, ABD ve BCD etkileşimlerinin hata terimine aktarılması anlamlı görülmektedir.

Çizelge 6.7: Rota Başı Performans Göstergesine İlişkin Analiz Sonuçları

Bileşen	Ortalama Etki	SS	%Katkı
A	6,06	146,67	60,08
B	0,91	3,33	1,36
C	0,60	1,46	0,60
D	0,20	0,16	0,07
AB	-0,05	0,01	0,00
AC	0,52	1,08	0,44
AD	-2,83	32,04	13,12
BC	0,72	2,06	0,84
BD	-1,75	12,28	5,03
CD	-0,87	3,05	1,25
ABC	-0,48	0,90	0,37
ABD	0,00	0,00	0,00
ACD	0,63	1,59	0,65
BCD	-0,27	0,30	0,12
ABCD	3,13	39,20	16,06

Toplamda altı bileşenin hata terimine aktarıldığı Çizelge 6.8'deki varyans analizi tablosu incelendiğinde, C ana faktörü ile BC ve ACD etkileşimleri dışında kalan tüm ana faktör ve etkileşimlerin %5 anlam düzeyinde kritik etki yarattıkları söylenebilir ($p < 0.05$). Bir başka ifadeyle; A ve B faktörleri, AD, BD, CD ikinci mertebeden etkileşimlerinin ve ABCD dördüncü mertebeden etkileşimin heading performans göstergesinin belirleneceği tahmin denkleminde yer alması anlamlı görülmektedir.

Kritik etki yarattığı belirlenen tüm bileşenlerin bulunduğu modelin belirlilik ve düzeltilmiş belirlilik katsayılarının, sırasıyla; %98.99 ve %97.49 olarak elde edilmesi, modelin tutarlı olduğunu göstermektedir. Bu kapsamda, irtifa göstergesi için elde edilen tahmin denklemi,

$$\text{Rota Başı} = -5.02 + 3.03 \cdot A + 0.46 \cdot B + 0.30 \cdot C - 1.42 \cdot A \cdot D + 0.36 \cdot B \cdot C - 0.88 \cdot B \cdot D - 0.44 \cdot C \cdot D + 0.32 \cdot A \cdot C \cdot D + 1.57 \cdot A \cdot B \cdot C \cdot D$$

şeklindedir.

Çizelge 6.8: Rota Başı Performans Göstergesi Varyans Analizi Tablosu

Kaynak	SS	sd	MS	F	p
A	146,67	1,00	146,67	358,34	< 0.0001
B	3,33	1,00	3,33	8,14	0.0291
C	<u>1,46</u>	<u>1,00</u>	<u>1,46</u>	<u>3,56</u>	<u>0.1083</u>
AD	32,04	1,00	32,04	78,28	0.0001
BC	<u>2,06</u>	<u>1,00</u>	<u>2,06</u>	<u>5,03</u>	<u>0.0661</u>
BD	12,28	1,00	12,28	29,99	0.0015
CD	3,05	1,00	3,05	7,45	0.0342
ACD	<u>1,59</u>	<u>1,00</u>	<u>1,59</u>	<u>3,89</u>	<u>0.0962</u>
ABCD	39,20	1,00	39,20	95,78	< 0.0001
Hata	2,46	6,00	0,41		
Toplam	244,13	15,00			

R²: 0,9899, Düz-R²: 0.9749

Tahmin denkleminde yer alan sabit terim (-5.02) genel ortalama, faktör ve etkileşimlerin katsayısı olarak verilen değerler ise Çizelge 6.7'deki ortalama etki sütununda yer alan değerlerin yarısıdır (değerler xx.xx olacak şekilde yuvarlanmıştır). Kritik etki yaratan faktör ve etkileşimler için uygun düzeyler belirlendikten irtifa göstergesi tahmin edilebilmektedir.

A ve B faktörlerinin düşük düzeylerinde, C ve D faktörlerinin ise yüksek düzeylerinde olması halinde, heading göstergesi için ortalama S/N oranının, 0.51 dB (0.9434 adet) standart hata ile 1.5346 dB (0.84 adet) seviyesinde gerçekleşeceği tahmin edilmiştir. Ayrıca, sürat saati göstergesinin %95 güven seviyesinde, 0.30 db ile 2.77 dB (0.73 ile 0.97 adet) arasında değer alabileceği belirlenmiştir. A, B ve D faktörlerinin düşük, C faktörü yüksek düzeyinde olduğunda ise, ortalama S/N oranı 0.51 dB (0.9434 adet) standart hata ile -11.6698 dB (3,83 adet) seviyesinde gerçekleşmiştir. Bu durum için %95 güven seviyesinde oluşturulan güven aralığı ise, -12.91 ile -10.43 dB (3.32 ile 4.2 adet) şeklindedir.

6.4 VVI – Dikey Hız Performans Göstergesine İlişkin Analizler

VVI performans göstergesi için yapılan analizlerden her bir faktör ve/veya etkileşim için elde edilen ortalama etkiler, kareler toplamaları (SS) ve % katkı de katkı değerleri Çizelge 6.9’da verilmiştir.

Çizelge 6.9: VVI Performans Göstergesine İlişkin Analiz Sonuçları

Bileşen	Ortalama Etki	SS	%Katkı
A	3,16	39,94	29,82
B	1,56	9,70	7,24
C	0,65	1,67	1,25
D	0,10	0,04	0,03
AB	1,65	10,92	8,16
AC	0,42	0,72	0,54
AD	-0,39	0,59	0,44
BC	-0,23	0,22	0,16
BD	-1,05	4,41	3,29
CD	-1,41	7,98	5,96
ABC	-0,05	0,01	0,01
ABD	0,20	0,16	0,12
ACD	-2,37	22,42	16,74
BCD	2,94	34,56	25,81
ABCD	0,38	0,57	0,42

Çizelge 6.9 incelendiğinde, ortalama etkisi, kareler toplamı ve yüzde katkı değerleri açısından en düşük öneme sahip olan; D ana faktörü ile BC, ABC, ABD ve ABCD etkileşimlerinin hata terimine aktarılması anlamlı görülmektedir.

Toplamda dört bileşenin hata terimine aktarıldığı Çizelge 6.10’daki varyans analizi tablosu incelendiğinde, AC ve AD etkileşimleri dışında kalan tüm ana faktör ve etkileşimlerin %5 anlam düzeyinde kritik etki yarattıkları söylenebilir ($p < 0.05$). Bir başka ifadeyle; A, B ve C faktörlerini, AB, BD, CD ikinci mertebeden etkileşimlerinin, ve ACD, BCD üçüncü mertebeden etkileşimlerin VVI performans göstergesinin belirleneceği tahmin denkleminde yer alması anlamlı görülmektedir.

Çizelge 6.10: VVI Performans Göstergesi Varyans Analizi Tablosu

Kaynak	SS	sd	MS	F	p
A	39,94	1,00	39,94	200,18	< 0.0001
B	9,70	1,00	9,70	48,63	0.0009
C	1,67	1,00	1,67	8,36	0.0341
AB	10,92	1,00	10,92	54,76	0.0007
<u>AC</u>	<u>0,72</u>	<u>1,00</u>	<u>0,72</u>	<u>3,62</u>	<u>0.1156</u>
<u>AD</u>	<u>0,59</u>	<u>1,00</u>	<u>0,59</u>	<u>2,97</u>	<u>0.1452</u>
BD	4,41	1,00	4,41	22,10	0.0053
CD	7,98	1,00	7,98	39,98	0.0015
ACD	22,42	1,00	22,42	112,39	0.0001
BCD	34,56	1,00	34,56	173,24	< 0.0001
Hata	1,00	5,00	0,20		
Toplam	133,91	15,00			

R²: 0,9926, Düz-R²: 0.9777

Kritik etki yarattığı belirlenen tüm bileşenlerin bulunduğu modelin belirlilik ve düzeltilmiş belirlilik katsayılarının, sırasıyla; %99.26 ve %97.77 olarak elde edilmesi, modelin tutarlı olduğunu göstermektedir. Bu kapsamda, irtifa göstergesi için elde edilen tahmin denklemi,

$$\text{VVI} = -7.90 + 1.58 \cdot A + 0.78 \cdot B - 0.32 \cdot C + 0.83 \cdot A \cdot B + 0.21 \cdot A \cdot C - 0.19 \cdot A \cdot D - 0.52 \cdot B \cdot D - 0.71 \cdot C \cdot D - 1.18 \cdot A \cdot C \cdot D + 1.47 \cdot B \cdot C \cdot D$$

şeklindedir.

Tahmin denkleminde yer alan sabit terim (-7.90) genel ortalama, faktör ve etkileşimlerin katsayısı olarak verilen değerler ise Çizelge 6.9'daki ortalama etki sütununda yer alan değerlerin yarısıdır (değerler xx.xx olacak şekilde yuvarlanmıştır). Kritik etki yaratan faktör ve etkileşimler için uygun düzeyler belirlendikten irtifa göstergesi tahmin edilebilmektedir.

A, B ve C faktörlerinin yüksek düzeylerinde, D faktörü ise düşük düzeylerinde olması halinde, VVI göstergesi için ortalama S/N oranının, 0.37dB (0.958 adet) standart hata ile -3.04016 dB (1.42 adet) seviyesinde gerçekleşeceği tahmin edilmiştir. Ayrıca,

VVI göstergesinin %95 güven seviyesinde, -3.99 dB ile -2.09 dB (1.27 ile 1.58 adet) arasında değer alabileceği belirlenmiştir. A faktörü yüksek, B, C ve D faktörlerinin düşük düzeyinde olduğunda ise, ortalama S/N oranı 0.37dB (0.958 adet) standart hata ile -12.1503 dB (-4.05adet) seviyesinde gerçekleşmiştir. Bu durum için %95 güven seviyesinde oluşturulan güven aralığı ise, -13.10 ile -11.19 dB (3.63 ile 4.52 adet) şeklindedir.

Elde edilen verilerin analizleri sonucunda performans göstergelerine çevresel faktör etkileri tablosu takip eden çizelgede verilmiştir. Çizelge, analizler ile oluşturulan tahmin modeli ile elde edilen, çevre koşullarının değişmesi ile pilotların o koşullar altında yapabilecekleri hata sayılarını göstermektedir. Tabloda yer alan hata değerleri sinyal/gürültü değerlerinin normal değerlere dönüştürülmüş şeklini içermektedir.

Çizelge 6.11 : Analizler İle Oluşturulan Tahmin Modeli İle Elde Edilen, Çevre Koşullarının Değişmesi İle Pilotların O Koşullar Altında Yapabilecekleri Hata Sayıları

SIRA	A	B	C	D	Tahmin				
	Rüzgar	IMC-VMC	GECE-GÜN	TÜRB	Sürat	İrtifa	ADI	Heading	VVI
1	0 90	0 - IMC	0 - GECE	0 - VAR	4,0696933	0,7537305	1,1619146	3,1362989	3,6518887
2	0 90	0 - IMC	0 - GECE	1 - YOK	4,7574886	0,5452539	0,6394394	2,2318451	2,4635416
3	0 90	0 - IMC	1 - GÜN	0 - VAR	3,6735744	0,7438689	0,4331978	3,832584	2,8331034
4	0 90	0 - IMC	1 - GÜN	1 - YOK	3,2007459	0,8232263	1,4349485	1,8751205	3,0178905
5	0 90	1-VMC	0 - GECE	0 - VAR	3,4176881	0,7438689	0,8525289	3,5942859	2,3324583
6	0 90	1-VMC	0 - GECE	1 - YOK	3,6394175	1,1642178	1,3238342	1,8620157	3,9426926
7	0 90	1-VMC	1 - GÜN	0 - VAR	2,7725161	2,064176	0,7322761	1,8107962	3,5603959
8	0 90	1-VMC	1 - GÜN	1 - YOK	3,571356	0,9444074	1,2584101	2,7268292	2,4546918
9	1 180	0 - IMC	0 - GECE	0 - VAR	3,8881182	0,7941488	0,6518801	1,5036082	4,0505629
10	1 180	0 - IMC	0 - GECE	1 - YOK	2,9585716	1,4833339	0,1154207	1,154542	1,7310968
11	1 180	0 - IMC	1 - GÜN	0 - VAR	4,1109099	1,8220993	0,781935	1,0332584	1,6521004
12	1 180	0 - IMC	1 - GÜN	1 - YOK	3,2476501	0,4752899	0,8333193	1,7249434	3,3170556
13	1 180	1-VMC	0 - GECE	0 - VAR	3,2397881	0,5259948	0,4866239	0,8380434	1,7682655
14	1 180	1-VMC	0 - GECE	1 - YOK	3,7936089	1,1642178	0,4828143	1,98058	1,8936081
15	1 180	1-VMC	1 - GÜN	0 - VAR	3,2713699	0,6484198	0,6541797	1,003807	1,4190838
16	1 180	1-VMC	1 - GÜN	1 - YOK	3,3264641	1,0488754	0,7183011	1,2199449	1,8440895
EN BÜYÜK					2	7	4	3	9
EN KÜÇÜK					10	12	10	13	15

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Sürat performans göstergesi için en çok hatanın beklendiği çevresel ortam, türbülanssız bir gecede, bulut içinde, rüzgar 90 dereceden estiği ortam olarak tahmin edilmiştir. Koşulların zorluğu düşünülür ise gece bulut içi ve yan rüzgar sürat hatası yapılmasına sebep vermesi yönünden çok anlamlıdır.

İrtifa performans göstergesi gündüz şartlarında bulutun olmadığı çevrede yan rüzgar etkisi altında türbülans etkisi ile en yüksek değere ulaşmaktadır. Türbülanslı ve yan rüzgarın olduğu ortamlarda irtifa hatasının çok olması gayet anlamlıdır. Gündüz şartlarında VMC koşullarda pilotların daha çok dışarıya bakabilmelerinin çapraz kontrollerini zayıflatarak irtifa hataları yapabileceklerini gösterme açısından anlamlıdır.

ADI performans göstergesi için en çok hata beklenen durum bulut içerisinde yan rüzgarın etkisi altında sakin bir havada ve gündüz beklenmektedir. Bulut içerisinde yan rüzgar etkisi ile ADI hatası yapmak anlamlıdır. Bulut içerisinde ufkun görülememesi uçuşu tamamen durum cayrosuna bağlı yapma gereği doğurmaktadır. ADI hatalarının diğer hatalara göre çok daha az görülmesi, çapraz kontrolün merkezinde yer alan en önemli performans göstergesi olması açısından çok anlamlıdır.

Rota başı performans göstergesi için beklenen en çok hata yapılacak ortam, gündüz yan rüzgarda türbülanslı havada bulut içinde uçuş olarak gerçekleşmiştir. Gerçek uçuşlarda yan rüzgarın ve türbülansın rota başını direk olarak etkileyen faktörler olduğu düşünülürse simulatörde bulut içinde aynı faktörler ile karşılaşıldığında modelin hata beklentisi çok anlama kazanmaktadır.

VVI performans göstergesi için en çok hata beklenen durum gece bulut içerisinde türbülanslı fakat yan rüzgar etkisi olmayan bir ortamda beklenmektedir. Türbülanslı ortamın varyometreye etkisi açısından beklenen yüksek hata miktarı çok anlamlıdır. Bununla beraber dikey anaforların gece ve bulut içinde gerçekleşmesi, çapraz kontroldeki zorlukların artması sebebi ile VVI hata değerlerini arttırması da çok anlamlıdır.

Pilotların yaptıkları hatalar her zaman kaza ile sonuçlanmamaktadır. Bu çalışmada, mükemmelliğin amaçlanması daimi şart olduğu uçak kokpitinde yer alan pilotların karşılaşabilecekleri farklı çevresel ortamların, hataları nasıl tetiklediği ve hangi ortamlarda ne kadar hata yapılabilceğinin tahmini yapılmaya çalışılmıştır ve tartışılmıştır.

Deneyler sonucunda yapılan analizlerde elde edilen model sonuçları ile simulatörde elde edilen sonuçlar karşılaştırılınca gerçeğe yakın değerler elde edildiği görülmektedir. Model, pilotların aynı ortam ile karşılaşıldığında hata yapmalarını engelleyecek şekilde önlem almalarını sağlamaya ve çapraz kontrollerinde nasıl bir düzenleme yapabilmelerine yardımcı olacaktır. Uçuş eğitimi veren kurumlardaki eğitim programlarında alet usulleri eğitim teknikleri geliştirme çalışmalarında kullanılabileceği değerlendirilmektedir.

Çeşitli çevre koşulları için oluşturulan pilot hataları modeli, pilotların fizyolojik, psikolojik etkenler altında performanslarını incelemek için yapılacak araştırmalara temel olabilir. Örnek vermek gerekir ise, fizyolojik eğitim merkezlerinde, pilotların fiziksel performansını arttıracak ilaçların kullanımının testleri esnasında test sonuçlarından elde edilen hata modeli temel alınabilir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Artman, H. and Garbis, C., 1998. Situation awareness as distributed cognition. In: T. Green, L. Bannon, C. Warren and Buckley, Cognition and cooperation. Proceedings of 9th Conference of Cognitive Ergonomics, Limerick, Ireland: ECCE. 151–156.
- Campbell, R.D. and Bagshaw, M., 2002, Human performance and limitations in aviation, Blackwell Science, USA.
- Bell, H.H., and Lyon, D.R., 2000, Using observer ratings to assess situation awareness, Laurence Erlbaum Associates, Mahwah, NJ, USA.
- Durso, F.T., 1998, Situation awareness as a predictor of performance in en route air traffic controllers, Air Traffic Quarterly 6, USA, p 1- 20.
- Endsley, M.R., 1988, Design and evaluation for situation awareness enhancement, Unpublished doctoral dissertation, , University of Southern California, Los Angeles, USA.
- Endsley, M.R., 1993, A survey of situation awareness requirements in air-to-air combat fighters, The International Journal of Aviation Psychology 3, 157–168.
- Endsley, M.R. and Rodgers, M.D., 1994, Situation awareness information requirements for en route air traffic control (DOT/FMAM-94/27), Washington, D.C., Federal Aviation Administration Office of Aviation Medicine.
- Endsley, M.R., 1995a. Towards a theory of situation awareness in dynamic systems, Human Factors 37, USA, p 32–64.
- Endsley, M.R., 1995b. Measurement of situation awareness in dynamic systems, Human Factors 37, 65–84.

- Endsley, M.R., 1996, Automation and situation awareness, Parasuraman, Automation and Human Performance, Theory and Applications, Lawrence Erlbaum Associates, Mahwah, NJ, p. 163–181.
- Endsley, M.R. and Jones, W.M., 1997, Situation awareness, information dominance, and information warfare, Technical Report 97-01, Belmont MA, USA, Endsley Consulting.
- Endsley, M.R., Farley, T.C., Jones, W.M., Midkiff, Hansmann R.J., 1998, A.H. and situation awareness information requirements for commercial airline pilots (ICAT-98-1), Cambridge, MA: MIT International Center for Air Transportation.
- Endsley, M.R., Selcon, S.J., Hardiman, T.D., Croft, D.G., 1998. A comparative evaluation of SAGAT and SART for evaluations of situation awareness. In: Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting. Human Factors and Ergonomics Society, Santa Monica, CA, pp. 82–86.
- Endsley, M.R. and Garland, Daniel J., 2000, Situation awareness analysis and measurement system, CRC Press, USA, 1-383 p.
- Harris D., Stanton N.A, Marshall A., Young M., Demagalski J., Salmon P., 2005, Using SHERPA to predict design-induced error on the flight deck, Aerospace Science and Technology, USA, 525-532.
- Jones, D.G., Kaber, D.B., 2004. Situation awareness measurement and the situation awareness global assessment technique, Handbook of Human Factors and Ergonomics Methods, CRC Press, Boca Raton, USA, 45 p.
- Kirlik A., 2006, Situation Awareness as judgment : Statistical modeling and quantitative measurement, International Journal of Industrial Ergonomics, 12 p.

- Matthews, M.D., Beal, S.A., 2002, Assessing situation awareness in field training exercises, U.S. Army Research Institute for the Behavioural and Social Sciences Research Report 1795.
- McFadden, Kathleen L., 1999, Aviation human factors: a framework for the new millennium, *Journal of Air Transport Management* 5, USA .
- Phadke, Madhaw S., 1989, Quality engineering using robust design, AT&T Bell Laboratories, USA, 334 p.
- Patrick, J., James, N., and Ahmed, A., 2006. Observational assessment of situation awareness, team differences and training implications. *Ergonomics*, 49, 393–417.
- Ross, J. Phillip, 1996, Taguchi techniques for quality engineering, loss function, orthogonal experiments, parameter and tolerance design, McGraw Hill, USA , 329 p.
- Salmon, Paul M., 2008, Measuring situation awareness in complex systems: Comparison of measures study, *International Journal of Industrial Ergonomics* Elsevier, USA, 11 p.
- Salmon, P.M., et al., 2008. What really is going on? Review of situation awareness models for individuals and teams. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 9 (4), 297–323.
- Siemieniuch, C.E. and Sinclair M.A., 2006, Systems Integration, *Journal of Applied Ergonomics* 37, USA, 91–110.
- Smith, K., Hancock, P.A., 1995, Situation awareness is adaptive, externally directed consciousness, *Human Factors* 37 (1), p 137–148.

- Stanton, Salmon, Walkera and Jenkins, 2009, Is situation awareness all in the mind?, Theoretical Issues in Ergonomics Science, Taylor and Francis Group, USA, 12 p.
- Stanton, 2005. Human factors methods: A practical guide for engineering and design. Aldershot: Ashgate USA, 246 p.
- Taylor, R.M., 1990, Situational Awareness Rating Technique (SART): The development of a tool for aircrew systems design (AGARD-CP-478), Situational Awareness in Aerospace Operations, NATO-AGARD, Neuilly Sur Seine, France, p 3/1 – 3/17.
- USAF, AF-MAN 11-217 Volume 1, 2000, Instrument Flight Procedures, Flying operations, USA, 297 p.
- Wiegmann, Douglas A. and Shappell, Scott A., 2003, A human approach to aviation accident analysis, the human factors analysis and classification system, Ashgate , USA ,165 p.
- Wood, Richard H., 1997, Aviation safety programmes, a management handbook, Jeppesen Sanderson Training Products, USA, 287 p.
- Young, Kai and El Haik, Basem, 2003, Design for six sigma, a road map for product development., McGraw-Hill.