
GAZİ ÜNİVERSİTESİ
Gazi
1926

HAVA ARACI KAZA VE OLAYLARININ NEDENLERİNİN TESPİT EDİLMESİNDE KULLANILAN UÇUŞ VERİ KAYIT (FDR) VE BENZER CİHAZLARIN BİLGİLERİNİN ÖRNEK OLAY ÇALIŞMALARI İLE ANALİZ EDİLMESİ VE BU AMAÇ İÇİN YENİ BİR METOT GELİŞTİRİLMESİ

Hatice Arzu İNAN

DOKTORA TEZİ
KAZALARIN ÇEVRESEL VE TEKNİK ARAŞTIRMASI ANA BİLİM DALI

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

AĞUSTOS 2021

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Hatice Arzu İNAN

04/08/2021

HAVA ARACI KAZA VE OLAYLARININ NEDENLERİNİN TESPİT EDİLMESİNDE KULLANILAN UÇUŞ VERİ KAYIT (FDR) VE BENZER CİHAZLARIN BİLGİLERİNİN ÖRNEK OLAY ÇALIŞMALARI İLE ANALİZ EDİLMESİ VE BU AMAÇ İÇİN YENİ BİR METOT GELİŞTİRİLMESİ

(Doktora Tezi)

Hatice Arzu İNAN

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Ağustos 2021

ÖZET

İlk hava aracı kazasının meydana geldiği on dokuzuncu yüzyıldan itibaren hava kazalarını incelemek için kullanılan çeşitli yöntemler literatürde mevcuttur. Bu çalışmada ilk olarak 1959 ila 2016 yılları arasında ticari hava aracı kaza ve olaylarına uygulanan istatistiklerin özeti sunulmuştur. İkinci olarak bu çalışmada kaza sebebini bulmada kullanılan ve bu disiplin içerisinde geliştirilen insan faktörleri teorisi detaylı olarak incelenmiştir. Üçüncü olarak, hava aracı kazalarını incelemek için kullanılan uçuş veri kayıt cihazı (FDR-Flight Data Recorder) ve kokpit ses kayıt cihazı (CVR-Cockpit Voice Recorder) analizlerine ilişkin bazı bilgiler verilmiştir. Bu bağlamda, uçuş veri kayıt sistemlerinin (FDR Systems) çalışma prensibi açıklanmıştır. Bunun uygulama örneği olarak FDR ve CVR cihazları kullanımının bir sivil havacılık kazasının incelenmesindeki etkileri irdelenmiştir. Kıyaslama amacıyla FDR ve CVR cihazlarının bulunmadığı bir başka hava kazası da bu çalışmada ele alınmıştır. Söz konusu kazanın nedeni ile ilgili kesin hükme ulaşılamadığı vurgulanmıştır. FDR ve CVR cihazlarının gerekliliği konusunun devamı olarak, pitot tüpleri ve statik portların bloke olması nedeniyle uçuşta kontrol kaybına yol açan beş kazanın analizleri sunulmuştur. Dördüncü olarak, bir hava aracı uçuş halindeyken radyo frekansı (RF- Radio Frequency) veri bağlantısı yoluyla, hava aracında monteli FDR cihazı ve ses veri kayıt cihazının (VDR-Voice Data Recorder) topladığı verilerin yer istasyonundaki modüle iletilmesiyle ilgili yeni bir yöntem çalışılmıştır. Hava aracı kaza ve olaylarının analiz edilmesinde geliştirilen bu yeni yöntemin kaza ve olayların nedenlerinin tespit edilmesi için kullanılması bu çalışmanın amacı olarak önerilmektedir. Beşinci olarak, rutin uçuşlarda kaydedilen verilerin toplanması ve uçuş sonrasında analiz edilmesi programı olan uçuş veri analizi (FDA-Flight Data Analysis) çalışılmıştır. Bu çalışmada elde edilen en önemli sonuç, her bir kazadan bir öğrenme süreci çıkartılmasının ve ardından geliştirilecek tavsiyelerin uygulamaya konulmasının zorunlu olduğudur.

Bilim Kodu	:	93102
Anahtar Kelimeler	:	Uçak kazası önleme, uçak kazası sebebi, uçuş veri kayıt cihazı, ses veri kayıt cihazı, uçuş emniyeti
Sayfa Adedi	:	123
Danışman	:	Prof. Dr. Hüseyin TOPAL

ANALYSING THE DATA FROM THE FLIGHT DATA RECORDER (FDR) AND SIMILAR EQUIPMENT USED TO DETERMINE THE CAUSES OF AIRCRAFT ACCIDENTS AND INCIDENTS, ON SAMPLE CASE STUDIES AND DEVELOPMENT OF A NOVEL METHOD FOR THIS PURPOSE

(Ph. D. Thesis)

Hatice Arzu İNAN

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

August 2021

ABSTRACT

Various methods which have been employed to investigate aircraft accidents since the dawn of the aviation in the 19th century are found in the literature. In the course of this study, firstly, a summary of the statistics which covers aircraft accidents and incidents which have occurred between the years 1959-2016 is presented. Secondly, the theory of human factors in finding the causes of accidents which is developed in this discipline is examined in detail. Thirdly, some insight is given into FDR (flight data recorder) and CVR (cockpit voice recorder) analyses to investigate aircraft accidents. Within this context, working principle of the FDR Systems is explained. The effects of the usage of FDR and CVR in the investigation of an aircraft accident, is scrutinised as a sample application of this principle. For the purpose of comparison, another accident of an aircraft which didn't have FDR and CVR is also studied. It is emphasized that the definitive causal factors of last accident could not been determined, for this reason. Continuing upon the discussion of the usage of FDR and CVR, analyses of five air accidents which led to the loss of flight control due to the blocking of the pitot tubes and static ports, is also presented. Fourthly, a novel method related to transmitting the data collected by the on-board FDR and VDR (Voice Data Recorder) via radio frequency (RF) data link to the module on the ground station, while the aircraft is in flight, is studied. Having been developed as a new technique to analyse aircraft accidents and incidents, using of this novel method to determine the causes of air accidents and incidents is being proposed, as the main purpose of this study. Fifthly, FDA (Flight Data Analysis) which is a programme to collect flight parameters and data and to analyse them subsequent to the flight is studied. The most important consequence obtained in this study, therefore, is to emphasize the necessity to extract a learning process from each accident and to implement the recommendations to be developed, afterwards.

Science Code : 93102

Key Words : Crash prevention, crash cause, Flight Data Recorder, Cockpit Voice Recorder, flight safety

Page Number : 123

Supervisor : Prof. Dr. Hüseyin TOPAL

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca desteğini benden esirgemeyip, yardım ve katkılarıyla bana yol gösteren çok değerli hocam Prof. Dr. Hüseyin TOPAL'a, Doç. Dr. Cevdet AYGÜN'e ve sevgili anneme gösterdiği sabır ve destek için teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET iv

ABSTRACT v

TEŞEKKÜR vi

İÇİNDEKİLER vii

ÇİZELGELERİN LİSTESİ xi

ŞEKİLLERİN LİSTESİ xii

RESİMLERİN LİSTESİ xiv

SİMGELER VE KISALTMALAR xv

1. GİRİŞ 1

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI 5

3. HAVA TAŞITLARINDA KAZA TANIMLARI, İSTATİSTİKLERİ VE TEORİLERİ 7

3.1. Hava Aracı Kazası Tanımı 7

3.2. Hava Aracı Yer Kazası Tanımı 8

3.3. Hava Aracı Kaza ve Olayına İlişkin Diğer Tanımlar 8

3.4. Kaza Teorileri 9

3.4.1. Sistem teorisi 10

3.4.2. Kombinasyon teorisi 10

3.4.3. Kaza/Olay teorisi 10

3.4.4. İnsan faktörleri teorisi 10

3.5. Sivil Havacılıkta Ticari Jet Uçak Kazalarının İstatistiksel Özeti 11

3.5.1. Tüm dünyada faaliyet gösteren jet motorlu sivil havacılık uçaklarının sefer sayıları, uçuş saatleri ve hizmette bulunan jet motorlu uçakların istatistiği 12

Sayfa

3.5.2. Yaralanma ve hasarlara göre dünya ticari havacılığı kaza istatistiği..... 13

3.5.3. Uçuşun safhalarına göre kaza istatistiği 14

3.5.4. Operasyon tipine göre kaza istatistiği..... 15

3.5.5. ABD'li ve Kanadalı jet motorlu uçak operatörlerinin ölümcül kaza oranları……..… 16

3.5.6. Kaza oluş türlerine göre kaza istatistiği..... 16

3.6. İnsan Faktörleri Teorisi 17

3.6.1. İnsan faktörleri çerçeveleri 18

3.6.2. Havacılıkta insan faktörlerini açıklayıcı modeller 19

3.7. Uçuş Kayıt Cihazları ve Diğer Veri Kaynakları 31

3.7.1. Uçuş kayıt cihazları 31

3.7.2. ARINC iletişimi adrese gönderme ve raporlama sistemi (ACARS-ARINC Communications Addressing and Reporting System) mesajları 58

3.7.3. Kaydedilen radar verileri 59

3.7.4. Çarpma izleri 59

3.7.5. Videolar ve gözetleme kameraları 60

3.7.6. Görgü tanığı ifadeleri..... 60

3.7.7. Havadan alınan görüntü kayıt cihazları (AIR cihazları). 60

3.7.8. Meteorolojik veriler 60

3.8. Öncül ve Ardıl Göstergeler 61

4. ÖRNEK OLAY ÇALIŞMALARININ İNCELENMESİ, KAZALARIN ÖNLENMESİNDE EFEKTİF METOTLAR VE ANALİZ YÖNTEMLERİ ……. 67

4.1. FDR Cihazı ve CVR Cihazı ile Donatılmış Bir Uçak Kazasına Ait Örnek Vaka Analizi …...…… 69

Sayfa

4.2. FDR Cihazı ve CVR Cihazı ile Donatılmamış Bir Uçak Kazasına Ait Örnek Vaka Analizi……..... 74

4.3. İki Ayrı Kazanın Bulguları, Sonuçları, Karşılaştırılması ve Tartışılması..... 75

4.3.1. FDR cihazı ve CVR cihazı ile donatılmış sivil uçak kazasının ana bulguları……. 75

4.3.2. FDR cihazı ve CVR cihazı ile donatılmamış uçak kazasının incelenmesi 77

4.3.3. Sonuçlar…… 82

4.4. Bloke Olmuş Pitot Tüpleri ve Statik Portları İçeren Beş Uçak Kazasının Analizi..... 83

4.4.1. Birgen Hava Yolları B-757-225 kazası öncül olaylar dizisi……..... 84

4.4.2. AeroPeru Hava Yolları B-757 kazası öncül olaylar dizisi……..... 85

4.4.3. Austral Lineas Aereas Hava Yolları DC-9 kazası öncül olaylar dizisi… 87

4.4.4. Türk Hava Yolları B-737 kazası öncül olaylar dizisi…… .. 89

4.4.5. Air France A-330 kazası öncül olaylar dizisi……... 90

4.4.6. Sonuçlar……... 94

4.5. Hava Aracı Uçuş ve Ses Veri Kayıt Sistemi ve Metodu..... 95

4.5.1. Metodun arka planı ……..... 95

4.5.2. Metodun özeti ……..… 97

4.5.3. Kara kutu bulutu…… 101

4.6. Uçuş Verileri Analizi (FDA) Programları……... 104

4.6.1. FDM'nin faydaları ……..... 105

4.6.2. FDA programı kullanma…… 107

4.6.3. FDA ekipmanı ……..... 110

4.6.4. Havadaki ekipmanlar…… 110

4.6.5. Yer istasyonunda tekrar oynatma ve analiz ekipmanı……..... 111

4.6.6. Uygulamalardaki FDA işlemi……..…….. 112

Sayfa

4.6.7. Analiz ve takip……. 113

4.6.8. FDA takımı …… 115

5. SONUÇ VE ÖNERİLER 117

KAYNAKLAR 121

ÖZGEÇMİŞ…….. 123

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge **Sayfa**

Çizelge 3.1. Öncül ve ardıl göstergelerle ilgili örnekler……. 62

Çizelge 4.1. Bloke olmuş pitot tüplerini ve statik portları içeren uçuşta kontrol kaybı kazaları ile ilgili örnekler ……... 83

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil **Sayfa**

Şekil 3.1. 1997-2016 yılları arasında tüm dünyada faaliyet gösteren ticari jet motorlu sivil havacılık uçaklarının yıllara sari sefer sayısı ve uçuş saati…… 12

Şekil 3.2. 1997-2016 yılları arasında tüm dünyada faaliyet gösteren servisteki ticari jet motorlu sivil havacılık uçaklarının sayısı……..... 13

Şekil 3.3. 1959- 2016 yılları arasında dünyadaki tüm ticari jet motorlu sivil havacılık uçaklarının kaza sayısı..... 13

Şekil 3.4. 2007- 2016 yılları arasında dünyadaki tüm ticari jet motorlu sivil havacılık uçaklarının kaza sayısı..... 14

Şekil 3.5. 2007-2016 yılları arasında dünyadaki tüm ticari jet motorlu sivil havacılık uçaklarının uçuş safhasına göre ölümcül kazalar ve uçak içi ölümler dağılımı..... 15

Şekil 3.6. 2007-2016 yılları arasında dünyadaki tüm ticari jet motorlu sivil havacılık uçaklarının operasyon tipine göre ölümlü ve külli hasarlı 10 yıllık kaza oranları……..... 15

Şekil 3.7. 1997-2016 yılları arasında ABD'li ve Kanadalı jet motorlu sivil havacılık uçak operatörleri ile dünyanın geri kalan ülkelerinin jet motorlu sivil havacılık uçak operatörlerine ait yıllara sari ölümcül kaza oranları 16

Şekil 3.8. 2007-2016 yılları arasında dünyadaki tüm ticari jet motorlu sivil havacılık uçaklarının kaza oluş türlerine göre ölümcül kaza sayıları 16

Şekil 3.9. SHEL modeli 20

Şekil 3.10. İsviçre peyniri modeli 21

Şekil 3.11. LUC faktörler..... 24

Şekil 3.12. Jenerik Hata Modelleme Sistemi (GEMS-Generic Error Modeling System) 30

Şekil 3.13. Operatör davranışının yetmezlik modlarına göre taksim edilmesi……... 30

Şekil 3.14. Yüksek düzey havacılık veri kayıt cihazları mimarisi ……. 41

Şekil 3.15. FDR sisteminin şematik resmi..... 49

Şekil 3.16. FDR cihazının şematik resmi..... 49

Şekil 3.17. Emniyet performans göstergeleri matriksi..... 62

Şekil **Sayfa**

Şekil 3.18. Orijinali 1941 yılında (Heinrich), revize edilmiş versiyonu 1969 yılında (Bird), revize edilmiş versiyonu 2010 yılında petro-kimya endüstrisinden (Prem ve Mannan) ve 2012 yılında revize edilmiş versiyonu da havacılık endüstrisinden türetilen risk üçgenleri…… 65

Şekil 4.1. Bir yer istasyonu ve bir uydu ile iletişim halindeki ticari uçak 97

Şekil 4.2. Hava aracı kokpiti içindeki modül..... 98

Şekil 4.3. Yer istasyonundaki modül 99

Şekil 4.4. Uçuş verilerini izleme (FDA) döngüsü..... 111

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim **Sayfa**

Resim 2.1. Leonardo da Vinci'nin ornithopter çizimleri 5

Resim 2.2. Lilienthal'in 1891 yılında Almanya'nın Potzdam kenti dışındaki Derwitz yakınlarında yaptığı ilk uçuş testinde kullandığı konstrüksiyon..... 6

Resim 2.3. Lilienthal'in 1895 yılında patentini aldığı uçan makinasının çizimi 6

Resim 3.1. Hasarlı kayıt ortamı..... 34

Resim 3.2. Londra saat imalatçısı "S. Davall & Sons Ltd" tarafından üretilen ilk ticari uçuş veri kayıt cihazı 38

Resim 3.3. "4U9525" sefer sayılı uçuşunu yaparken kaza yapan "German Wings" Hava Yolu şirketine ait olan A320 tip uçağının kaza bölgesinden bulunup çıkartılan kokpit ses kayıt / uçuş veri kayıt cihazı (CVR / FDR) 40

Resim 4.1. Şarjah Havaalanı'nda söz konusu uçağın son kez yaptığı park sırasında çekilmiş fotoğrafı …… 67

Resim 4.2. Uçağın enkazının kaza yerinde çekilmiş fotoğrafı …….. 68

Resim 4.3. "Bombardier Challenger" tip iş jeti uçağına ait CVR ve FDR cihazları….. 69

Resim 4.4. 14:35:36 UTC zamanında uçağın ACC radarındaki durumu…….…….. 72

Resim 4.5. Kaza sonrası T-37C eğitim uçağının kokpit görüntüsü…… 77

Resim 4.6. T-37C eğitim uçaklarının ikili kol uçuşunun görünümü……..... 81

Resim 4.7. Honeywell Aerospace ve ortaklarının gerçek zamanlı kara kutu veri aktarımı çalışmaları……..... 101

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	**Açıklamalar**
ft	feet (uzunluk birimi)
hz	hertz (frekans birimi)
kts	knots (hız birimi)

Kısaltmalar	**Açıklamalar**
AAIB	Air Accidents Investigation Branch (İngiltere havacılık kazalarını inceleme bölümü)
AC	Alternating Current (alternatif akım)
ACARS	ARINC Communications Addressing and Reporting System (ARINC iletişim yöneltme ve raporlama sistemi)
ACAS	Airborne Collision Avoidance Systems (havada çarpışma önleme sistemleri)
ACC	Area Control Center (alan kontrol merkezi)
AD	Airworthiness Directive (uçuşa elverişlilik talimatı)
ADC	Air Data Computer (hava veri bilgisayarı)
ADF	Automatic Direction Finder (otomatik yön bulmak için aviyonik cihaz)
AFCS	Automatic Flight Control System (Otomatik uçuş kontrol sistemi)
AIR	Airborne Image Recorders (havadan görüntü kayıt cihazları)
ALTN	Alternate (Alternatif)
APU	Auxiliary Power Unit (yardımcı güç ünitesi)
ASI	Airspeed Indicator (hava hızı göstergesi)

Kısaltmalar	Açıklamalar
ATCC	Air Traffic Control Center (hava trafik kontrol merkezi)
ARC	Abnormal Runway Contact (anormal pist teması)
ARINC	Aeronautical Radio, Incorporated (veri kullanımında kullanılan özel bir protokol adı)
BAE	Birleşik Arap Emirlikleri
BEA	British European Airways (ingiliz avrupa hava yolları)
CAA	Civil Aviation Authority (birleşik krallık sivil havacılık otoritesi)
CAADRP	Civil Aircraft Airworthiness Data Recording Programme (sivil hava aracı uçuşa elverişlilik veri kayıt programı)
CAVOK	Ceiling and Visibility OK (tavan ve görüş mesafesi tamam)
CFIT	Controlled Flight Into or Toward Terrain (kontrollü uçuşta araziye çarpma)
CG	Center of Gravity (ağırlık merkezi)
COMP	Computer (bilgisayar)
CRM	Crew Resources Management (mürettebat kaynak yönetimi)
CSMU	Crash-Survivable Memory Unit (kazaya dayanıklı bellek ünitesi)
DAR	Direct Access Recorder (doğrudan erişim kayıt cihazı)
DC	Direct Current (doğru akım)
DE	Digital Electronics (dijital elektronikler)
DFDR	Digital Flight Data Recorder (dijital uçuş veri kayıt cihazı)
DME	Distance Measurement Equipment (mesafe ölçüm cihazı- seyrüsefer yer cihazı ve aviyoniği)
DSTO	Defence Science and Technology Organization (Avustralya savunma bilimi ve teknoloji örgütü)
DSTRK	Desired Track (istenen rota)

Kısaltmalar	Açıklamalar
EAFR	Enhanced Airborne Flight Recorder (güçlendirilmiş uçuş esnası uçuş verileri kayıt cihazı)
EASA	European Aviation Safety Agency (avrupa havacılık emniyeti ajansı)
ECAM	Electronic Centralized Aircraft Monitoring (elektronik merkezi hava aracı izleme)
EFIS	Electronic Flight Instrument System (elektronik uçuş aletleri sistemi)
EGT	Exhaust Gas Temperature (egzoz gaz sıcaklığı)
EICAS	Engine Indicating and Crew Alerting System (motor göstergesi mürettebat uyarı sistemi)
ELT	Emergency Locator Transmitter (acil durum konum belirleme vericisi)
EPR	Engine Pressure Ratio (motor basınç oranı)
EUROCAE	European Organization for Civil Aviation Equipment (avrupa sivil havacılık ekipmanları örgütü)
FAA	Federal Aviation Agency (federal havacılık ajansı)
FAR	Federal Aviation Regulation (federal havacılık mevzuatı)
FD	Flight Director (uçuş yöneticisi)
F-NI	Fire/Smoke Non Impact (ateş/duman-darbesiz)
FDA	Flight Data Analysis (uçuş veri analizi)
FDAU	Flight Data Acquisition Unit (uçuş veri toplama birimi)
FDEP	Flight Data Entry Panel (uçuş bilgi giriş paneli)
FDM	Flight Data Monitoring (uçuş veri izleme)
FDR	Flight Data Recorder (uçuş veri kayıt cihazı)
FDS	Flight Director System (uçuş yönetim sistemi)
FIR	Flight Information Region (uçuş bilgi bölgesi)
FMC	Flight Management Computer (uçuş yönetim bilgisayarı)
FOQA	Flight Operations Quality Assurance (uçuş operasyonları kalite güvencesi)

Kısaltmalar	Açıklamalar
GCAS	Ground Controlled Approach System (yer kontrollü yaklaşma sistemi)
GEMS	Generic Error-Modeling System (jenerik hata modelleme sistemi)
GNSS	Global Navigation Satellite System (küresel navigasyon uydu sistemi)
GPS	Global Positioning System (küresel konumlandırma sistemi-uydulardan seyrüsefer sinyalleri yayan sistem)
GPWS	Ground Proximity Warning System (yer yakın uyarı sistemi)
HF	High Frequency (yüksek frekans)
HFACS	Human Factors Analysis and Classification System (insan faktörleri analiz ve sınıflandırma sistemi)
IAS	Indicated Airspeed (gösterge hava hızı)
ICAO	International Civil Aviation Organization (uluslararası sivil havacılık örgütü)
IFALPA	The International Federation of Airline Pilots' Assosiations (uluslararası hava yolları pilotları birliği)
ILS	Instrument Landing System (aletli iniş sistemi-yer cihazları ve aviyonikler)
INMARSAT	International Marine Satellite (uluslararası denizcilik uydu iletişim hizmeti sağlayıcısı)
INS	Inertial Navigation System (ataletsel seyrüsefer sistemi-aviyonik)
LNAV	Longitudinal Navigation (yatay seyrüfer kılavuzluğu)
LOC-I	Loss of Control-In Flight (uçuşta kumanda kaybı)
LORAN-C	Long Range Navigation (uzun menzilli radyo navigasyon sistemi)
LOSA	Line Operations Safety Audit (hat işlemleri emniyet denetimi)
LUC	Latent Unsafe Condition (saklı emniyetsiz şartlar)
MAC	Midair/Near Midair Collision (havada çarpışma)

Kısaltmalar	Açıklamalar
MLS	Microwave Landing System (mikrodalga iniş sistemi-yer cihazları ve aviyonikler)
MMO	Mach Maximum Operating (sesli hız aşımı)
MON	Monitor (izleme)
MORT	Management Oversight and Risk Tree (yönetim gözetimi ve risk ağacı)
NACA	National Advisory Committee for Aeronautics (havacılık ulusal danışma komitesi)
NASA	National Aeronatics and Space Administration (ABD ulusal havacılık ve uzay idaresi)
NDB	Non Directional Beacon (aletli uçuş için sinyal yayan yer seyrüsefer cihazı)
NEI	Not Enough Information (yeterli bilgi yok)
NTSB	National Transportation Safety Board (ABD ulusal ulaşım emniyet kurulu)
N1	Low Pressure Rotor Speed (düşük basınçlı rotor hızı)
N2	High Pressure Rotor Speed (yüksek basınçlı rotor hızı)
OTHR	Other (diğerleri)
O-LUC	Organizational Latent Unsafe Conditions (örgütsel saklı emniyetsiz şartlar)
PCMCIA	Personal Computer Memory Card International Association (kişisel bilgisayar bellek kartı uluslararası birliği)
PF	Pilot Flying (uçuş sorumlusu olan pilot)
PFD	Primary Flight Display (Birincil uçuş ekranı)
P-LUC	Personal Latent Unsafe Conditions (kişisel saklı emniyetsiz şartlar)
QAR	Quick Access Recorder (hızlı erişim kayıt cihazı)
QRH	Quick Reference Handbook (hızlı referans el kitabı)
RAMP	Ground Handling (yer hizmetleri)
RAPCON	Radar Approach Control (radar yaklaşma kontrolü)

Kısaltmalar	Açıklamalar
RE	Runway Excursion (kalkışta veya inişte uçağın pistten çıkması)
RI-VAP	Runway Incursion-Vehicle, Aircraft or Person (pistin makine, hava aracı veya insan tarafından ihlali)
RF	Radio Frequency (radyo frekansı)
SCF-PP	System/Component Failure or Mulfunction Powerplant (sistem/komponent arızası-güç grubu)
SHY	Sivil Hava – Araç Kazaları Soruşturma Yönetmeliği
SMS	Safety Management System (emniyet yönetim sistemi)
SOPs	Standard Operating Procedures (standart işletme prosedürleri)
SPS	Stall Protection System (stall'dan korunma sistemi)
TAWS	Terrain Awareness and Warning System (arazi farkındalığı ve uyarı sistemi)
TCAS	Traffic Alert and Collision Avoidance System (trafik uyarısı ve çarpışma önleme sistemi)
TEM	Threat and Error Management framework (pilot mahallindeki tehdit ve hata yönetimi çerçevesi)
TLA	Throttle Lever Angle (gaz kolu açısı)
TSB	Transportation Safety Board (Kanada ulaşım emniyet kurulu)
UAE	United Arab Emirates (Birleşik Arap Emirlikleri)
ULB	Underwater Locator Beacon (sualtı konum belirleyici beacon)
UNK	Unknown or Undetermined (bilinmeyen veya tanımlanamayan)
USOS	Undershoot/Overshoot (pist başlangıcından önce /pist sonundan sonra, uçağın teker koyması)
VFR	Visual Flight Rules (görerek uçuş kuralları)
VHF	Very High Frequency (çok yüksek frekans)

Kısaltmalar	Açıklamalar
VOR	VHF Omnidirectional Range (her yöne çok yüksek frekanslı dalga yayan yer seyrüsefer cihazı ve uçaktaki alıcı aviyonik)
VNAV	Vertical Navigation (dikey seyrüsefer kılavluğu)

1. GİRİŞ

Bu tez çalışması beş ana bölümde gerçekleştirilmiştir. Birinci bölüm olan giriş kısmında hava aracı kaza incelemesi hakkında genel bilgiler verilmiştir. İkinci bölümde deneme uçuşlarının günümüze uzanan gelişimini içeren havacılığın tarihçesi verilmiştir. Üçüncü bölümde hava aracı kazaları ve olaylarına ilişkin tanımlar, kaza teorileri, tüm dünyada faaliyet gösteren ticari jet motorlu sivil havacılık uçaklarının kaza istatistiklerinin yorumları, hava aracı kazası nedenlerinden biri olan insan faktörleri teorisi, insan faktörleri teorisini açıklayıcı modeller, uçak kazalarının nedenlerinin bulunmasında kullanılabilecek çeşitli tipteki uçuş kayıt cihazları ile diğer potansiyel veri kaynakları ve emniyet yönetiminde kullanılan öncül ve ardıl göstergeler incelenmiştir. Dördüncü bölümde uçuş kayıt cihazlarından olan uçuş veri kayıt cihazı (FDR-Flight Data Recorder) ve ses veri kayıt cihazının (CVR-Cockpit Voice Recorder) varlığının ve yokluğunun etkilerini göstermek için seçilen, iki farklı uçak kazası incelemesinin mukayesesi, literatürde mevcut pitot tüpleri ve statik portların bloke olması nedeniyle uçuşta kontrol kaybına yol açan beş kazanın yeniden analizi, hava aracı kazalarının incelenmesine yönelik veri toplamak maksadıyla hava aracı uçuş halindeyken radyo frekansı RF (Radio Frequency) veri bağlantısı yoluyla hava aracında monteli FDR ve ses veri kayıt cihazının (VDR-Voice Data Recorder) topladığı bilgilerin, yer istasyonundaki modüle iletilmesiyle ilgili efektif bir metot ve yine kazaların ve olayların önlenmesine yardımcı olacak, rutin uçuşlarda kaydedilen verilerin toplanması ve uçuş sonrasında analiz edilmesi programı olan uçuş veri analizi (FDA-Flight Data Analysis) programının etkin kullanımı irdelenmiştir. Beşinci bölüm olan sonuç ve önerilerde ise, incelenen uçak kazalarına ait kaza analizlerinden elde edilen neticeler için düzeltici eylemler ve tavsiyeler teklif edilmiştir.

Bir hava aracı dünyanın herhangi bir yerinde kaza geçirdiğinde, devlet yetkilileri, uçak üreticileri ve dünya halkı derhal kazanın nedenini bilmek konusunda agresif bir ilgi duymaktadır [1]. Bir hava aracı kazası, hava aracının düştüğü bölge üzerindeki yargı yetkisine sahip hükümet otoritesinin yardımı ile soruşturulur. Dolayısıyla, bir hava aracı kazası incelemesinin tek amacı, gelecekte benzer türde kazaların önlenmesidir. Bir incelemenin amacı, kazanın suç veya yasal sorumluluğunu dağıtmak değildir. Araştırmalar, Uluslararası Sivil Havacılık Örgütü (ICAO-International Civil Aviation Organization) “Ek 13-Hava aracı kazası ve olayı inceleme dokümanı”nda tanımlanan uluslararası standartlar

ve tavsiye edilen uygulamalara uygun olarak gerçekleştirilir. Kaza incelemesinin ön aşaması haftalar veya belki günler içerisinde sahada tamamlanırken, çoğu zaman incelemecilerin nihai raporları ve tavsiyelerinin olgunlaşıp sonuçlanması aylar hatta yıllar alır. Nihai raporda, kaza ile ilgili bilgi bölümü, analiz bölümleri, sonuçlar (muhtemel sebepler) ve ayrıca benzer şartlar altında diğer kazaların oluşmasını önleyecek emniyet tavsiyeleri bölümü bulunmalıdır.

Bir hava aracı kaza incelemesi, ilk önce enkaz yeri ve uçuş veri kayıt cihazı gibi amaca uygun bilgileri içeren hususların incelenmesi ile başlar. Bu tür bilgiler, kazanın muhtemel mekanik, teknik ve insan faktörlerine ilişkin sebebini bulmada ve emniyetle ilgili tavsiyeleri belirlemede kullanılır. Problemin giderilmesindeki en önemli adım, hata sebebinin doğru olarak teşhis edilebilmesidir. Veri toplama gayretlerinin çoğu kaza olduktan sonra gerçekleştirilir. Mühendislik araştırmalarında toplanan veriler ve varılan bulgular devrimsel dizayn değişikliklerine neden olmuş ve bugünün modern hava araçlarının zaman içerisinde evrimine önemli katkı sağlamıştır.

Günümüzde, uçakların ciddi yetersizliklerinden dolayı meydana gelen kazalar çok nadir görülmektedir. Neden/faktör verilerinin mevcut olduğu 2006 yılı için 1494 hava kazası raporunun %91'inde personel ile ilgili nedenler veya faktörler belirtilmiştir [2]. Hava aracı ile ilgili bir sistem arızası meydana geldiği zaman, aracı kullanan mürettebatın hata yapması olasılığının anlamlı bir şekilde artacağı aşikârdır.

İnsan hayatının kaybı söz konusu olunca her kazadan sonra kazaların daha da fazla azaltılması zorunluluk arz eder. Yılda birkaç kazanın önlenmesi bile muhtemelen bir düşüş olarak değerlendirilir ancak böyle bir önleme bile milyon dolarlar maliyetindeki araştırma ve yatırımlar gerektirir. Uçuş saatlerindeki tedrici artış ve yolcu kapasitelerinin giderek yükselmesi nedeniyle meydana gelen kazalar göz ardı edilemeyecek can ve mal kayıplarına neden olmaktadır. Şimdiki *havacılık emniyet yönetim sisteminin* (SMS-Safety Management System) vurguladığı hususlar hava aracı teknolojilerinin daha geri düzeyde olduğu geçmiş yıllar havacılığında karşılaşılan zafiyet arz eden unsurların üstüne kurulmuştur. Hava kazası sonrası analizde bir araç olarak veri kaydının ve daha genel olarak emniyet teriminin kullanımı nispeten yeni sayılabilecek bir gelişmedir.

Hava kazası nedeni olarak en sık rastlanan insan faktörü problemini tespit etmede geleneksel veri analizleri kullanıldığında elde edilebilecekler oldukça sınırlıdır. Bundan daha da ciddisi, bu analizler sonucunda hangi tür araştırma ve emniyet programlarına para aktarılacağını tespit etmek için hava yollarına ve kamu kuruluşlarına çok az geri besleme verisi sağlanabilmektedir [3]. Kazaları doğuran temel nedenlerin bilinmesi, "kaza nasıl başladı?" sorusuna cevap alınması için önem taşımaktadır. Bu yüzden literatürde bazı teoriler geliştirilmiştir. Kazaları oluşturan teoriler; tek faktör teorisi, enerji teorisi, insan faktörü teorisi, kaza/olay teorisi, sistem teorisi, epidemiyoloji teorisi, çok etken teorisi, domino etkisi teorisi ve kombinasyon teorisi gibi başlıklar altında incelenmektedir [4].

Kombinasyon teorisine göre bir tek teori tek başına bütün hadiseleri açıklamaya yeterli olmadığından, bu teoriye göre kazaların gerçek sebebi iki veya daha fazla modelin kombinasyonu (bir araya gelmesiyle) ile elde edilebilir. Bu amaçla, bu tezde bir model uygulanırken uygulanması etkili olabilecek ilave bir modelden yararlanılması hususu da ele alınmıştır.

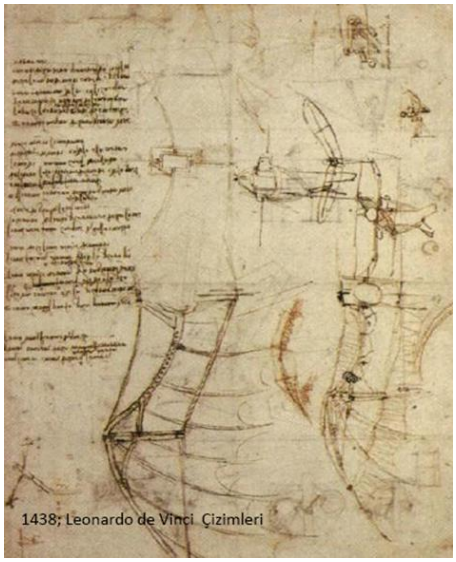
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

İnsanoğlu ilk çağlardan beri kuşlara özenmiş ve uçmak istemiştir. Bunun için yüksek yerlerden kanatlarla, paraşütlerle uçma denemeleri yapmıştır. Ancak pek çok talihsiz ve başarısız denemeler yaşamıştır. Bunlar arasında en çok duyulan denemeler;

- Antik çağlarda kaz kanatları ile yapılan İkarus efsanesi uçuşu,
- 4. Yüzyılda Çinlilerin planörlerle yapılan uçuşları,
- 9. Yüzyılda Mağribilerin planörlerle yapılan uçuşları,
- 1002 yılında İmam İsmail Cevheri'nin paraşütle yapılan uçuşu

sayılabilir.

15. yüzyılda Leonardo da Vinci'nin ornithopter ile yapılması düşünülen uçuş için önerdiği çizim Resim 2.1'de verilmiştir.

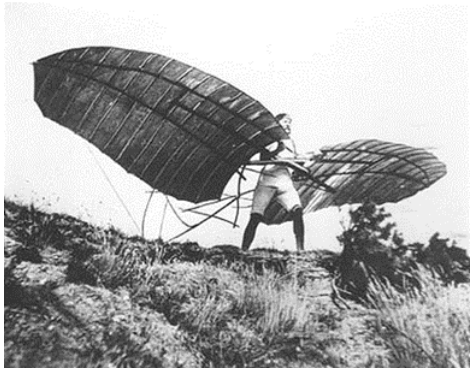


Resim 2.1. Leonardo da Vinci'nin ornithopter çizimleri [5]

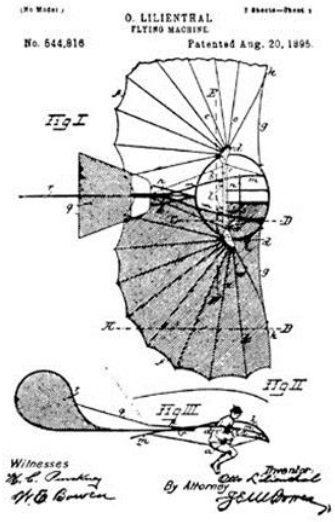
Havacılığın tarihçesi

Havacılık sahasında atılan ilk adımlar, genellikle en zor olan adımlardır. Havada bir kuş gibi özgürce süzülebilmek yüz yıl öncesine kadar inanılmaz bir rüya olarak kabul edilmekte olup o zamana değin yalnızca bir avuç vizyoner bu rüyanın gerçek olabileceğine inanmıştı. Bu vizyonerlerden birisi olan Otto Lilienthal kanatlı bir konstrüksiyon inşa ederek "Mark 3"

adını verdiği, Resim 2.2'de görülen konstrüksiyonla ileri doğru yaptığı bir koşunun ardından havalanmış ve 25 m. kadar uçtuktan sonra emniyetli bir şekilde yere konmuştu. Bu uçuş denemesi yapılırken tarihler 1891 yılını göstermekteydi. Halbu ki bugün kıtadan kıtaya uçuşları gerçekleştirmekte olan bizler, bu durumu sanki dünyadaki en doğal bir teknik imtiyaz gibi algılamaktayız. İnsanoğlu daha 1968 yılı gibi yakın bir tarihte aya ayak basmış ve o tarihten itibaren, derin uzaya uzun menzilli yolculuklar yapmak üzere çalışmalarına devam etmektedir. Oysaki Otto Lilienthal'in ilk 25 m.'lik uçuşu gerçekleşmeseydi, bütün bu havacılık faaliyetleri muhtemelen bugün bir rüya olmaktan öteye geçemezdi. Lilienthal 1891 yılında, "uçan bir makinayı tasarlamanın hiçbir şey sayılmayacağını, böyle bir makinayı inşa etmenin fazla bir şey sayılmayacağını, ama bu makinanın uçuş testini gerçekleştirmenin her şey sayılacağını" ifade etmiştir. Lilienthal'in patentini aldığı uçan makinasının çizimi, Resim 2.3'de görülmektedir [6].



Resim 2.2. Lilienthal'in 1891 yılında Almanya'nın Potzdam kenti dışındaki Derwitz yakınlarında yaptığı ilk uçuş testinde kullandığı konstrüksiyon [6]



Resim 2.3. Lilienthal'in 1895 yılında patentini aldığı uçan makinasının çizimi [6]

3. HAVA TAŞITLARINDA KAZA TANIMLARI, İSTATİSTİKLERİ VE TEORİLERİ

Kayıtlara geçmiş ilk uçak kazası Orville Wright tarafından kullanılan "Wright Uçağı" ile 17 Eylül 1908'de meydana gelmiştir. Motor pervanelerinin birisinin kırılması sonucu, uçak kontrolden çıkmış, bir kişi ölmüş ve bir kişi de ağır yaralanmıştır [7].

3.1. Hava Aracı Kazası Tanımı

19.10.1983 tarih ve 2920 sayılı Sivil Havacılık Kanunu altında yer alan 10.11.1985 tarihli Sivil-Hava Araç Kazaları Soruşturma Yönetmeliği SHY-13 (md.3/g)'de hava aracı kazası tanımlanmıştır [8]. Aynı tanım; Uluslararası Sivil Havacılık Örgütü (ICAO-International Civil Aviation Organization) tarafından yayımlanan "Hava Aracı Kaza ve Olay Araştırması" başlıklı 13'üncü Eki'nin hava aracı kazası tanımı uyarınca, yolcuların uçuş yapma niyetiyle bir hava aracına binme anından bu kişilerin tümünün indiği ana kadar uzanan zaman dilimi içerisinde, bir hava taşıtının operasyonu ile ilgili olarak, aşağıdaki durumların meydana gelmesi olarak tanımlanır:

- "Bir yolcunun,
  doğal nedenlerle yaralanmalar; kendi kendini yaralama veya başkası tarafından yaralanma, veya yolcu ve mürettebata tahsis edilmiş normal alanların dışında saklanan kaçak yolcuların maruz kaldığı yaralanmalar hariç olmak üzere,
- hava aracında bulunması, veya
- hava aracından ayrılan parçalar da dahil olmak üzere hava aracının herhangi bir kısmıyla doğrudan temas etmesi veya,
- jet itki egsozuna doğrudan maruz kalması,

nedenleriyle ölümcül ya da ciddi biçimde yaralanması, veya

- bir hava aracının,
  motor arızasının veya hasarının, hasarın motor, motor kaportası veya aksesuarları ile sınırlı kaldığı; veya hasarın pervaneler, kanat uçları, antenler, tekerlekler, frenler, gövde/kanat aerodinamik kaplamaları, hava aracı dış yüzeyindeki küçük ezilmeler veya delikler ile sınırlı kaldığı durumlar hariç olmak üzere,
- yapısal mukavemetini, performansını veya uçuş karakteristiklerini olumsuz etkileyen, ve

– etkilenen parçanın normal olarak büyük düzeyli onarımını veya bütünüyle değiştirilmesini gerektiren hasara veya yapısal bozulmaya uğraması, veya
– hava aracının kayıp olması veya enkazının bütünüyle erişilemez duruma gelmesidir [9].”

Bir hava aracı, resmi arama faaliyeti sonlandığı ve enkazın bulunamadığı durumlarda kayıp olarak mütalaa edilir [9].

3.2. Hava Aracı Yer Kazası Tanımı

SHY-13 (md.3/h)’da hava aracı yer kazası; şu şekilde tanımlanmıştır:

- “Hava aracının uçuş harekatı dışında, bakımı, onarımı, arızasının giderilmesi, yerde çalıştırılması, yer araçları veya insan gücü ile yerinin değiştirilmesi esnasında araç çarpmaları veya yangın, tabi afetler ve diğer sebeplerle hasara uğraması veya arızalanması ile sonuçlanan olaylardır [8].”

3.3. Hava Aracı Kaza ve Olayına İlişkin Diğer Tanımlar

Hava aracı kazasına ilişkin diğer tanımlar aşağıda yer almaktadır:

- “Uçuş operasyonu; planlanmış bir uçuş için uçuş mürettebatının hava aracına bindiği andan motorlarını durdurarak hava aracını yer sorumlularına teslim ettiği ana kadar geçen süre içindeki tüm faaliyetleridir.”
- “Olay; hava aracının operasyonuna ilişkin olarak uçuş emniyetini etkileyen veya etkileme potansiyeline sahip olan, kazalardan başka her türlü olgulardır.”
- “Küçük kaza; hava aracının operasyonuna ilişkin olarak bir veya daha fazla hava aracının hafif hasara uğraması ile sonuçlanan kazalardır [8].”
- “Büyük kaza; aşağıdaki üç koşuldan herhangi birisinin veya daha çoğunun ortaya çıktığı kazadır:

– Hava aracının tam hasar görmesi,
– Birden fazla ölümler olması,
– Bir ölüm olması ve hava aracının büyük ölçüde hasar görmesi [10].”

- “Kaza soruşturması; hava-araç kazalarının önlenmesi, can ve mal güvenliğinin sağlanması amacıyla; kazalara ait bilgilerin toplanması, kıymetlendirilmesi, kaza sebeplerinin belirlenmesi, sonucun karara bağlanması, gerekli tavsiye ve tekliflerin tespit edilmesi için yürütülen her türlü faaliyet ve işlemlerdir [8].”
- “Kaza sebebi; kaza veya olaya yol açan eylemler, eksiklikler, olgular, şartlar veya bütün bunların birleşimleridir [9].”
- “Ciddi yaralanma; bir hava aracı kazasında yaralanan şahıs veya şahısların; yaralanmanın meydana geldiği tarihten itibaren 7 gün içinde 48 saatten daha fazla süreyle hastanede yatmasını gerektirecek derecede yaralanması, burun veya el ve ayak parmaklarındaki kırılma gibi basit kırıklar hariç olmak üzere herhangi bir kemiğin kırılması veya şiddetli kanama geçirmesi, sinir, adele ve tendon kopmasına yol açan yaralanmalarını veya herhangi bir iç organ yaralanması veya ikinci üçüncü derece yanıklar da dahil vücudun yüzde beşinden fazlasının yanması, veya bulaşıcı madde yahut zararlı radyasyona maruz kalma halidir [9, 10].”
- “Ölümcül yaralanma; kaza tarihinden itibaren 30 gün içerisinde ölümle sonuçlanan bir yaralanmadır [10].”
- “Büyük hasar; hasar veya bozulma uçağın yapısal mukavemetini, performansını veya uçuş karakteristiklerini kötü yönde etkilemişse ve etkilenen parçanın büyük onarımı veya yenisiyle değişmesi gerekiyorsa hasara büyük hasar denilir. Bir motorun arızalanması veya hasarlanması sonucu sadece ilgili motorla sınırlı kalan motor arızası ya da hasarı, burkulmuş kaplama, yüzeyde çöküntü, yüzeyde delikler, rotor veya pervane pallerinde zemin hasarı, iniş takımı, tekerlekler, lastikler, flaplar, motor aksesuarları, frenler veya kanat uçlarındaki hasarlar büyük hasar olarak kabul edilmez [10].”

3.4. Kaza Teorileri

Kazaların oluşuma ilişkin teorilerden en önemli dört tanesi aşağıda verilmiştir:

- Sistem Teorisi
- Kombinasyon Teorisi
- Kaza/Olay Teorisi
- İnsan Faktörleri Teorisi

3.4.1. Sistem teorisi

Bir sistem, birlikte bütün oluşturan, düzenli biçimde karşılıklı ilişkide bulunan ve birbirlerini etkileyen bileşenler grubudur. Bu tanım, kaza analizine uygulanan sistem teorisinin temelini teşkil eder. Bu teori; bir kazanın oluşabileceği herhangi bir durumu insan, makine ve çevre bileşenlerinden oluşan bir sistem olarak ele alır. Bu bileşenlerin kaza oluşumundaki etkilerini değerlendirir.

3.4.2. Kombinasyon teorisi

Bir tek teori/modelin tek başına bütün hadiseleri açıklayamayacağını savunur. Bazı kazalar için, verilen bir teori/model oldukça kesin olabilir. Diğerleri için daha az kesin olabilir. Böylece, kazaların gerçek sebebi kombinasyon teorisine göre, birkaç farklı teori/model parçasının birleştirilmesiyle elde edilebilir.

3.4.3. Kaza/Olay teorisi

Kaza / Olay kuramı insan faktörleri teorisinin genişletilmiş bir hali olup, ilaveten ergonomik yetersizlikleri, hatalı karar verme ve sistem hataları gibi elemanları da kapsamaktadır. Bu teori/model aşırı yüklenmenin; ergonomik tuzaklara ve/veya hatalı karar vermeye ve insan hatası yapılmasına yol açtığı düşüncesini esas almaktadır. Hatalı karar verme bilinçli tercihle ve mantık temelinde olabilir veya bilinçsiz bir tercih de olabilir.

3.4.4. İnsan faktörleri teorisi

Bu teori/model, kazaları, olaylar zincirinin son aşamasında insan hatasının teşkil ettiği bir süreç olarak ele alır. Bu olaylar süreci, son aşaması insan hatasını içeren üç önemli faktörü kapsar. Bu faktörler; aşırı yüklenme, uygun olmayan tepki ve yerinde olmayan faaliyetlerdir [4].

3.5. Sivil Havacılıkta Ticari Jet Uçak Kazalarının İstatistiksel Özeti

Bu kısımda sunulacak istatistikler maksimum gros ağırlığı 60 000 pound'dan fazla olan dünyadaki jet motorlu sivil havacılık uçaklarıyla sınırlı olup, Boeing firması tarafından 2017 yılında yayımlanan verilere dayanarak hazırlanmıştır. Eski Sovyetler Birliği ülkeleri veya SSCB (Sovyet Sosyalist Cumhuriyetler Birliği) tarafından üretilen uçaklara ait operasyonel bilgilerin eksik olması nedeniyle bu bölümdeki istatistiksel veriler içinde bu uçaklara ait değerlendirmeler yer almamaktadır. Ayrıca, askeri uçaklar da analiz dışında tutulmuştur. Fakat askeri bünyede yer alan sivil ticari hizmet uçuşları bu bölümde belirtilen istatistiksel veriler içinde yansıtılmıştır. İstatistiksel çalışmada kullanılan bazı terimler Boeing firması tarafından aşağıdaki şekilde tanımlanmaktadır. Bu tanımların ICAO veya Amerika Birleşik Devletleri'nin Ulusal Ulaşım Emniyet Kurulunda (NTSB-National Transportation Safety Board) karşılık gelen eşdeğerleri yoktur.

Hava kazası oranları

Genel olarak oran ifadeleri, her bir milyon uçak seferi sonunda meydana gelen kaza sayısını belirtmektedir. Oranları hesaplamada sefer adetleri temel değer olarak alınmıştır. Bunun nedeni; kazalar ve sefer adetleri arasındaki istatistiksel korelasyonun, kazalar ve uçuş saatleri veya kazalar ve servisteki uçak sayıları veya kazalar ve yolcu milleri veya kazalar ve yük milleri arasındaki oranlara göre çok daha kuvvetli olmasıdır. Yeni bilgiler kullanıma girdikçe uçak sefer adet bilgileri sürekli olarak güncellenmekte ve düzeltilmektedir.

Uçak çarpışmaları

İki veya daha fazla uçağın söz konusu olduğu kaza vakaları, her bir uçak için ayrı bir vaka olarak, hesaplanan kaza sayılarına dahil edilmiştir. Örneğin, iki uçağın çarpışması sonucu meydana gelen hasar iki ayrı hava kazası olarak değerlendirilmiştir.

Ölümcül hava kazası

Ölümcül yaralanmalarla sonuçlanan hava kazaları ölümcül hava kazası olarak nitelendirilir.

Külli hasar

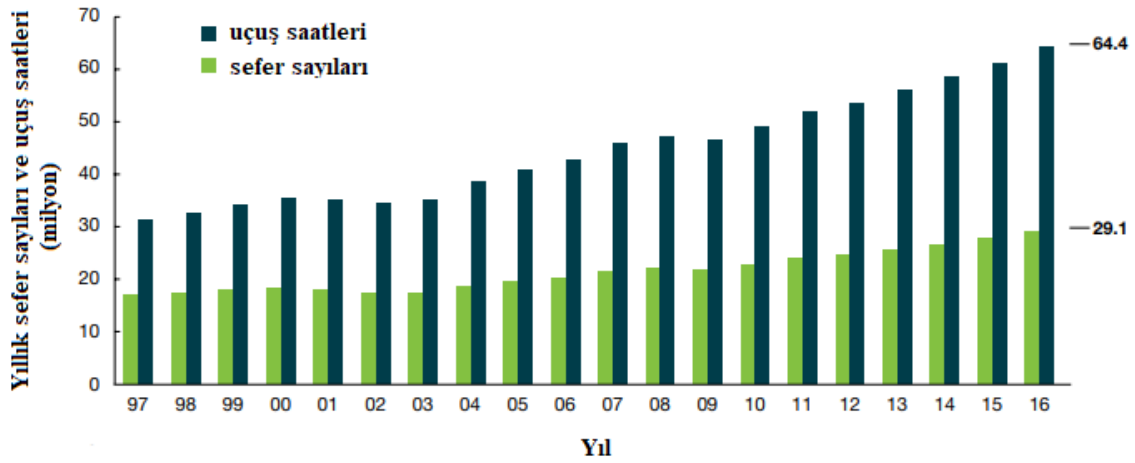
Uçağın tamamen harap olduğu veya hasar görüp onarılamaz durumda olduğu veya uçağın kayıp olduğu veya resmi araştırmaların sonlandırıldığı ve enkazın bulunamadığı ve uçağın kayıp olduğunun değerlendirildiği veya uçağın tamamıyla erişilemez durumda olduğu vakalar külli hasar olarak nitelendirilir [10].

3.5.1. Tüm dünyada faaliyet gösteren jet motorlu sivil havacılık uçaklarının sefer sayıları, uçuş saatleri ve hizmette bulunan jet motorlu uçakların istatistiği

Dünya çapında 1959 yılından 2016 yılı sonuna kadar

- 978 milyon uçuş saati Boeing uçaklarıyla olmak üzere toplam olarak 1389 milyon uçuş saati gerçekleştirilmiş olup, 520 milyon uçuş seferi Boeing uçaklarıyla olmak üzere toplam olarak 744 milyon uçuş seferi yapılmıştır.

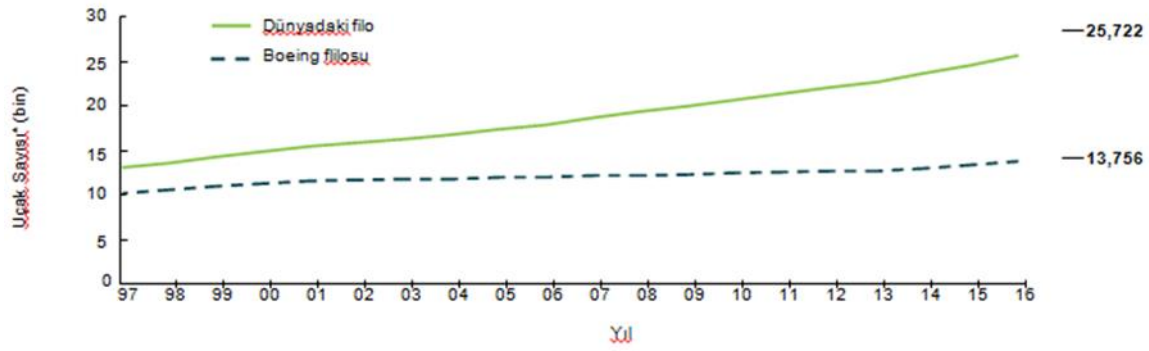
Dünya çapında 1997 yılından 2016 yılı sonuna kadar faaliyet gösteren jet motorlu uçakların uçuş sefer sayısı ve uçuş saati Şekil 3.1'de gösterilmiştir [10].



Şekil 3.1. 1997-2016 yılları arasında tüm dünyada faaliyet gösteren ticari jet motorlu sivil havacılık uçaklarının yıllara sari sefer sayısı ve uçuş saati

Tüm dünyada 1997-2016 yılları arasında, faaliyet gösteren maksimum kalkış ağırlığı 60 000 pound ve üzeri olarak sertifikalandırılan uçaklar ile statüsü geçici olarak uçmayan uçak olarak belirlenen uçakların ve hava yolları dışında kalan operatörler tarafından kullanılan uçakların dahil edildiği ancak askeri hizmetlerde kullanılan ticari uçakların ve SSCB yapımı

uçakların dahil edilmediği servisteki jet motorlu uçakların sayısına ilişkin istatistik Şekil 3.2'de gösterilmiştir [10].

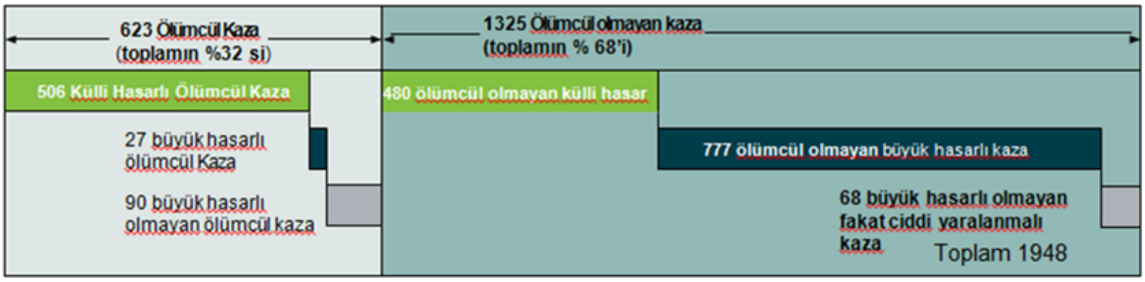


Şekil 3.2. 1997-2016 yılları arasında tüm dünyada faaliyet gösteren servisteki ticari jet motorlu sivil havacılık uçaklarının sayısı

3.5.2. Yaralanma ve hasarlara göre dünya ticari havacılığı kaza istatistiği

Şekil 3.3' de gösterilen, 1959-2016 yılları arasında meydana gelen toplam 1948 kaza, oluşan hasar derecesine ve yaralanmalara göre sınıflandırıldığında;

- 1325 (toplamın %68'i) ölümcül olmayan kazanın, 480'i külli hasarlı, 777'si büyük hasarlı ve 68' i büyük hasarlı olmayan fakat ciddi yaralanmalı kazalardan oluşmaktadır,
- 623 (%32) ölümcül kazanın, 506'sı külli hasarlı, 27'si büyük hasarlı ve 90'ı büyük hasarlı olmayan kazalardan oluşmaktadır [10].



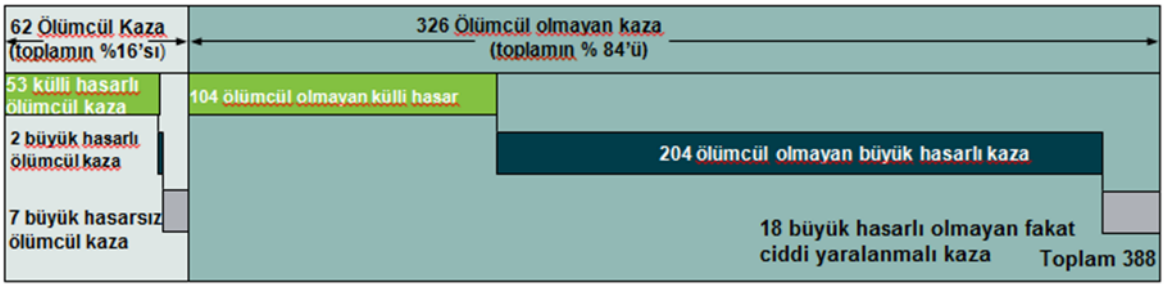
Şekil 3.3. 1959-2016 yılları arasında dünyadaki tüm ticari jet motorlu sivil havacılık uçaklarının kaza sayısı

Şekil 3.4' de gösterilen, 2007-2016 yılları arasında meydana gelen toplam 388 kaza, oluşan yaralanmalara ve hasar derecesine göre sınıflandırıldığında;

- 326 (toplamın %84'ü) ölümcül olmayan kazanın 104'ü külli hasarlı, 204'ü büyük hasarlı

ve 18'i büyük hasarlı olmayan fakat ciddi yaralanmalı kazalardan oluşmaktadır.

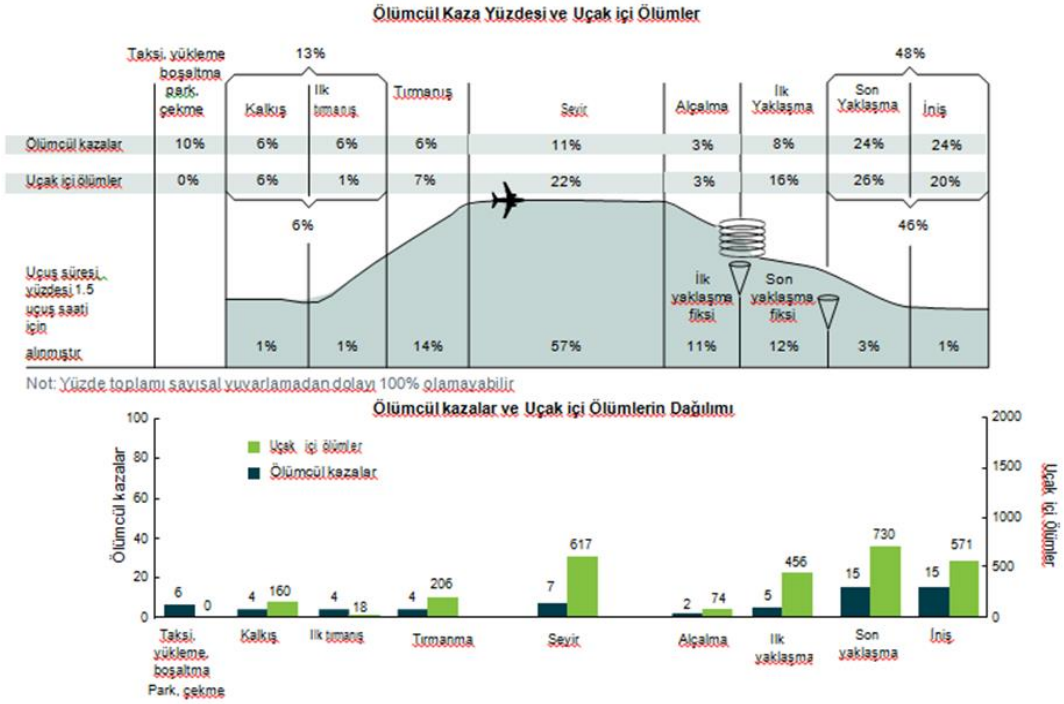
- 62 (%16) ölümcül kazanın, 53'ü külli hasarlı, 2'si büyük hasarlı ve 7'si büyük hasarlı olmayan kazalardan oluşmaktadır [10].



Şekil 3.4. 2007-2016 yılları arasında dünyadaki tüm ticari jet motorlu sivil havacılık uçaklarının kaza sayısı

3.5.3. Uçuşun safhalarına göre kaza istatistiği

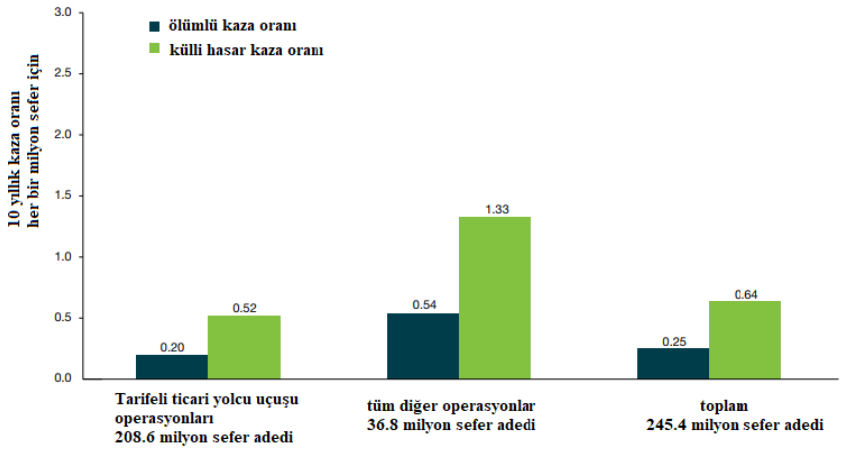
Bir uçuş görevi, başından sonuna kadar aynı işlemlerin tekrarlandığı bir faaliyet değildir. Her uçuş görevinin kendine özgü safhaları vardır. Şekil 3.5 incelendiğinde; kazaların %61'inin, uçuş süresinin sadece %6'sını oluşturan kalkış ve sonrasındaki başlangıç tırmanışı ile iniş ve hemen öncesindeki son yaklaşma safhalarında gerçekleştiği ortaya çıkmaktadır. Başka türlü ifade etmek gerekirse; ortalama 1,5 saatlik uçuşun ilk 1,8 dakikalık bölümü ile son 3,6 dakikalık bölümünde meydana gelen kazalar, tüm kazaların %61'ini oluşturmaktadır. Kazalar neticesinde meydana gelen ölümler incelendiğinde ise, ölümlerin %52'sinin belirtilen safhalarda meydana geldiği görülmektedir [10].



Şekil 3.5. 2007-2016 yılları arasında dünyadaki tüm ticari jet motorlu sivil havacılık uçaklarının uçuş safhasına göre ölümcül kazalar ve uçak içi ölümler dağılımı

3.5.4. Operasyon tipine göre kaza istatistiği

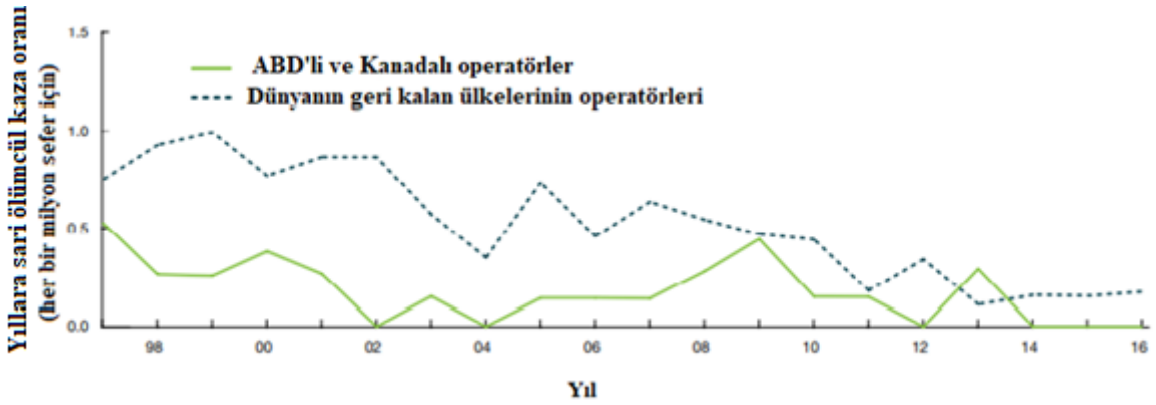
Şekil 3.6.'da 2007-2016 yılları arasında dünyadaki tüm ticari jet motorlu sivil havacılık uçaklarının, operasyon tipine göre ölümlü ve külli hasarlı 10 yıllık kaza oranları gösterilmiştir. Şekil 3.6'nın ortasında verilen tüm diğer operasyonlar deyimi ile anlatılan operasyonlar; çartır yolcu, çartır kargo, tarifeli kargo, bakım sonrası test uçuşu, taşıma uçuşu (ferry), intikal uçuşu, eğitim uçuşu, gösteri uçuşlarıdır [10].



Şekil 3.6. 2007-2016 yılları arasında dünyadaki tüm ticari jet motorlu sivil havacılık uçaklarının operasyon tipine göre ölümlü ve külli hasarlı 10 yıllık kaza oranları

3.5.5. ABD'li ve Kanadalı jet motorlu uçak operatörlerinin ölümcül kaza oranları

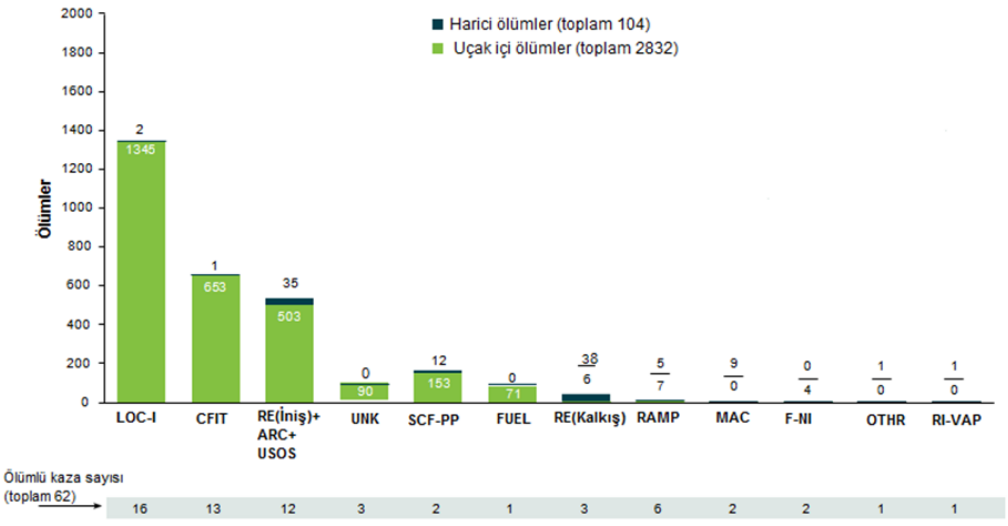
Şekil 3.7' de 1997-2016 yılları arasındaki ABD'li ve Kanadalı jet motorlu uçak operatörleri ile dünyanın geri kalan ülkelerinin operatörlerine ait her bir milyon uçuş seferi için yıllara sari ölümcül kaza oranları verilmiştir [10].



Şekil 3.7. 1997-2016 yılları arasında ABD'li ve Kanadalı jet motorlu sivil havacılık uçak operatörleri ile dünyanın geri kalan ülkelerinin jet motorlu sivil havacılık uçak operatörlerine ait yıllara sari ölümcül kaza oranları

3.5.6. Kaza oluş türlerine göre kaza istatistiği

Şekil 3.8.'de ticari jet motorlu sivil havacılık uçaklarının kaza oluş türlerine göre ölümcül kaza sayıları verilmiştir.



Şekil 3.8. 2007-2016 yılları arasında dünyadaki tüm ticari jet motorlu sivil havacılık uçaklarının kaza oluş türlerine göre ölümcül kaza sayıları

2007-2016 yılları arasında en yüksek ölüm sayısı olan 1347 sayısının "uçuşta kontrolü kaybetme" (LOC-I, Loss of Control-In Flight) ile gerçekleştiği, yine en yüksek ikinci ölüm sayısı olan 654 sayısının "kontrollü uçuşta araziye çarpma" (CFIT-Controlled Flight Into or Toward Terrain) ile gerçekleştiği bilinmektedir. Burada kullanılan diğer kısaltmalar;

RE (Excursion): kalkışta veya inişte uçağın pistten çıkması
ARC (Abnormal Runway Contact): anormal pist teması
USOS (Undershoot/Overshoot): pist başlangıcından önce /pist sonundan sonra, uçağın teker koyması
UNK (Unknown or Undetermined): bilinmeyen veya tanımlanamayan kaza oluş türü
SCF-PP **(**System/Component Failure or Powerplant: (sistem/komponent arızası veya güç grubu arızası)
FUEL: fuel (yakıt)
RAMP (Ground Handling): yer hizmetlerinin görüldüğü zemin üzerindeki kazalar
MAC (Midair/Near Midair Collision): havada çarpışma
F-NI (Fire/Smoke Non Impact): çarpma olmaksızın ateş/duman nedeniyle ortaya çıkan kaza
OTHR (Other): diğer nedenlerden oluşan kaza türleri
RI-VAP: Runway Incursion-Vehicle, Aircraft or Person : (makine, hava araçları veya insan tarafından pistin ihlal edilmesi nedeniyle oluşan kaza türü [10].

3.6. İnsan Faktörleri Teorisi

Kaza incelemesinin tek bir incelemeci veya bir inceleme ekibi tarafından yapılıp yapılmadığına bakılmaksızın, sistematik bir yaklaşımın kullanılması, sadece yeterli zaman ve yeterli kaynak ayrılırsa, insan faktörlerinin araştırılmasının incelemeye uygun şekilde entegre edilmesini ve sıradan bir faaliyet düzeyine indirgenmemesini sağlayacaktır. Böyle bir yaklaşımın kullanılması hem tek araştırmacı hem de araştırma ekibi için, vaka incelemesini daha verimli ve daha eksiksiz hale getirecektir.

İnsan faktörlerinin vakalarda araştırılmasının amacı, havacılık emniyetini aşağıdaki yollarla ilerletmektir:

a. İnsan performansındaki aksaklıkların vakaya nasıl neden olduğunu veya ne tür katkıda bulunduğunu belirlemek,

b. İnsan performansının limitleriyle ilgili emniyet tehlikelerini belirlemek,
c. Vakaya dahil olmuş herhangi bir kişi veya grup tarafından yapılan hatalı eylemlerin veya hatalı kararların sonuçlarını ortadan kaldırmak veya hafifletmek için tasarlanmış önerilerde bulunmak,

suretiyle ilerletmektir.

Böyle bir hedefe ulaşmak için, insan faktörü bilgilerinin toplanması ve analizi, incelemenin diğer alanları gibi metotlu ve eksiksiz olmalıdır. İncelemeyi kabin mürettebatının eylemlerinin araştırılmasının ötesine zorlamak ve olaya dahil olan herhangi bir şahsın veya grubun analizini dahil etmek gerekmektedir. Bu analiz, yönetimin, mevzuat koyucunun veya üreticinin araştırılması olabilir. Havacılık endüstrisi gibi karmaşık, etkileşimli ve iyi korunan bir ulaşım sisteminde, kazalar nadiren sadece ön saftaki operatörlerin eylemlerinden veya eylemsizliklerinden kaynaklanır. Çoğu kez kazalar, sistemde zaten mevcut olan bir dizi saklı faktörün etkileşiminden ortaya çıkar. Bir incelemenin yönetim ve üst amir kararlarından bakım faaliyetlerine ve pilot performansına kadar olan hemen hemen tüm cihetlerinde vakaların sebep sonuç ilişkisini açıklamaya yardımcı olabilecek insan performans faktörleri tanımlanabilir. Sadece ön saftaki operatörlere odaklanan bir inceleme, sistemik emniyet tehlikelerinin tanımlanmasına ve tavsiyelerin yapılmasıyla emniyet tehlikelerinin ortadan kaldırılması veya azaltılması fırsatına engel teşkil eder.

3.6.1. İnsan faktörleri çerçeveleri

Toplanması gereken insan faktörleri verileri;

a. İnceleyicinin her önemli vaka için ayrıntılı bir kronoloji oluşturmasını sağlayacak vakanın öncesi ve sonrası bilgiler,
b. İnceleyicinin, bu davranışlara gerçekte neyin yol açtığını açıklamasını sağlayacak bağlamsal bilgiler,

şeklinde iki geniş alana ayrılır.

Bu kronoloji, davranışları ve bunların kaza vakaları sıralamasına ne gibi etki yapabileceğini özellikle vurgulamalıdır. İnsan unsuru, vakalara üç şekilde katılabilir. Birinci katkı şekli emniyetsiz bir eylemle doğrudan katkıda bulunmaktır. Genel olarak bu katkı şekli vaka yerinde operatörün yaptığı aktif bir kusur olma eğilimindedir ve bu genellikle operatör,

kullanıcı veya pilot hatası olarak adlandırılır. İkinci katkı şeklinde insan unsurunun vakaya müdahil olması emniyetsiz koşulların alıcısı ve kullanıcısı olması dolayısıyladır. Üçüncü katkı şeklinde insan unsurunun vakadan önce yapılmış emniyetsiz bir eylem veya saklı bir kusur dolayısıyla emniyetsiz eyleme veya koşula dolaylı katkısıdır. Bu sonuncu katkı şekli, emniyetsiz eylemler ve koşullar arasındaki karşılıklı ilişkileri ya da bağları vurgular ve bu nedenle altta yatan nedenlerin ve katkı faktörlerinin çeşitli katmanlarını dikkate alma ihtiyacının altını çizer. Aşağıdaki dört çerçevenin açıklaması [SHEL modeli, Reason'ın Kaza Nedeni Modeli, Saklı Emniyetsiz Şartlar Çerçevesi (LUC), Davranış ve Hata Çerçevesi] altta yatan nedenlerin ve katkıda bulunan faktörlerin çeşitli katmanlarını belirlemek için ilgili vaka bilgilerini toplama ve analiz etme konusunda inceleyiciye yardımcı olacaktır [11].

3.6.2. Havacılıkta insan faktörlerini açıklayıcı modeller

"SHEL" modelinin havacılık kaza incelemelerinde insan hatalarının analizi için bir çerçeve olarak kullanılması 1993 yılında Uluslararası Sivil Havacılık Örgütü tarafından tavsiye edilmiştir. ABD Hava Kuvvetleri (US Air Force) ve Uluslararası Hava Yolları Pilotları Birliği (IFALPA-The International Federation of Airline Pilots' Assosiations) gibi diğer örgütler de incelemelerinin bir kısmını bu modelin üzerine kurmuşlardır. Bu modelde vurgu insan-makine arayüzünün, örneğin kontrol düğmelerinin, tuşların ve göstergelerin ergonomisi gibi, dizaynı hususlarına yapılır. Reason gibi bazı insan faktörleri profesyonelleri ve incelemecileri, motivasyon kaynaklı hareketlerin (örneğin ihlaller) ve gayet doğal olarak yapılabilen emniyetsiz davranışların (örneğin hatalar) birbirlerinden ayırt edilmesi gerektiğini belirtmişlerdir [3].

SHEL modeli

Veri toplamaya sistematik bir yaklaşım sağlamak için orjinali Edwards tarafından 1972'de geliştirilen ve Hawkins tarafından 1987'de modifiye edilen "SHEL" modeli Şekil 3.9.'da gösterilmiştir. Harfler ögeleri, etrafındaki kutularda blokları gösterir. "SHEL" modelinin her bir ögesi insan faktörü çalışmalarındaki yapıtaşlarından birini gösterir.



Şekil 3.9. SHEL modeli [11]

“Shel” modeli simgesi; “Software” (yazılım/sistem), “Hardware” (donanım/makine), “Environment” (çevre) ve “Liveware” (insan) sözcüklerinin baş harflerinden türetilmiştir. Diyagramın ortasında yer alan “L harfi” insanı gösterir ve sistem içindeki en kritik ve en esnek ögeyi temsil eder. Bu öge uçuş operasyonuna yerden ve havadan dahil olan herhangi bir insanı gösterir ve mürettebat ile sınırlı değildir. Bu merkezi öge “L harfi” içindeki her insan kendi fiziksel, fizyolojik, psikolojik, psikososyal limitlerini, streslerini getirir, kendisi tek başına hareket etmez, diğerleriyle etkileşim halinde kalır. Blokların özellikle de insan faktörünün sınırları, düz çizgiler şeklinde değildir. Bu nedenle, sistem içinde stres artışı ve olası bir bozulmadan (kaza) kaçınmak için blokların sınırlarını birbirleriyle iyi uyumlamak gerekir. İnsan faktörleri incelemesi, var olan ögelerin arasındaki uyumsuzlukları ve bunların vakaya katkılarını belirlemeli ve böylece araştırmalar esnasında toplanan bilgiler mükemmel bir araştırma yapmaya ve “SHELL” ögelerinin her birinin ortadaki öge olan insanla etkileşmesini analiz etmeye izin vermelidir. “SHEL” modelinde ögeler arasındaki ilişki şu şekildedir:

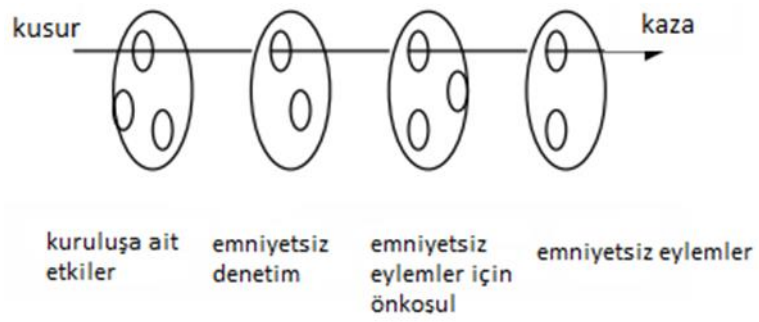
- Liveware-Hardware (İnsan-Makine): İnsan ve makine arasındaki herhangi fiziksel veya zihinsel etkileşimleri, dizayn limitlerini ve iş istasyonu konfigürasyonundaki özellikleri içerir.
- Liveware-Software (İnsan-Sistem): Bu etkileşim, insan ve destek sistemleri arasındaki bilgi transferinin doğası ile ilgilidir. Çeklistler, el kitapları, eğitim, prosedürler, semboller ve mevzuatlar gibi.
- Liveware-Environment (İnsan-Çevre): İki alt bölüme ayrılır:

– Dahili: Kişisel konfor ve fiziksel çalışma şartları
– Harici: Hava durumu, hava alanı çevresi, altyapı

- Liveware-Liveware (İnsanlar arası): İnsan etkileşimlerinin doğasını ve bireyler arasındaki iletişim bozulmalarını araştırır [11].

Reason modeli

Reason'ın yaklaşımı ilk olarak nükleer santraller için ortaya atılmıştır. Reason'a göre kazalar, o sistemi oluşturan ögeler arasındaki ilişkilerde bozukluk olduğu zaman meydana gelirler. Şekil 3.10'da görüldüğü gibi her seviyedeki hatalar deliklerle ifade edilmiştir. Bu yaklaşıma "İsviçre peyniri" (Swiss Cheese) adı verilmiştir. Reason, "İsviçre peyniri" modelinde insan hatasını birbirini etkileyen dört ayrı seviyede tanımlamıştır. Reason'ın modeline göre diğer seviyelerdeki saklı hatalar, sonuçta mürettebatın hatalı davranmasına neden olacaktır.



Şekil 3.10. İsviçre peyniri modeli [12]

1990'lı yıllarda James Reason tarafından geliştirilen Şekil 3.10'da verilen "İsviçre peyniri" modeli, kusurun ardışık dilimleri arasından geçmeye eşdeğer bir kazayla sonuçlanan tehlikeli bir durumu anlatır. Burada işaret edilen her bir dilim kazayı önlemek için tasarlanmış bir sistem veya süreçtir, ancak dilimler sistemdeki veya süreçteki hataları temsil eden deliklere sahiptir. Bu hatalar, zararlı sonuçlar doğurmadan kendiliklerinden sıklıkla ortaya çıkabilirler, ancak bu hatalar kusurun geçmesine imkan verecek şekilde ardışık dizildiklerinde, yani şekildeki delikler aynı hizada sıralandıklarında kaza meydana gelir [12].

James Reason (1990) tarafından önerilen bu model, insanların havacılık endüstrisi gibi karmaşık, etkileşimli ve iyi korunan sistemlerin bozulmasına nasıl katkıda bulunduğunu açıklamaktadır. Böyle bir sistemde, kazalar nadiren aktif hatalardan veya ön saftaki operatörlerin emniyetsiz eylemlerinden kaynaklanır. Reason'a göre, kazalar sistemde zaten bulunan bir dizi kusurun veya saklı hataların birbiriyle etkileşiminden kaynaklanır. Aktif ve

saklı olan iki tür arıza, sonuçlarının birbirine yakın olmalarına bağımlıdırlar. Aktif bir arıza, anında olumsuz bir etkiye sahip olan hata veya ihlal tipidir. Aktif hatalar genellikle ön saf operatörleri tarafından yapılırlar. Flap kolu yerine iniş takımı kolunu kaldıran bir pilotun eylemi bu arıza tipini temsil eder. Saklı arıza tipi ise bir kazadan önce yapılan bir karar veya eylemin sonucu olarak tanımlanır. Böyle bir arızanın olası olumsuz sonuçları hiç ortaya çıkmadan uzun süre sessiz kalmış olabilir. Bu arızalar genellikle karar vericiden, mevzuat koyucudan veya hat yönetim seviyesinden kaynaklanır, yani vakadan zaman ve uzay olarak uzakta bulunan insanlar söz konusudur. Örneğin zayıf motivasyon veya yorgunluğa yol açan politikalar gibi durumlar buna örnek olarak verilebilir. Şüpheli kararlardan veya yanlış eylemlerden kaynaklanan saklı arıza tipleri izole edildiklerinde zararsız olabilirler. Ancak, pilot, hava trafik kontrolörü veya teknisyen gibi ön saf operatörleri aktif bir hata yaptıkları zaman "fırsat penceresi" oluşturmak üzere etkileşime girebilirler. Böyle bir durumda saklı arızalar sistemin tüm savunmasını kırabilir ve kazayla sonuçlanabilir. Ön saf operatörleri bir sistemin kusurlarına maruz kalacak olan kurbanlardır. Teknik sorunlar, olumsuz koşullar veya bu operatörlerin kendi eylemleri o sistemde mevcut saklı arızaları ortaya çıkarır. İyi korunan bir sistemde saklı ve aktif hatalar etkileşime girerler, ancak savunma duvarlarını çoğu kez aşamazlar. Savunma duvarları işlev yaptığı zaman ortaya çıkan sonuç, küçük bir vaka veya en fazla olay olarak kalır, işlev yapmadığı zaman ise sonuç kaza olarak ortaya çıkar. Bu teoride kullanılan terimler, aşağıda tanımlanmıştır.

a. Üst yönetim kararları: Bu saklı arıza tipleri arasında, üst yönetim tarafından alınan kararlar, havacılık şirketinin yönetim kademesi veya mevzuat koyucu yetkililer tarafından alınan kararlar bulunmaktadır. Kaynakları tahsis ederken yönetim maliyete karşı emniyeti dengelemelidir. Bu hedefler çatışabilir ve sistem genelinde yansıtılacak hatalı kararlara neden olabilir.
b. Hat yönetimi eksiklikleri: Kusurlu olanlar da dahil olmak üzere yönetim kararları, standart işletme prosedürleri, eğitim programları, uçuş ve mürettebat planlama vb. vasıtasıyla hat yönetimi tarafından uygulanmalıdır. Bu düzeyde de kusurlar varsa bu yönetim kararlarının kaza potansiyelini artıracaktır.
c. Mevcut önkoşullar: Verimsiz bir ortam, kötü motive olmuş veya sağlıksız işgücü, kötü çalışma durumuna sahip makineler ve zayıf tesis edilmiş prosedürler gibi belirli özellikler veya ön koşullar sistemde mevcutsa, ön hat operatörlerinin eylemlerini etkileyebilirler ve emniyetsiz eylemlerin kaynağını oluşturabilirler.

d. Saklı hatalar: Yönetim seviyesindeki hatalı kararlar, hat yönetimi eksiklikleri ve işçi seviyesindeki mevcut ön koşullar sistemin saklı hatalarını gösterir.

e. Emniyetsiz eylemler: Emniyetsiz eylemler çok çeşitli formlarda olur ve hatalardan dolayı asla tamamen ortadan kaldırılamaz.

f. Savunma duvarları: Karmaşık ve iyi korunan bir sistemde bu saklı hatalar emniyet üzerinde önemli bir etkisi olmadan uzun süre var olduğu halde, yok gibi görünebilirler. Çünkü kontroller, prosedürler veya "yer yakın uyarı sistemi" (GPWS –Ground Proximity Warning System) gibi çok etkili savunma duvarları, bu kusurların birçoğunun sistemde ciddi sonuçlara yol açmadan aynı anda yanyana bulunmalarına izin verir.

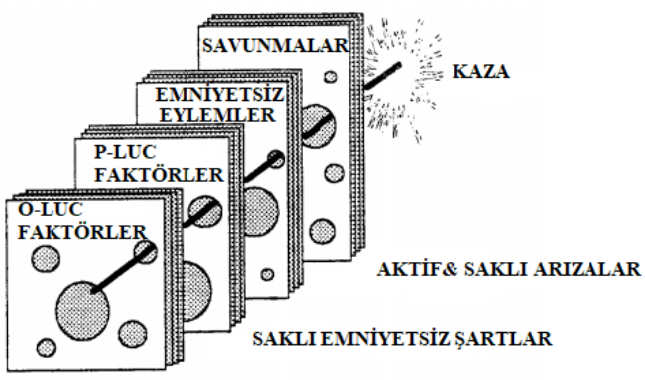
g. Fırsat penceresi: Emniyetsiz eylemler sistemde bulunan saklı hatalarla etkileşime girdiğinde bir kazanın oluşum sıralaması ortaya çıkar ve tüm sistem savunma duvarlarını aşar, böylece bir kazanın gerçekleşmesi için "fırsat penceresi" yaratılmış olur.

h. Özet: Pek çok emniyetsiz eylem bir sonuca varmadan etkisiz kalır, çünkü mevcut şartlar sistemdeki tüm eksikliklerin birbiriyle etkileşimini desteklemeden kalmaktadır. Bu nedenle incelemeciler, yalnızca ön saf operatörleri tarafından yapılan emniyetsiz eylemleri incelemekle kalmamalı, emniyetsiz eylemlerden ve yetersiz veya kaldırılmış savunma duvarlarından, kazanın oluşum sıralamasından üst yönetim seviyelerine kadar her hususu incelemelidir. Emniyetsiz eylemlerle yakından ilgili olanlara ilave olarak, daha yüksek seviyedeki eksikliklerin ele alınması, incelemecinin daha büyük bir vakalar kümesinin ortaya çıkmasını önleyici tedbirleri formüle etmesine izin verir.

Saklı emniyetsiz şartlar (LUC) çerçevesi

"Saklı emniyetsiz şartlar (LUC-Latent Unsafe Conditions) çerçevesi" kişisel ve örgütsel faktörleri sistematik anlamda incelemek için "Reason modeli" nin genişletilmiş halidir. Bu çerçeve, Reason'ın saklılık kavramı içindeki "SHEL modeli" nin ögelerini içerir. "Saklı emniyetsiz şartlar" ulaştırma sistemindeki emniyetli operasyonları veya bakımı olumsuz etkileyebilecek tüm saklı faktörleri içerir. Bunlara hem kişisel hem de örgütsel seviyedeki saklı faktörler dahildir ve bunların bütünü "LUC faktörleri" olarak adlandırılır. Vakaların ortaya çıkmasında şans unsurunun dahil olduğu belirtilmelidir, öyle ki operasyonlar aynı emniyetsiz şartlarla yıllardır sorunsuz yürütülürken ilave bir kötü şans ögesi denkleme eklenir ve operasyon trajediyle sonuçlanır. Bu yüzden "LUC" kısaltması bu şans ögesinin hatırlatıcısıdır. "Kişisel saklı emniyetsiz şartlar (P-LUC-Personal Latent Unsafe Conditions) faktörleri", bireyin zihinsel durumu, fiziksel iyilik vb. gibi faktörleri içerir; bu faktörler,

operasyonların emniyetini veya bakım faaliyetlerini olumsuz yönde etkileyebilir. Benzer şekilde "örgütsel saklı emniyetsiz şartlar (O-LUC-Organizational Latent Unsafe Conditions) faktörleri" vardır. Bu faktörler, bireyin bakış açısının ötesinde, operasyonlarda veya bakımda kişisel veya takım performansını olumsuz yönde etkileme potansiyeline sahip olan faktörlerdir. "P-LUC faktörleri" ve "O-LUC faktörleri", "Reason modeli" içinde Şekil 3.11'de gösterilmiştir [11].



Şekil 3.11. LUC faktörler

Kişisel LUC faktörleri (P-LUC)

Kişisel seviyedeki saklı emniyetsiz şartlar "P-LUC faktörleri" olarak bilinir. Bu faktörler hatayla sonuçlanabilecek şekilde bireyin beklenen performansını sınırlayabilir veya bozabilir. Zaman içinde tespit edilmeleri halinde "P-LUC faktörleri" nin potansiyel olarak olumsuz etkilerinin kişi veya örgüt tarafından hafifletilmesi çareleri bulunabilir. Bireysel düzeydeki gerçekleri derlemek ve onlardan bilgi sahibi olmaktan ayrı olarak, ulaştırma sisteminin kişisel sorunları tespit ederek uğraşması zor olabilir. Bununla birlikte, bazen bir "P-LUC faktörü" genel kapsamlı bir iyileştirmeye imkan verecek daha sistemik bir örgütsel "LUC faktörü"nün göstergesi olabilir. "P-LUC faktörleri" fiziksel, fizyolojik, psikolojik ve psikososyal faktörler olarak da nitelendirilir.

Örgütsel LUC faktörleri (O-LUC)

Örgütsel ve yönetim seviyesindeki saklı emniyetsiz şartlar "O-LUC faktörleri" olarak bilinir. Şirket yönetimi uygulamaları, mevzuat ortamı ve hatta çalışanların üyesi olduğu mesleki derneklerden kaynaklanan tutumları, hem operasyonlarda hem de bakımda insan

performansını olumsuz yönde etkileyebilir. Temel "O-LUC faktörleri"nden bazıları şunlardır:

a. Dizayn

(1) İnsan hatasından kaçınmak için insan/makine arayüzü gerekliliklerinin yetersiz olarak hazırlanması da dahil olmak üzere ekipmanın zayıf teknik tasarımı,

(2) Tüm "SHEL modeli" arayüzlerini hesaba katmayı başaramayan zayıf görev dizaynı.

b. Personel

(1) Emniyetli ve verimli iş performansı için gerekli bilgi, beceri ve tutumlara sahip personelin başlangıçtaki ve devam eden seçilmelerindeki yetersizlikler,

(2) Çalışanların işlerini emniyetli yapmaları için gerekli olan bilgi ve becerilerindeki eğitim yetersizliğinden kaynaklanan eksiklikler,

(3) Uygulamaların işletme veya bakım personeli için bireysel veya takım performansını tehlikeye atabilecek şekilde planlanması,

(4) Çalışanların belirtilen görevlere uygunluğunun sürekliliğini sağlamak için uygulanan personel izleme ve destekleme programlarındaki yetersizlikler,

(5) Çalışanlara işten çıkma konusunda teşvikler sağlayan ücretlendirme uygulamaları.

c. Prosedürler ve kabul edilen işletim uygulamaları

(1) Şirket tarafından saptanmış, takip etmesi zor, belirsiz, eksik, yanlış, erişilemeyen veya mevcut olmayan prosedürler,

(2) Kabul edilmiş, öngörülen prosedürlerden farklı olan ve hatalara yol açabilecek koşullar yaratan, işletme veya bakım uygulamaları.

d. İletişim

(1) Emniyetli ve etkin operasyonlar ve bakım için gerekli ve alıcılar tarafından net, açık ve anlaşılır bir biçimde gönderilmeyen, alınmayan veya anlaşılmayan bilgiler,

e. Örgüt

(1) Örgütün işletme felsefesi ve politikasındaki hataya yol açan koşulları oluşturan kusurlar,

(2) Örgütsel hedeflerin üretim hedeflerinin güvenli bir çalışma ortamının sürdürülmesi ile çelişkili olması nedeniyle uyumsuz olması,

(3) Kurumun yapısındaki veya iş yapma biçimindeki, yönetim ve operasyonlar veya bakım arasında etkili iç iletişimi engelleyen eksiklikler,

(4) Kuruluşun emniyet ortamındaki emniyet sorumluluklarının kötü tanımlanmasına ve uyarı işaretlerinin göz ardı edilmesine sebep olan eksiklikler.

f. Çalışma alanı

(1) İşyerinde bireysel ya da takım performansını etkileyen fiziksel koşullar nedeniyle emniyetsiz eylemlerde bulunma veya emniyetle ilgili hatalar yapma.

g. Mevzuata genel bakış

(1) Ulaştırma operasyonları ve bakımı ile ilgili kural ve mevzuattaki eksiklikler,

(2) Ekipman, personel ve/veya prosedürlerin sertifikasyonu ile ilgili eksiklikler,

(3) Ulaştırma operasyonlarında ve bakımında gözetim, denetim ve kontrol eksiklikleri.

h. Dernekler ve sendikalar

(1) İnsan hatası ve emniyetsiz eylemlere elverişli koşullar yaratan felsefeler, politikalar veya uygulamalar.

ı. Savunma duvarları

(1) Bilinen risklerin tanımlaması, yayılması ve bunların yönetilmesi ve emniyet bilinci konusundaki eksiklikler,

(2) Emniyetli olmayan bir vakanın zamanında ortaya çıkmasını sağlamak üzere personele yeterli tespit ve uyarı sistemleri sağlamadaki eksiklikler,

(3) Sistemin hata toleransındaki, emniyetli olmayan bir durumdan, yaralanma veya hasara uğramadan kurtulmanın zor olmasına neden olan eksiklikler,

(4) Sistemin acil müdahale yeteneklerindeki kazanın sonuçlarını ağırlaştıran eksiklikler.

Davranış ve hata çerçevesi

Aşağıda davranış türleri, insan hatası, davranış ve hata arasındaki etkileşimin bir açıklaması verilmiştir. "Davranış/hata çerçevesi", öncelikle Rasmussen'in (1987) "davranış sınıflandırması" ve Reason'ın (1990) "jenerik hata modelleme sistemi (GEMS-Generic Error Modeling System) çerçevesi"nden uyarlanmıştır. Bu uyarlama, arızanın meydana geldiği sırada, hatanın bireyin davranışı ile ilişkilendirilmesini kolaylaştırır.

Davranış türleri

İnsanların nasıl hata yaptığını anlamak için, ilk olarak nasıl davrandıklarına bakmak gerekir. Rasmussen (1987), üç farklı karar verme düzeyine dayalı performans tanımlaması sağlayan davranışlar sınıflandırması belirlemiştir. Aşağıdakiler bu üç performans seviyesinin açıklamasıdır.

a. Beceriye dayalı performans: İyi öğrenilmiş bir faaliyette bulunan kişinin davranışını açıklar. Eylemler bellenmiş rutinlere dayanma eğilimindedir. Beceri temelli performans, büyük ölçüde, biraz olsun varsa bile, bilinçli karar vermenin çok az olduğu otomatik bir cevaptır.
b. Kurala dayalı performans: Kurala dayalı performans daha az otomatiktir. Kararlar öğrenilmiş prosedürlere dayanır. Bu prosedürler uzun süreli hafızada saklanır ve karar verme merkezinin ve hafızanın katılımını gerektirir çünkü kurala dayalı davranışlar bilinçli seviyede harekete geçirilir. Cevap; "durum buysa tanı budur, eğer tanı bu ise, o zaman düzeltici eylem budur" gibi bir "eğer öyleyse" algoritması tarafından yönetilir.
c. Bilgiye dayalı performans: Bilgiye dayalı performans, bir operatörün yeni durumlarla karşılaştığı zaman ortaya çıkan davranıştır. Böyle durumlar için önceden belirlenmiş az sayıda kural vardır, ancak bu durum uygun bir eylem icra edilmesini gerektirir. Kararlar kılavuz kuralları olmadan operatörün bilgi ve deneyimine dayanır.

İnsan hatası

Niyet edilenden sapan veya niyet edilmeyen eylemler (yani planlandığı gibi ilerlemeyen eylemler) ve niyet edilenler (yani planlandığı gibi devam eden ancak istenen sonuçları elde edemeyen eylemler) gibi iki farklı hata kategorisi vardır. Hatalar daha fazla türlere de bölünebilirler ve bu türler büyük ölçüde planlanmış eylem kavramını incelemeye bağlıdırlar. "Niyet etme" ölçütlerinin, hata yapma niyetiyle ilgili değil ancak eylemin kendisiyle ilgili olduğuna dikkat etmek önemlidir.

a. Niyet edilmeyen eylemler: "Gerçekleştirilen eylem, planlanan eylem miydi?" sorusunun cevabı hayır ise, niyet edilmeden yapılmış bir eylem gerçekleşmiş olur. Bir hata ile sonuçlanan niyet edilmeyen eylem, nasıl bir eylemin icra edilmesinin hedeflendiği ile gerçekte nasıl bir eylemin ortaya çıktığı arasındaki farkı içeren eylem icrasının yetersizliğinden doğar. Hangi eylemin meydana gelmesi gerektiği ile gerçekte hangi eylemin yapıldığı arasında bir fark olması nedeniyle ortaya çıkar. İcradaki hata genellikle küçük bir hata ya da bir yanılmadır. Küçük hatalar genellikle eylemin yürütülmesine yeterince dikkat edilmemesi sonucu ortaya çıkar. Niyet edilen konum, kumanda anahtarını "açık" konumuna getirmek olduğu halde, operatörün bakmadan anahtara ulaşması ve kumanda anahtarını "bekleme" konumundan "kapalı" konumuna getirmesi, küçük hataya örnek teşkil eder. "Yanılma" ise hafıza hatasından kaynaklanan, niyet

edilmeyen bir eylemdir. Bir mürettebatın bir görev esnasında bir dizi talimatı icra ederken ilgili adımlardan birini unutması yanılmaya örnek teşkil eder. Hata küçük bir hata da olsa bir yanılma da olsa planlanan eylem durum için doğru eylem olmasına rağmen, mürettebatın eylemi doğru şekilde icra edememesinden kaynaklanır.

b. Niyet edilen eylemler: "Gerçekleştirilen eylem, planlanan eylem miydi?" sorusunun cevabı evet ise, buna "niyet edilen eylem" denir. Niyet edilen eylemin planlamasındaki bir yetersizliği içeren bir hata veya ihlal ile sonuçlanan niyet edilmiş eylem uygun bir eylem değildir. Planlamadaki bir yanlışlık ya bir hata ya bir ihlal olarak kabul edilir. Bu hata türüyle, eylem planlandığı gibi ilerler, ancak istenen sonuçları elde edemez; başka bir deyişle, hata planlamadadır. Bu, durum için yanlış bir eylem olur. Hatalar, çoğunlukla düşünce ve karar alma sürecindeki yetersizliklerdir. Hatalar, sıklıkla küçük hata ve yanılmalardan daha incelikli olup, hatalı eylemin icrasıyla bunun fark edilmesi arasında uzunca bir zaman geçebilir. Yanlış eylemi yapma arzusunun bulunmadığı hatalar, bir kural ya da plana aykırı bir şekilde kasıtlı olarak kararın verildiği bir ihlalden ayırt edilebilir. İhlal terimi, onu temel hata tipleri olan küçük hata, yanılma veya hata tiplerinden farklılaştıran bir kural veya bir planın önceden bilinerek ayar edilmesi veya değiştirilmesini belirtir. Niyet edilen eylemlere rağmen, bazı ihlaller (yani rutin ve istisnai ihlaller) doğru şeyi yapmaya çalışan insanları içerir ve kötü niyetin olduğu sabotajdan farklıdır. Rutin ihlaller, insanlar sıklıkla kötü tasarlanmış veya kötü tanımlanmış iş uygulamalarından dolayı çoğu kez iş prosedürlerine körü körüne uymadıkları için veya onları düzenli olarak tadil ettikleri için her zaman vuku bulurlar. Buna mukabil istisnai ihlaller, çernobil gibi bir emniyet testinin yürütülmesini teminen, emniyet mevzuatının kasıtlı olarak ihlal edildiği iş uygulamalarının bir sefere mahsus ihlalinden ortaya çıkarlar. Ancak, oradaki amaç kötü niyetli bir eylem gerçekleştirmek değil, aslında sistem emniyetini arttırmaktı.

Davranış / hata çerçevesi

Reason'ın GEMS'i (1990), Rasmussen'in beceri-kural-bilgiye dayalı davranış sınıflandırmasını temel insan hata türleriyle birleştiren bir çerçeve sunmaktadır. Bunun sonucu aşağıdakileri verir:

a. Beceriye dayalı küçük hatalar ve yanılmalar
b. Kurala dayalı hatalar

c. Bilgiye dayalı hatalar

Glendon ve McKenna'ya (1995) göre, ihlallerin tipik olarak kurala dayalı ve bazen bilgiye dayalı olduğu iddiası öne sürülmüştür. Ancak, Hudson'a (1991) göre, bir bilginin değerlendirilmesi (örneğin, bir kural veya plan) ihlal ile ilişkili olduğu için, bu tür bir yetmezliğin en sık olarak bilgiye dayalı performans düzeyinde gerçekleştiği görülmektedir.

a. Beceriye dayalı küçük hatalar ve yanılmalar

Eğer yanlışlık beceriye dayalı performans içeriyorsa, dikkatsizlik veya aşırı dikkat istemesi nedeniyle bir küçük hata ya da yanılma meydana gelecektir. Dikkatsizlik, ilerleme süreci esnasında gerekli bir dikkat kontrolünün yapılmaması hatasıdır. Aşırı dikkat, eylemler dizisi esnasındaki uygun olmayan bir zamanda dikkat kontrolü yapılmasını içerir. Dikkatsizlik; süren bir eylemi kesintiye uğratmak kadar basit bir şeyden kaynaklanabilir; bu durumda, operatör gerekli kontrolü ihmal eder, çünkü harici bir olay yüzünden rahatsız edilmiştir ya da dikkati dağılmıştır. Örneğin kontrol listesi prosedürü uygulanırken gelen bir telsiz araması, operatörün kontrollerden birisini gözünden kaçırmasıyla sonuçlanır. Aşırı dikkat bir unutmayla da sonuçlanabilir. Operatör, işlem sırasının icrası esnasında gerçekte olduğundan daha ileri bir noktada olduğunu sanmaktaysa, dizideki gerekli bir adımı atlayabilir.

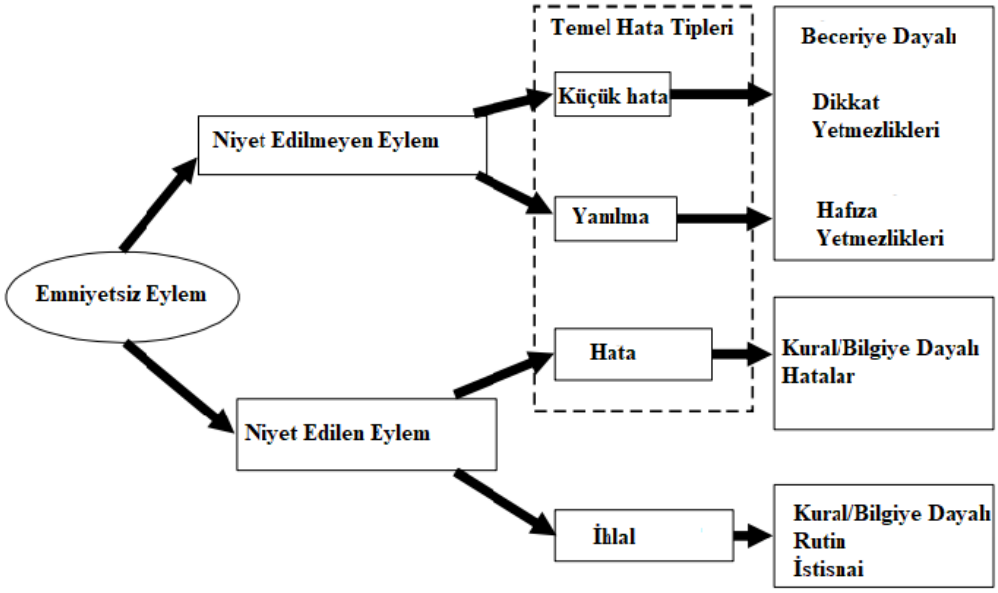
b. Kurala dayalı hatalar

Hata kurala dayalı performans içeriyorsa ya kötü bir kural uygulandığı için veya iyi bir kural yanlış uygulandığı için, bir hata oluşur. Kötü bir kural, ya yanlış, etkisiz veya tavsiye edilemez bir kuraldır. İyi bir kural, belirli koşullar altında yararlı olduğu kanıtlanmış olan kuraldır. İyi bir kuralın yanlış uygulanmasını içeren bir hata, uygulanan kuralın özel durumlar için artık uygun olmadığı durumdur.

c. Bilgiye dayalı hatalar

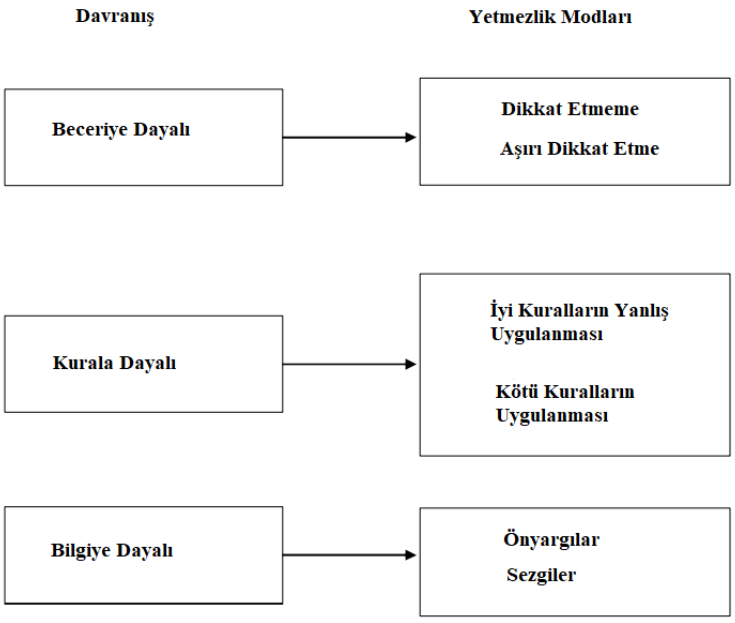
Hudson'a (1991) göre, verilen bir duruma hiçbir kural uymuyorsa, yeni çözümler veya planlar formüle edilmelidir. Çözümlerin veya planların formülasyonu esnasında ortaya çıkan veya bilgiye dayalı performans olarak tasnif edilen yanlışlık, bir hatadır. Bu hatalar, operatörün sorunlu alanın hassas doğrulukta bir zihinsel modelini oluşturmak için gerekli tüm bilgilere sahip olmaması nedeniyle ortaya çıkar. Bu seviyedeki "yetmezlik modları" önyargılardan ortaya çıkabilir. Bu önyargılara örnek olarak, operatörün gerçek olduğuna inandığı durumu doğrulayan bilgiyi aradığı ve seçilen hipotezle tutarsız olan bilgiyi göz ardı ettiği önyargılar verilebilir [11].

Reason'dan 1990 yılında uyarlanan "jenerik hata modelleme sistemi çerçevesi" Şekil 3.12'de gösterilmiştir.



Şekil 3.12. Jenerik Hata Modelleme Sistemi (GEMS-Generic Error Modeling System) [11]

Her bir seviyedeki performans bağlamında (davranışlar kategorisi) bir yetmezliğin ortaya çıkabildiği değişik yollar veya modlar bulunmaktadır. Bu, "davranışlar" ve "yetmezlik modları" Şekil 3.13'de verilmiştir.



Şekil 3.13. Operatör davranışının yetmezlik modlarına göre taksim edilmesi

Reason modeli, sistemik bir araştırmada kullanılabilecek tek olası metot veya çerçeve değildir. Yönetim Gözetimi ve Risk Ağacı (MORT- Management Oversight and Risk Tree), İnsan Faktörleri Analiz ve Sınıflandırma Sistemi (HFACS-Human Factors Analysis and Classification System), Tehdit ve Hata Yönetimi Çerçevesi (TEM-Threat and Error Management Framework) gibi diğer metotlar faydalı olabilir ve örgütsel incelemeci incelemeyi belirli bir modelle sınırlamaya mecbur hissetmemelidir. Sistematik bir model veya süreç kullanmanın önemi, vakaya yol açan eksikliklerin nedenlerine veya sorumluluklarına ilişkin önyargıda bulunmaksızın, incelemenin tüm yönlerinin mükemmelen ayrıntılı bir şekilde değerlendirilmesini temin etmesindedir.

3.7. Uçuş Kayıt Cihazları ve Diğer Veri Kaynakları

İncelemede kullanılabilecek pek çok potansiyel veri kaynağı vardır. Verilerin çoğu diğer inceleme grupları tarafından toplanmaktadır. İnceleme gurubu çeşitli veri kaynaklarının bazı durumlarda kendi aralarında çelişebileceğini hesaba katmalıdır. Böyle durumlar bazen güvenilmez bir bilgi kaynağı olabilen görgü tanığı ifadeleri için özellikle ortaya çıkabilir. Mevcut tüm veriler derlenmeli ve analiz için en doğru ve en uygun verileri belirlemek üzere dikkatle incelenmelidir. Bazı durumlarada uçuş veya yer testleri, simülasyonlar vb. ile elde edilebilecek ek verilere ihtiyaç duyulabilir. Nihai analiz için hangi verilerin, varsa, kullanılmadığını ve bunun nedenlerini belirtmek iyi bir uygulama olucaktır.

3.7.1. Uçuş kayıt cihazları

Uçuş kayıt cihazları terimi, kaza/olay incelemesini bütünselleştirmek amacıyla hava araçları üzerinde tesis edilebilecek çeşitli kayıt cihazlarını kapsar. ICAO hava kazalarının incelenmesi amacını sağlamak üzere genellikle FDR ve CVR cihazlarının fonksiyonlarını içselleştiren kazaya dayanıklı kaydetme cihazlarının kullanılmasını zorunlu kılmaktadır. Bununla birlikte, pek çok hava aracında günlük hava yolu operasyonları için rutin olarak kullanılan ancak kazaya dayanıklı olmayan başka kayıt cihazları da bulunur. Günlük operasyonlar için kullanılan bu sonuncu kayıt cihazları, incelemeciler için çok yararlı olabilirler ve kazaya karşı korumalı olmasalar bile sıklıkla kazadan sağlam çıkarlar. Aynı ünite içerisinde birden fazla fonksiyonu kaydeden kombine edilmiş kayıt cihazları da giderek yaygınlaşmaktadır. Kazaya dayanıklı kayıt cihazları, bir kazaya karşı dayanıklı olma potansiyelini maksimize etmek için, büyük darbe kuvvetlerine, kısa ve uzun süreli

yangınlara, delinip girilmesine ve diğer çevresel koşullara dayanacak şekilde tasarlanır. Genellikle yangınlar, kayıt cihazları içindeki ortamların dayanıklılıklarının bozulması için en yaygın nedeni oluşturur. Kazadan sağlam çıkma özelliğine sahip olan veya olmayan ve sıklıkla uçuş kayıt cihazı adı verilen bu farklı tiplerdeki kayıt cihazlarının örnekleri aşağıda sıralanmıştır.

Uçuş kayıt cihazı tipleri

a. FDR cihazı; hava aracının veri sistemlerinden veri parametrelerini kaydeden, kazaya dayanıklı bir sistemdir. Eski tip uçaklarda söz konusu parametreler FDR cihazının kayıt etmesi için tahsis edilebilir, ancak yeni tip uçaklarda bu parametrelere zaten uçağın işleyişi için ihtiyaç duyulur ve uçak tarafından operasyonunda kullanılır. Bu sonuncu tip uçaklarda veri parametreleri kendiliğinden mevcut bulunur ve FDR cihazı tarafından kaydedilir. Pek çok devlet kaydedilmesi zorunlu addedilen asgari sayıda parametre kaydedilmesini gerekli bulur, ancak en yeni üretilen hava araçlarının FDR cihazları zorunlu kılınan asgari parametre sayısından daha fazla olan çok büyük sayıdaki parametreleri kaydeder [11].
b. CVR cihazı; pilot mahallindeki dahili akustik ortamı ve mürettebatın hava aracı içerisinde radyo iletişimi ile birlikte dahili konuşmalarını bir pilot mahalli mikrofonu (cam-cockpit area microfone), ses yükseltici (boom) mikrofonları ve genel anons sistemi (P.A.Public Adress) ve dışarıyla telsiz iletişimleri aracılığıyla kaydeden, kazaya dayanıklı bir sistemdir.
c. Uçuş esnasındaki pilot mahalli görüntü kayıt cihazları (AIR-Airborne Image Recorders); pilot mahalli görüntülerini çekmeyi ve kaydetmeyi amaçlayan kazaya dayanıklı bir sistemdir. Diğer kayıt cihazlarının kaydetmediği durumlar AIR ile tespit edilebilir. Muhtelif büyük kazalarda ortaya çıkan durumlar bu imkanın gelecekte getirebileceği potansiyel faydalarını vurgulamaktadır.
d. Veri bağlantı kaydı; hava aracıyla yer istasyonları arasında iletilen dijital mesajları kaydeden, kazaya dayanıklı bir kayıttır. Bu iletişim yöntemi, bir hava aracıyla hava trafik kontrolü arasındaki geleneksel ses kayıtlarının çoğunun yerini almaktadır. Veri bağlantısı kayıtları tipik olarak CVR cihazı ile aynı süreye sahiptir.
e. Kombine kayıt cihazı; kombi, tek bir kutuda birden fazla işlevi kaydeden kazaya karşı dayanıklı bir birimi ifade eder. Tipik olarak bir kombi FDR ve CVR işlevlerini içerir, ancak uygulanabilir olduğunda görüntü ve veri bağlantısı kaydı özelliklerini

barındırabilir. Çoğu devletler kombine kayıt cihazları kullanılmaktaysa, yedek kullanım için büyük ticari uçaklara monte edilen en az iki kutu olmasını gerekli bulmaktadır. Ticari uçakta biri uçağın ön kısmına biri de arka kısmına yerleştirilebilir.

f. Hızlı erişim kayıt cihazı (QAR-Quick Access Recorder) / Doğrudan erişim kayıt cihazı (DAR-Direct Access Recorder); veri parametrelerini kaydeden, kazaya dayanıklı olmayan bir sistemdir. Uçuş verilerini elde etme kolaylığı için çıkarılabilir bellek birimi bulunan veya kablosuz veri indirme seçeneğine sahip olan bu cihaz, FDR cihazına nazaran daha uzun süreli verileri saklar. QAR ve DAR'lar, FDR cihazı ile aynı veri akışlarını kaydedebilir ve bazı durumlarda ilave parametreleri barındıran değişik veri akışlarına da sahip olur.

Her devletin kaza incelemesi yetkililerinin, bu devlette kayıtlı olan her bir operatörün ve hava aracı tipinin, FDR cihazlarının ve CVR cihazlarının konumlarını ve tiplerini gösteren listeyi tutmaları istenir. FDR, QAR ve DAR cihazları sıklıkla hacimli bilgileri kaydederler, CVR cihazından gelen bilgilerle birlikte ele alındıklarında, çoğu durumda kazayı mükemmelen incelemek için gerekli tüm bilgileri sağlayabilirler. Bu cihazları enkazdan çıkartmaya yüksek öncelik verilmelidir ve çözümlenmeleri en kısa zamanda gerçekleştirilmelidir. İncelemeyi yürüten devletin yeterli çözümleme kabiliyeti bulunmamaktaysa, kayıt cihazları bu kabiliyete sahip olduğu bilinen başka bir devlette bulunan uygun bir tesise götürülmelidir. Bazı devletler toplu taşıma kategorisindeki hava araçlarına uçuş kayıt cihazı takılmasını hukuken zorunlu kılarken, geriye kalan diğer devletler ise bu cihazların kullanımları için idari düzenlemeler yapmakla yetinir.

Yerleştirme ve korunma

Kazadan sağlam çıkması amaçlanan uçuş kayıt cihazları tipik olarak fiziksel çarpma ortamında daha az fiziksel hasar almaları en muhtemel yer olan uçağın kuyruğuna (basınçlı veya basınçsız alanda) yerleştirilir. Kombine kayıt cihazları söz konusu olduğunda (iki kombine kayıt cihazının yerleştirildiği durumlarda) iki cihazdan birinin kuyruk bölmesine, diğerinin de uçağın burun bölgesine yerleştirilerek ayrı ayrı konulması önerilir. Uçağın burun bölmesi kaza koşulları açısından daha kuvvetli fiziksel darbe almaya açık bir ortam olmakla birlikte kokpit mikrofonlarına daha kısa bir mesafede bulunur. Böylece incelemelerde gayet kritik olabilecek akustik bilgilerin son milisaniyesine erişme olasılığı artmış olur. Uçuş kayıt cihazları için kazaya karşı koruyucu muhafaza, bu amaç için

yayınlanan kabul edilmiş uluslararası standartları karşılayacak şekilde tasarlanmalıdır. Avrupa Sivil Havacılık Teçhizatları Örgütü (EUROCAE- European Organization for Civil Aviation Equipment) standartları, kazadan korunma açısından kabul edilen uluslararası standarttır. Uçuş kayıt cihazları elektrik güçlerini, uçak operasyonunun diğer hayati ve acil durum servislerine gereken yüklerin karşılanması tehlikeye atılmadan, kayıt cihazının çalışması için maksimum güvenilirlik sağlayan "bus bar" dan temin etmelidir.

Uçuş kayıt cihazlarının konumlarına erişim ve bilgilerinin çıkartılması

Bir uçak kazası faciasından sonra uçuş kayıt cihazlarına erişilmesi ve bilgilerin çıkartılması zor bir iş olabilir. Kayıt cihazlarının konumlarının belirlenmesine yardımcı olmada neyin aranacağı konusundaki rehberlik gerekli olur. Cihazların normal zamandaki tanıdık görünümleri, yangın ve çarpma içeren bir kaza esnasında tamamen değişebilir ve bu durum cihazların kolayca tanınamaz hale gelmesine yol açar. Kayıt cihazları kazadan sağlam çıkmayla ilgili sıkı standartlara göre test edilirler. Kazanın koşulları bazı durumlarda tasarım limitlerini aşar ve cihazın koruma kabı hasar alır. Bu durumda, kayıt cihazlarını bulmak daha zor olabilir. Örneğin, bir kazanın ardından şiddetli yangın çıkmışsa, kayıt cihazlarının koruma kabı kararabilir ve parlak turuncu rengini kaybedebilir. Buna ilaveten normal olarak ünitenin en ağır parçasını teşkil eden kayıt ortamını içeren kazaya dayanıklı koruma kabı ciddi bir darbe alarak onu yerinde tutan yuvasından dışarı fırlayabilir. Kaza bilgilerinin geriye kazanılması amacına yönelik olarak, kayıt cihazının sinyal işlemesi yapan parçasını değil, fakat kayıt cihazının belleğini barındıran bu modülü elde etmek önemlidir. Resim 3.1. kaza sonrasındaki kayıt cihazı görünümüne bir örnektir.



Resim 3.1. Hasarlı kayıt ortamı [11]

Bazı durumlarda, kazaya dayanıklı koruma kabı kırılarak, kapalı mahaldeki teyp bantları veya katı malzeme üzerindeki kayıt ortamları açığa çıkıp tehlikeye girmiş olabilir. Bu hassas bileşenlere ilave zarar gelmemesi için özen gösterilmelidir. Kayıt cihazının yakınında bulunan tüm bant parçaları, elektronik kartlar veya çipler makul şekilde toplanmalıdır. Atmosfere maruz kalmış katı malzemeden yapılmış çipler mümkün ise elektrostatik torbalara yerleştirilmelidir. Uçuş kayıt cihazlarının saçıldığı konumları ve kaza mahallinde maruz kaldıkları koşulları not etmek önem taşımaktadır. Örneğin, yangın çıktıysa yangından sonra kaza verilerini yeniden ele geçirerek, çözümlenmesi için en iyi prosedürün belirlenmesine daha iyi yardım edecek şekilde yangının yoğunluğu ve süresi dikkate alınarak not edilmelidir [11].

Cihazların su altından bulunması ve çıkartılması

Hava aracının enkazı su altındaysa ve kayıt cihazlarının konumları belli değilse, cihazları tespit etmek ve su altından çıkartmak için özel teçhizat gerekebilir. FDR ve CVR cihazları, genellikle "pinger" olarak adlandırılan bir "su altı yer belirleme sinyal vericisi" (ULB-Underwater Locator Beacon) ile donatılmıştır. Nemle temas ettiğinde bu cihaz aktive olur ve yaklaşık 30 gün boyunca uygun bir alıcı ile tespit edilebilen 37,5 khz frekansında bir akustik sonar sinyali gönderir. En son teknolojiye haiz kayıt cihazlarının sinyalleri en büyük okyanus derinliklerinde algılanabilir, ancak pille çalıştıklarından bu sinyal iletimleri sınırlı bir süre boyunca devam eder [14]. Bu cihaz, karadaki kazalarda kullanılmak üzere tasarlanmamıştır, sadece su yüzeyindeki kazalarda aktive olur. Koşullara bağlı olarak konum belirleyici bir sinyali almak ve ilgili üniteyi suda bulup çıkartmak için, sıklıkla özel teçhizata ve denizcilik örgütleriyle işbirliğine ihtiyaç duyulur. Bu prosedürde pek çok inceleme laboratuvarları devletlerin yardım almak için yararlanabilecekleri deneyime sahiptir. FDR ve CVR cihazları su altında bulunuyor iseler daha fazla hasar gelmesini önlemek için bu cihazları uygun şekilde bulup çıkartmak ve nakletmek gerekir. Kayıt cihazlarından hafifçe büyük boyutlarda olan iki adet su geçirmez kap, cihazların çıkartıldığı yerde hazır bulundurulmalıdır. Kayıt cihazları bulunduktan sonra, taze (damıtılmış veya deiyonize) su ile durulanmalı ve ardından su geçirmez kaba konulmalıdır. Tamamen taze suya batırılmış olarak taşınmalıdırlar. Kaydedilen verilerin zarar görmesine neden olan oksitlenme çok hızlı ceryan ettiğinden, her iki kayıt cihazı sürekli olarak suda tutulmalıdır. Kapların üstleri havaya maruz kalmayı minimize etmek için silikon ile kaplanabilir. Kapların yetkili bir laboratuvara en kısa sürede iletilmesi büyük önem taşır. Normal olarak deneyimli

laboratuvarlar kayıt cihazını su içindeyken parçalarına ayırır, böylece kayıtları inceleme anı başlamadan önce kayıtların havaya maruz kalma süresi en aza indirilir.

Kayıt cihazı okuma hazırlığı

Kazanın olduğu yerde kayıt sisteminin türüne bakılmaksızın, okuma yapmak için hiçbir girişimde bulunulmamalıdır. Kayıt cihazı iyi durumda görünse bile, ısı veya çarpma nedeniyle iç hasar olmuş olabilir. Zamanı gelmeden önce cihazı çalıştırma girişimi sonucunda kritik emniyet verileri kaybolabilir. Bu gibi durumlarda bant kayıt ortamının kırılması, bozulması, erimesi veya enkazla birbirine dolanması riskleri ortaya çıkabilir. Bir uçuş kayıt cihazının devresi kısa devre yapabilir, dahili bellek kartları çatlamış olabilir veya hafıza çipleri erimiş olabilir. FDR veya CVR cihazlarının uygun önlem alınmadan okumaya kalkışılması sonucunda veriler kalıcı olarak tahrip olabilir. Uçuş kayıt cihazları, kalifiye personel tarafından uygun işlemlerin gerçekleştirilebileceği uygun bir okuma ve analiz tesisine elden götürülmelidir. Uçuş kayıt cihazları gönderilirken veya nakledilirken daha fazla hasar görmemeleri için uygun şekilde ambalajlanmaları gerekir. Kayıt cihazı zaten ıslak ise, temiz suyla durulama istisnası haricinde kaza yerinde temizleme girişiminde bulunulmamalıdır. Kayıt cihazının röntgen ve diğer radyo dalgası üreten kaynaklara maruz bırakılmasından kaçınılmalıdır. İncelemeyi yürüten devletin yeterli okuma ve/veya analiz imkan ve kabiliyeti yoksa, kayıt cihazları bu kabiliyete sahip başka bir devletin uygun tesisine zamanlıca götürülmelidir. Dünyanın birçok yerinde kayıtların yeniden okunması işlemlerini yapan laboratuvarlar mevcut olup, bu gibi yerler devletlere kayıt cihazlarının ücretsiz olarak okunması hizmeti vermektedir. FDR ve CVR bilgileri kapsamlı bir "uçuş yeniden canlandırması" (rekonstrüksiyon) işleminde, entegre arka plan sesleri/ gürültüleri ve bireysel seslerin transkripti kombine edilebilir. Bir kayıt cihazını okuma yapmak üzere bir inceleme kuruluşuna göndermeden önce, üretici etiket bilgileri (üretici, parça numarası ve seri numarası), tadilat geçmişi, genel durumunun açıklaması, ünitenin dijital fotoğrafları gibi kayıt cihazıyla ilgili mümkün olduğu kadar fazla bilgiyi önden göndermek yararlı olacaktır. Ek olarak, uçak tipi ve seri numarası, vaka yeri gibi vaka hakkındaki detaylar okuma hazırlığı yapılması esnasında yardımcı olur [11].

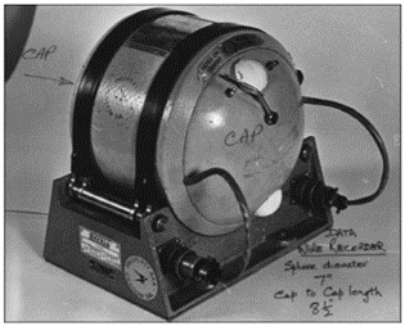
Kara kutunun doğuşu

Kara kutunun havacılıkta kullanımı 1950'li yılların ortalarında, Avustralya Savunma Bilimi ve Teknoloji Örgütü (DSTO-Defence Science and Technology Organization) için çalışan Dr. David Warren tarafından orijinal kara kutunun icadıyla başlamıştır. 1953 ve 1954 yıllarındaki "DeHavilland Comet" kazaları, FDR cihazlarının kullanımı için özel bir motivasyon sağlamıştır. Kabin tazyiki ile basınçlandırılmış hava aracı gövdelerinin felaketle sonuçlanan metal yorgunluğu ile ilgili problemlere sahip oldukları giderek ortaya çıkmıştır. O tarihlerde kazaların ardından yapılan incelemelere bilgi akışını sağlamak için elde çok az veri bulunmaktaydı. Kazaları incelemek için çok sayıda teknik komite oluşturulmuş ve 1954 yılında "Uçak Kazalarına Yapılan İncelemelere Yardımcı Olacak Bir Cihaz" adlı bir rapor hazırlanmıştır. Kazadan önceki birkaç dakika için uçuş koşullarının, pilot reaksiyonlarının, vb. kaydını sağlayan herhangi bir bilgi kaynağının paha biçilemez bir değere sahip olduğu anlaşılmıştır. Uçuş esnasında durum izleme cihazları o zamanlarda da bulunmaktaydı. Bu ilk örnek cihazlar "NACA2 V-g" kaydedici teknolojisi içermekteydi. Bu cihaz operasyonel yükleri değerlendirmek için II. Dünya Savaşı sırasında nakliye ve bombardıman uçaklarında kullanılan bir cihazdı. "Çizilmiş folyo" olarak adlandırılan teknolojinin, ilk olarak FDR cihazlarında 1950'li yıllarda kullanılmasına başlanmış olup 1958 yılından itibaren Boeing 707 tipi uçaklarda da kullanımına geçilmiştir. Bu ilk kuşak kayıt cihazları emniyet avantajları olmasına rağmen, kazaya dayanıklı değildiler, sadece birkaç parametrenin ölçülmesine imkan vermekteydiler. Bu ölçülen parametrelerin yorumlanması esnasında ses transkriptlerinin kaydedilmemiş olması kazanın yorumlanması için sıradışı bir çaba sarf edilmesini gerektirmişti. Bu nedenle bu tür cihazlar üzerinde daha fazla gelişme sağlanması gerekmekteydi [15].

Eski kara kutular

Ses kayıtlarını içeren daha gelişkin bir FDR'nin teknik kapasitesi, "Miniphon" adı verilen ve ticari piyasalarda mevcut olan işitsel teknolojinin bir parçasından doğmuştur. "Miniphon", "Protona GmbH" adında bir Batı Alman elektronik şirketi tarafından üretilmiştir. "Miniphon", bir makaradan diğer makaraya geçerken aradaki bir baş tarafından manyetize edilen ince bir paslanmaz çelik tel bobini kullanır. Bu teknoloji düşük kaliteli olmakla beraber yine de, anlaşılır ve zamana dayanıklı ses kayıtlarının yapılmasını sağlamıştır. Bu teknolojiyi kullanan kara kutunun prototipleri o tarihlerde "Uçuş Hafıza

Birimi" (Flight Memory Unit) olarak adlandırılmaktaydı. Söz konusu uçuş hafıza birimi adı verilen bu cihaz, içindeki metal tel sürekli olarak çevrim yaparken her bir çevrimde dört saatlik ses ve veri depolaması icra etmekte olup, sürekli olarak yeni çevrimdeki veriler eski çevrimdeki veriler üzerine yazacak şekilde yapılandırılmıştır. Söz konusu teknolojinin bu gelişme aşamasında anılan cihaz, kayıtların kazadan sonra hava aracından çıkartılıp laboratuvarda yorumlanması sürecine imkan verecek şekilde kazaya dayanıklı bir kap içine yerleştirilmişti. İngiltere Hava Tescil Kuruluşu (UK Air Registration Board) 1958 yılında, uçuş hafıza biriminin yararlarının farkına vardı. İngiltere jet havacılık sanayinin milli önemi ve "Comet" tipi yolcu uçaklarının süregelen kazalarının, yurtdışı ülkelere uçak satışları üzerinde yarattığı potansiyel emniyet engellerinden dolayı, bu kazaların üstesinden gelebilmek için, uçuş hafıza birimi konseptinin çok önemli olduğu kanaatine varılmıştır. "S. Davall ve oğulları" adındaki bir saat imalatçısı söz konusu teknolojinin üretim haklarını satın alarak Resim 3.2'de görülen ilk ticari kara kutuyu geliştirmiştir. Bu kara kutular "kırmızı yumurta" adıyla ünlenmiş ve resmi olarak "Davall Tip 1050" olarak adlandırılmıştır.



Resim 3.2. Londra saat imalatçısı "S. Davall & Sons Ltd." tarafından üretilen ilk ticari uçuş veri kayıt cihazı [15]

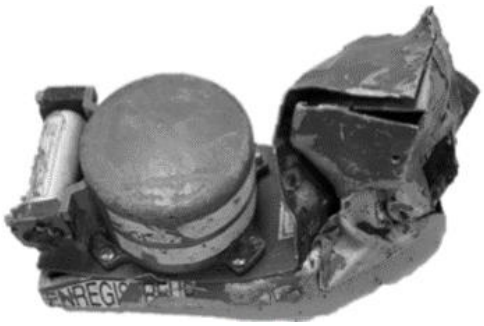
Dr. Warren ve takımı tarafından yapılan kayda değer gelişmeler sonucunda, cihazın saniyede 24 sinyallik bir oranda kayıt yapması sağlanmış ve aynı zamanda uçağın teçhizat ve uçuş kontrol sistemlerinden toparlanan verilerin doğruluk hassasiyeti artmıştır. Buna ilaveten, kokpitdeki seslerin veya uçuş verilerinin veya her ikisinin birlikte kaydedilmesi mümkün olmuştur. Bir uçuş boyunca bu işlemleri yapabilmek için kayıt ortamı olarak 40 mil kadar paslanmaz çelik tel gerekmekteydi. Avustralya, uçuşlar esnasında CVR cihazının kullanımını zorunlu kılan ilk ülke olmuştur. Bu ülkeyi 1960 yılında ortaya çıkan ve yolcu taşıyan hava araçlarında FDR cihazının taşınmasını zorunlu kılan düzenlemelerle Amerika Birleşik Devletleri izledi. İngilterede de benzer gelişmeler yaşanmış ve uzun bir müzakere ve değerlendirme sürecinin ardından, 1960'lı yılların başlarında Hava Seyrüsefer

Mevzuatı'na değişiklikler yapılmıştır. İngiltere'de, FDR cihazı tarafından sağlanan verileri önemli ölçüde kullanan ilk kaza incelemesi, FDR cihazlarının zorunlu hale geldikleri 1965 yılında yapılmıştır. Bu kazada, söz konusu İngiliz Avrupa Hava Yolları BEA'ya (BEA-British European Airways) ait olan "BEA Vanguard" uçağı, "Davell Tip 1050 kırmızı yumurta" ile donatılmış olup, Londra'nın Heathrow Havalimanı'nda kötü bir havada havaalanında yere çakılmıştır. İngiltere'de CVR cihazlarının uçaklarda kullanılmasının zorunlu hale gelmesi, daha uzun bir süreç sonunda gerçekleşti. CVR cihazlarının uçaklarda kullanılmaya başlanması teklifleri 1969 yılında, Uçuş Emniyet Genel Müdürlüğü (Directorate of Flight Safety) ve Ticaret ve Sanayi Bakanlığı (Department of Trade & Industry) tarafından Hava Kazalarını İnceleme Bürosu (AAIB-Air Accidents Investigation Bureau) ile bağlantılı olarak hazırlanmıştır, ancak bu önerilere muhalefet edilmiştir. Uçaklara kayıt cihazlarının koyulması sorunlarını daha derinlemesine incelemek için, 1970 yılında bir çalışma gurubu kurulmuştur. İngiltere Sivil Havacılık Otoritesi (CAA-Civil Aviation Authority) bu çalışma gurubunun geliştirdiği tavsiyeye dayanarak, CVR cihazlarının 1975 yılına kadar uçaklarda kullanımını zorunlu hale getirmek için, Hava Seyrüsefer Mevzuatı'nda değişiklik yapılması önerisinde bulunmuştur. 1972 yılında Staines'deki "BEA Trident" uçağının maruz kaldığı hava kazası, sonucu belirleyici olmuştur. Kazaya ilişkin adli soruşturmaya nezaret eden yargıç, hava aracında CVR cihazının yokluğu nedeniyle hüsrana uğramıştır. Yargıç, kaza inceleme uzmanının, mürettebat arasında talimat, yorum veya bağırışlar yoluyla geçenlere ilişkin belirsizlik içinde kaldığı hükmüne varmıştır. Bütün bunlardan görülmektedir ki, toplam kalkış ağırlığı 27,000 kg ve üstünde olan sivil havacılık uçaklarında CVR kayıt cihazlarının yerleştirilmesi ihtiyacının yerine getirilmesinde hayli gecikilmiştir.

Kara kutunun gelişimi

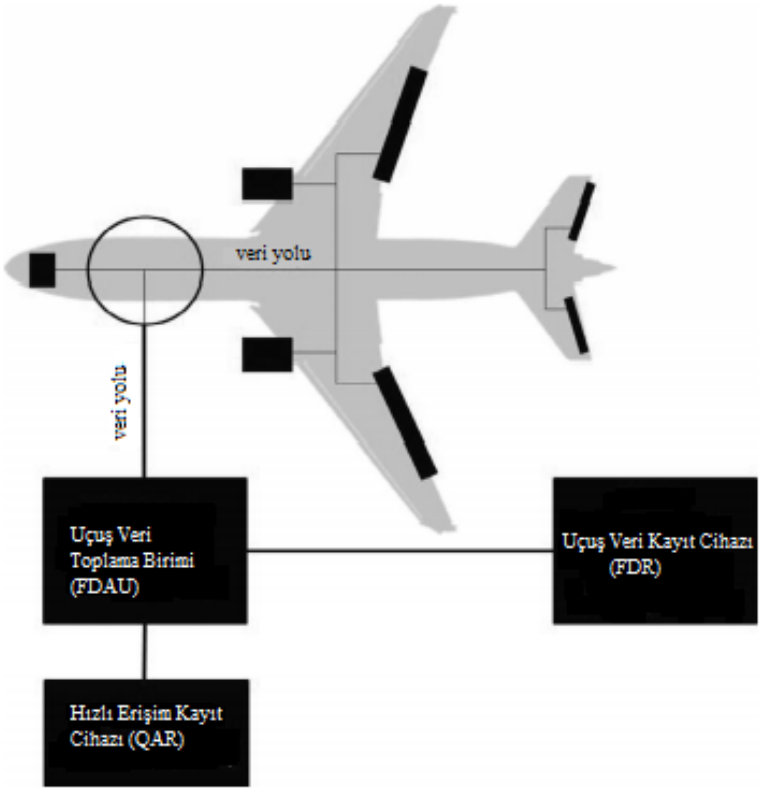
FDR cihazlarının ilk kuşağı nispeten bağımsız ve kendi başlarına yeterli olan cihazlardı. Kayıt cihazı kendi sensörlerine sahip bulunmakta ve elektrikle beslenmesi haricinde ana hava aracından nispeten bağımsız bir şekilde çalışabilmekteydi. Bütün bu durumun sonucu olarak, cihazın kalibrasyonu teknik bir sorun olarak sürekli ortaya çıkmaktaydı. Hava aracı sistemlerinin gerçek durumdaki değerleri kayıt cihazındaki sensörler tarafından belirlenen değerler ile aynı olmayabilir ve hatta hava aracı sistemlerinin gerçek değerleri bazen kokpit ekranındaki pilotlara gösterilenlerle de aynı olmayabilir. Aviyonik alanında ortaya yeni çıkmakta olan paralel teknik gelişmeler, FDR ve CVR cihazlarının hava aracının giderek

artan derecelerde entegre bir parçası haline gelmesini öngörmekteydi. Kendi başlarına yeterli olabilen cihazların muhafaza edilmesi yerine, veri kayıt cihazları zaman içerisinde günümüzdeki gibi bütünleşik bir veri toplama mimarisinin parçası haline dönüşmüştür. Söz konusu veriler, Uçuş Veri Toplama Birimi (FDAU-Flight Data Acquisition Unit), ortak iletişim protokolleri (ARINC 573, 717 ve 767) ve hızlı erişim kayıt cihazlarının kullanımı ve Resim 3.3'de görülen kazaya dayanıklı kara kutular aracılığıyla pek çok sayıdaki kaynaktan entegre edilirler.



Resim 3.3. "4U9525" sefer sayılı uçuşunu yaparken kaza yapan "German Wings" Hava Yolu şirketine ait olan, A320 tip uçağının kaza bölgesinden bulunup çıkartılan kokpit ses kayıt / uçuş veri kayıt cihazı (CVR / FDR)[15]

Kazaya dayanıklı veri kayıt cihazı ve ses kayıt cihazı (kanunen zorunlu kılınan ve kaza incelemelerinde kullanılan) ve hızlı erişim kayıt cihazı (QAR-kanunen zorunlu olmayan ancak hava yolları ve mevzuat koyucu tarafından operasyonel ve uçuş emniyeti amaçlarıyla kullanılan) arasındaki ayrım 1970'li yıllarda meydana gelmiştir. Şekil 3.14'de yüksek düzey havacılık veri kayıt cihazları mimarisi şematik olarak gösterilmiştir [15].



Şekil 3.14. Yüksek düzey havacılık veri kayıt cihazları mimarisi

Hem rutin olan hem de anormal olan uçuş verilerine kolaylıkla erişim kabiliyetinin gayet değerli olduğu zamanla giderek ortaya çıkmıştır. Rutin uçuş operasyonlarının karakterize edilmesi ve izlenmesi için kayıt cihazları verilerinin kullanımı, 1964 yılında İngiltere'de Sivil Hava Aracı Uçuşa Elverişlilik Veri Kayıt Programı (CAADRP-Civil Aircraft Airworthiness Data Recording Programme) bağlamında başlamıştır. Kayıt cihazı kullanılması kanunen zorunlu kılınan hava araçlarına ek olarak, küçük bir sayıdaki örnek hava araçları, kağıda grafik çizen kayıt cihazları ile donatılmıştır. Bu örnek hava araçlarındaki kağıda grafik çizen kayıt cihazlarının, iniş manevraları, türbülanslı havada uçuş, etkili meteorolojik koşullar altında uçuş gibi rutin operasyonlarda, hava araçlarının performansına ilişkin veriler sağlamaları hedeflenmişti. Bu program kırk yıldan fazla sürerek 2005 yılında bitmiş olup, uçuş emniyetinin iyileştirilmesi ve operasyonel iyileştirme yapmak için bir araç olarak veri kaydının ne kadar yararlı olduğunun kuvvetli bir şekilde ispatını sağlamıştır. CAADRP programıyla eşzamanlı olarak hava araçlarındaki dünyanın ilk otomatik iniş sisteminin geliştirilmesi "Hawker Siddeley" ve "Smiths Aviation" tarafından gerçekleştirilmiştir. Nispeten gelişmiş aviyoniklerinden dolayı "HS 121 Trident" hava aracı otomatik iniş sisteminin denenmesi için prototip olarak seçilmiştir. Söz konusu hava aracında bulunan aviyonikler, otomatik iniş sisteminin hava aracının mevcut

sistemleriyle diğer geleneksel konfigürasyona sahip hava araçlarındaki sistemlerle mümkün olamayacak bir şekilde arayüz haberleşmesi yapmasına imkan vermiştir. Otomatik iniş sistemi aynı zamanda yukarda arayüz yapılan hava aracı sistemlerinden gelen verilere yeni bir cihaz olan hızlı erişim kayıt cihazı (QAR) aracılığıyla erişime imkan vermiştir. Verilerin bu şekilde kaydedilmesi, otomatik iniş manevrasının test edilmesini ve sertifikalandırılmasın mümkün kılmıştır. Böylece "Trident" hava aracı otomatik iniş sistemiyle ver QAR cihazı ile donatılan ilk ticari hava aracı olmuştur. Günümüzde dahi sözü edilen otomatik iniş sistemi, QAR cihazı, ilgili destekleyici mimarinin değeri geçerli olmaya devam etmektedir. Bugünkü modern hava araçları üzerine donatıldığı şekliyle QAR cihazları, zorunlu FDR/CVR cihazlarıyla kaydedilmesi zorunlu kılınan parametrelerden, çok daha fazla parametreleri (bazı durumlarda 2000'den fazla) kaydetmekte olup, üstelik kayıt süresi çok daha uzun bir zaman dilimi (30 günden daha uzun bir süre) olmaktadır. QAR cihazı sözü edilen verilerin hava aracı apron üzerinde park halindeyken kasetler, hafıza kartları veya bazı güncel sistemlerde kablosuz ve otomatik olarak kolayca elde edilmesini mümkün kılar. Modern hava yollarındaki uçakların pek çoğu binlerce operasyonel uçuş verisi kanalını kaydedebildiğinden, vakalardan (kazalar değil, olaylardan) ders çıkartma olanakları artmıştır. Ancak ortaya çıkan paradoks şudur ki, ders alınabilecek ciddi olaylar günümüz teknoloji şartlarında çok nadir olarak vuku bulmaktadır.

Kara kutu paradoksu

Kazaya dayanıklı FDR / CVR cihazlarının ele alınıp değerlendirilmesi popüler medyada sık işlenen bir konudur, ancak gerçekte sık rastlanan bir durum değildir. Hava yolu uçaklarının büyük bir çoğunluğu, 30 veya 40 yıllık ömürlerini, kara kutuları esas amaçları için hiç kullanılmadan geçirmektedirler. Bu paradoks, artan veri bolluğu ile birlikte, vurguyu artçı göstergelerden öncü göstergelere kaydırma sebebidir. Bu; emniyet bilimi için çoğu kez açıkça belirtilmemiş veya değerlendirilmemiş olmakla birlikte, gelecekteki paradigmayı temsil etmesi kuvvetle olası olan temel bir kavramdır. Bu kavram; olaylardan nasıl ders çıkartmamız gerektiği, bunu yapmanın değeri, hatta neyin "olay" olarak görülmesi gerektiği bakımlarından önemlidir [15].

Uçuş veri kayıt cihazlarının ve kokpit ses kayıt cihazlarının teknolojik gelişimi

Birçok birinci nesil FDR cihazı kayıt ortamı olarak metal folyo kullanmıştır. Metal folyolar, hava aracının kazadan sağlam çıkma olasılığı fazla olan hava aracı kuyruk kısmına yerleştirilmiştir. Birinci nesil cihazların tasarım felsefesinde ortama kayıt yapmak için analog parametre dönüştürme tekniği kullanılmıştır. Ana parametreler, hava aracının pito tüp sisteminden ve hava aracı içerisinde monte edilmiş olan ivme ölçerden gelen girdiler ile hava aracı pusulasından gelen baş verme (heading) sinyalleridir. Bu cihazların doğruluk hassasiyeti hava aracı üzerinde kullanılan tekniklerin analog doğası ile sınırlı olmuştur. Cihazların kaydettiği verilerin çıkartılıp elde edilmesi çaba sarf edilmesini gerektirmekte ilave görsel olarak ve elle uğraşılmasını zorunlu kılmaktaydı [16].

Öte yandan, birinci nesil CVR cihazları 1960'lı yılların sonunda takdim edilmişler ve kayıt ortamı olarak manyetik bantlar kullanmışlardır. Çeşitli cihaz üreticileri tarafından kullanılan çeşitli bantlar mevcut olmuştur. Mylar, Kapton ve metalik bantlar kayıt ortamı olarak en yaygın şekilde kullanılan malzemeler olmuşlardır. Bu cihazlar dört ses kanalına otuz dakika boyunca kayıt yapabilmekteydiler. Bu CVR cihazları en yeni verileri en eski veriler üzerine, sonsuz bir döngü düzeni içerisinde kayıt yaparak çalışmaktaydılar.

İkinci nesil FDR cihazları, uçuş esnasında daha fazla veri kaydetme ihtiyacının bir sonucu olarak 1970'li yıllarda takdim edilmişlerdir. Ancak daha büyük sayı ve miktarda gelen sensör verisini kaydetme kapasitesine sahip olamamışlardır. Bu nedenle bu sorunu çözmek üzere uçuş veri toplama birimlerinin (FDAU) geliştirilmesine ihtiyaç duyulmuştur. FDAU cihazları çeşitli sensörlerden ve aviyonik sistemlerinden gelen çeşitli, farklı analog ve dijital parametreleri alan ve daha sonra bunları bir FDR cihazına kaydeden ve ayrıca takılı ise bir hızlı erişim kayıt cihazına (QAR) yönlendiren ve kaydeden bir birimdir. FDAU cihazından FDR cihazına akan bilgi, ilgili uçak üreticisinin stil ve tarzına bağlı olan spesifik veri çerçeveleri aracılığıyla sevk ve kayıt edilir. İkinci nesil FDR cihazlarının ilerleyen gelişim aşamalarında FDAU cihazının işlevlerinin hava aracının diğer sistemleri tarafından kullanılan entegre edilmesi aşamasına varılmıştır. Bu entegrasyonun bir örneği olarak Boeing 787 uçaklarına yerleştirilmiş olan güçlendirilmiş uçuş esnası uçuş verileri kayıt cihazı (EAFR-Enhanced Airborne Flight Recorder) gösterilebilir.

İkinci nesil dijital FDR cihazları (DFDR- Digital Flight Data Recorder) kayıt ortamı olarak ses kayıt kasetine benzer bir bant kullanmıştır. Söz konusu bantın uzunluğu 300 ila 500 ft arasında olup 25 saatlik veri kaydı yapabilmiştir. Bu bantlar, kazaya dayanıklı bir kap içerisinde monte edilmiş kaset cihazlarında saklı tutulmaktaydı.

Üçüncü nesil FDR cihazları ve CVR cihazları katı malzemeli (solid state) kayıt teknolojilerini kullanmıştır. Bu teknolojide, yığılı diziler halindeki bellek çipleri kullanılmış olup hareketli parçaları bulunmamaktadır. Hareketli parçaları bulunmadığından daha az bakım ihtiyacı ortaya çıkmakta olup bir çarpma esnasında parçaların kırılma şansı daha düşük olmaktaydı. CVR cihazından ve FDR cihazından gelen veriler, kazaya dayanıklı bellek ünitesinin (CSMU-Crash Survivable Memory Unit) içerisinde bulunan yığılı haldeki bellek kartlarında saklı tutulmaktadır. Uçuş sırasındaki kayıt süreci için katı malzemeli bellek teknolojisinin kullanımı, genişletilmiş kayıt kapasitesi, kazaya veya yangına karşı artırılmış dayanıklılık ve geliştirilmiş kayıt güvenilirliği sağlar. Üçüncü nesil cihazların en son versiyonu olan DFDR cihazlarında ilave olarak acil durum konum belirleme vericileri (ELT-Emergency Locator Transmitter) bulunmaktadır [14].

Günümüzdeki FDR cihazlarının kısa teknik tanıtımı

FDR verileri, CVR verileri, görüntü verileri ve veri hattı (data link) mesajları; teyp bant, optik disk veya katı malzemeli bellek çipleri şeklinde üç ayrı kayıt ortamına kaydedilebilir. Kullanımdaki mevcut tüm FDR cihazları dijital verileri kaydeder ancak bu dijital veriler teyp ortamına veya katı malzeme ortamlara kaydedilir. Optik disklerin kazaya dayanıklılığı garanti edilemediklerinden yalnızca QAR ve DAR cihazları için kullanılır. Günümüzde çoğu QAR ve DAR cihazları bulundukları uçakta ortak kullanıldıkları FDR cihazı gibi katı malzemeli teknolojiye sahip bulunmaktadırlar. Eski teknolojili cihazlarda kullanılan aliminyum folyo gibi analog kayıt cihazları günümüzde kullanılmamaktadır. Teyp bandı kayıt cihazlarının üretimi günümüzde yapılmamaktadır. FDR cihazının esas amacı kaza incelemelerinde kullanılması olmakla birlikte, giderek daha fazla sayıda hava yolu şirketi FDR cihazını veya kıyaslanabilir bir QAR cihazını “rutin uçuş izleme” (routine monitoring) ve kazaların önlenmesi amacıyla kullanmaktadır [11].

FDR cihazının amacı

FDR cihazlarının amacı olası bir kazadan sağlam çıkmak üzere tasarlanmış olan güvenli bir kayıt ortamı içerisinde, çeşitli hava aracı sensörlerinden gelen verileri kaydetmektir. Hava aracı konfigürasyonunun değişik bileşenlerine yerleştirilmiş olan bu sensörler, hava aracının ve motorlarının performansını gösteren elektronik veri sinyallerini üretir. Gelişmiş ülkelerin mevcut mevzuatları, üretimi yapılan hava araçlarının, zaman, irtifa, hava hızı, uçuş yönü (heading), hava aracı durumu (attitude) vb. başta olmak üzere en az seksen sekiz önemli parametrenin izlenmesini zorunlu kılar. Bununla beraber daha gelişmiş başka FDR cihazları bir kazanın incelemesinde önem taşıması beklenebilecek binden fazla uçuş karakteristiğini de kaydedebilir [14]. Sıklıkla, hava aracının uçuş rotasının üç boyutlu olarak belirlenmesi, hava aracının durum/davranışı belirlenmesi, hava aracına etkiyen kuvvetlerin belirlenmesi ve hava aracı uçuşunun icra edilmesinin kesin şeklinin belirlenmesi için yeterli bilgi bulunur. Sıklıkla FDR cihazı birçok sistemin durumunu ve tetiklenmiş olabilecek uyarıları da kaydeder. QAR ve DAR cihazları FDR cihazı ile aynı bilgileri veya daha fazla bilgileri kaydederler ancak rutin kullanım ve/veya olayların incelenmesi için QAR ve DAR cihazları erişimi daha kolay olan cihazlardır. Optik QAR cihazlarının olay incelemesi için tek başına kullanılmaması gerektiğine dikkat edilmelidir. FDR cihazları daima bu işlemin yedeğinde bulundurulmalıdır. Çünkü türbülans veya şiddetli sarsılmalar sırasında optik diskler sık sık kayıt yapamaz duruma geldiklerinden dolayı veri kayıplarına sebebiyet verirler [11].

Kayıt ortamı

Günümüzde kullanılmakta olan dört temel uçuş kayıt ortamı tipi vardır, bunlar optik disk (eski teknolojili QAR ve DAR cihazları), kişisel bilgisayar bellek kartı uluslararası birliği (PCMCIA-Personal Computer Memory Card International Association) kartları (QAR ve DAR cihazları için), teyp bantları (eski tip kayıt cihazları için) ve katı malzemeli kayıt ortamları olarak sıralanırlar.

FDR ve CVR cihazlarından bilgilerin okunması ve analiz edilmesi

FDR ve CVR cihazları için ve vaka incelemesinde kullanılan diğer kayıt cihazları için açıkça tanımlanan iki işlem mevcuttur. İlk işlem, kaydedilmiş verilerin kayıt ortamından işlenmemiş olarak çıkarılmasıdır. İkinci işlem, verilerin FDR cihazına ait olması durumunda

mühendislik birimleri cinsinden bilgiler gibi, ve verilerin CVR cihazına ait olması durumunda kullanılabilir şekilde sesli ortam gibi anlam taşıyan bilgilere dönüştürülmesidir.

FDR verilerinin çıkartılarak elde edilmesi işlemi

Verilerin cihazdan çıkartılarak elde edilmesi işlemi, cihazın kayıt ortamı içeriğinin anlamlı olarak okunmasının sağlanması için yapılır. Teyp esasına dayanan kayıt cihazları için, deneyime sahip inceleme laboratuvarları teyp sinyallerini dijitalleştiren tekniklere sahiptirler ve bilgileri kodunu çözümlemek için özel yazılımlar kullanmaktadırlar. Katı malzemeli bellek ortamları için, hafıza cihazıyla iletişim kurmak üzere uygun arayüz protokol yazılımları kullanılır. Hava Yolu şirketlerine ait cihazların kayıtlarının geriye sarılarak yeniden değerlendirildiği tesisler, esas olarak kayıt cihazının bakımı amacıyla tasarlandığından vaka incelemesi için kullanılmamalıdırlar. İnceleme makamları, eldeki verileri bit düzeyinde inceleyen özel geliştirilmiş yazılımlar kullanırlar ve hasar görmüş kayıt ortamlarından bilgileri çıkartıp geri kazanılması için özel tekniklere sahiptirler.

FDR verilerinin mühendislik birimleri cinsine dönüştürülmesi

Veriler kayıt cihazından başarıyla çıkarılıp elde edildikten sonra analiz işlemi başlatılabilir. Kayıt edilen uçuş verilerinin mühendislik birimlerine dönüştürülmesi, kaydedilen verilerin gayet hacimli olmasından dolayı artık pratik bir işlem olarak kabul edilmemektedir. Günümüzde analiz işlemini kolaylaştıracak şekilde ihtiyaç duyuldukça yapılması temelinde ikili sistem (binary) verileri interaktif olarak mühendislik birimleri cinsine dönüştüren gayet sofistike yazılım araçları bulunmaktadır. İncelemecilerin ikili sistem verilerini gerektikçe mühendislik birimleri cinsine dönüştürülmesi işlemini uygun şekilde değerlendirmeleri ve söz konusu yazılım araçlarında ustalaşmış uzmanlarla yakın işbirliği yapmaları incelemeciler için önem taşıyan bir husustur. Uçuş animasyonu araçları da dahil olmak üzere uygun analiz araçları, ikili sistem verilerle etkileşimli olarak kullanılabilmeli ve verileri uygulama esnasında gerektikçe dönüştürebilmelidir. Böyle yapmak, verilerin gereksiz ve verimsiz olarak ön işleme tabi tutulması sürecini bertaraf eder. Eğer hava aracı üretim şirketi incelemeye katkıda bulunabilmek için verilere ihtiyaç duyarsa, şirket yetkilileri mühendislik birimleri cinsine zaten dönüştürülmüş olan ön işlem verileri değil normal olarak ham ikili sistem verilerini talep ederler. FDR cihazının kaydedilmiş verileriyle uğraşılırken, uygun veri okuma teçhizatına sahip olan örgütlerden yalnızca ham verilerin okunup çözülmüş

halini elde etmek mümkün olabilecektir. Bu durum incelemeyi yürüten devletin, uçuş kayıtlarının kendi yetki alanının dışına götürülmesine izin vermesini gerektirebilir. Okumalar icra edilirken, verilerin okunmasının kesin doğruca ve zamanlıca okunmasına ilişkin öncelik ve güvenirliğin uygun düzeyde garanti altına alınması, hükümranlık alanı dışına çıkılan devletin akredite edilmiş yetkilisinin sorumluluğundadır.

FDR verilerinden parametre seçimi

Günümüzün veri bakımından zengin ortamlara, modern dijital teknolojilere sahip hava araçlarında, hava aracı üreticileri zorunlu olan veri kayıtlarının çok ötesine geçerek, tüm bilgileri tutmak için kayıt yapar. En yeni nesil hava araçları binlerce parametre kaydetme kapasitesine sahip olabilir. İnceleyiciler için ham verileri mühendislik birimleri cinsine dönüştürülmesini doğrulayan uygun analiz araçlarına sahip olmak ve eldeki incelemeye uygun düşen parametreleri bulup çıkartmak üzere verilerin verimli bir şekilde araştırılması ve elenmesi önem taşımaktadır. Uçuş verilerini kağıt çıktılara basmak veya elektronik çizelgelere dökmek yerine uçuş verileriyle doğrudan interaktif olarak çalışan profesyonel bir analiz sistemi tavsiye edilir. Eğer parametrelerin sayısı sınırlı sayıda olsaydı bilgisayar çıktıları veya elektronik çizelgeler kabul edilebilirdi. Ancak bugün var olan devasa miktarlarda parametreler yüzünden incelemeciler, verilerin çalışılmasını kolaylaştırmak için uygun araçlara gerek duyarlar. Bir kaza incelemesi sırasında incelemenin uçuş verilerini değerlendirirken kaza incelemesinin paydaşları bakımından veri formatı önemli bir husustur. Uçuş verilerini yayımlamak için elektronik çizelgelerin (microsoft excel gibi) kullanımı giderek popüler hale gelmektedir, ancak çoğu inceleme yetkilisi ve uçak üreticileri söz konusu verilerin orijinal formatında olmasını tercih etmektedirler. Modern bir hava aracı uçuş esnasında binin üzerinde parametre üretebilir ancak microsoft excel gibi bilgisayar uygulamaları dosya boyutu sınırlamaları nedeniyle verileri bütünüyle işleyemez. Bu yüzden adet üzere yapılan işlem ise sadece ihtiyaç bulunan parametreleri göndermektir. Sadece ihtiyaç duyulan parametreleri göndermek incelemeyi kısıtlayabilir çünkü incelemeci tüm bilgilere sahip değildir ve neyin önemli olduğuna önceden karar vermek zorunda kalır. Analiz için elektronik çizelge dosyaları kullanılırken başka bir ciddi sorun zaman öğesidir. Örneğin aileron pozisyonu ve lövye pozisyonunu ele alacak olursak, bunların her birinin pozisyonları saniyede bir kez örneklenir ancak birbirlerinin pozisyonuna denkleşmeleri için aradan bir saniyeye yakın bir süre geçmesi gerekir.

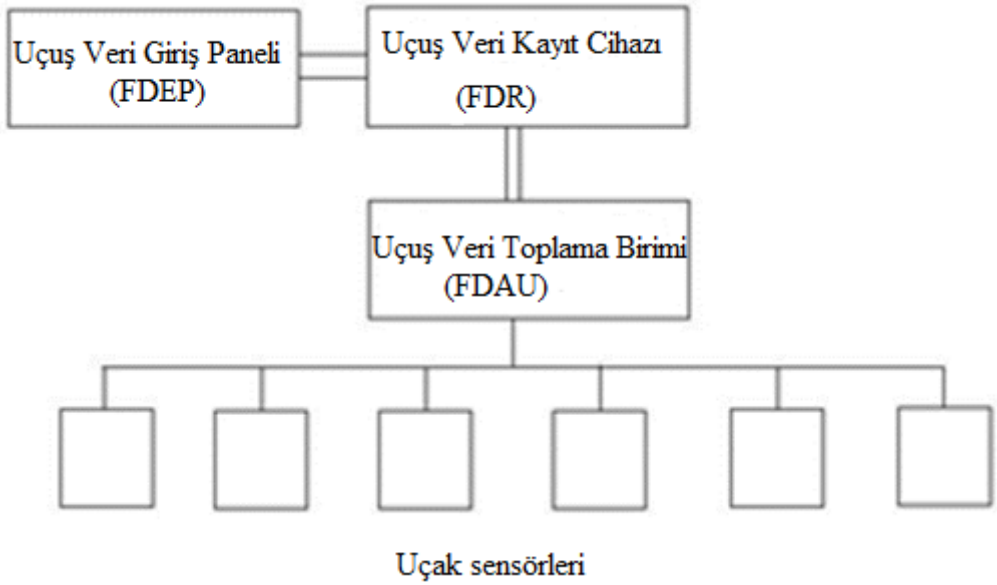
FDR verilerinin analizi

Analiz işlemi sıklıkla performans mühendisleri, havacılık mühendisleri, uçak işletimi uzmanları ve sistem uzmanları ile görüş alış verişi içerisinde olan deneyimli uçuş verileri analistlerinden oluşan çoklu disiplinli bir takım tarafından gerçekleştirilir. Kaydedilmiş uçuş verilerinin ve/veya insan seslerinin analizi esnasında, grafik gösterilimler, yazıya geçirilmiş veriler (transkriptler) ve uçuş animasyonlarının hepsi de, olmuş bir öyküyü anlatmaya başlayan kayıtların konuyla ilişkili yönlerini belgelemeye başlayan etkili tekniklerdir. FDR cihazının kayıtlarını çözümleme işleminin temel bir unsuru da, hava aracının eldeki verilere uyarınca performans icra edip etmediğinin veya eldeki verilerin yanlış ve geçersiz olduğunu doğrulamaktır. Bu doğrulamayı sağlamak için geçmişte maliyeti yüksek uçuş simülatörleri kullanılabilmekteydi, ancak günümüzün çağdaş bilgisayarlarıyla hava aracı belirli performans doğrulama işlerini kişisel bir bilgisayar üzerinde uygun yazılımla ve yeterli uzmanlıkla icra etmek bugünün teknolojisinde pratik olmaktadır. Hava aracı üreticisi de uçuş verilerini doğrulayabilecek mühendislik simülatörlerine sahip bulunmakta olup, karmaşık vakalar için yüksek düzeyli aerodinamik parametrelerin gerekmesi ve yüksek düzeyli uzmanlık gerekmesi nedeniyle hava aracı üreticisinin de bu doğrulama işlemine mahremiyet içerisinde müdahil edilmesi gerekir. Hava aracının pilot mahallinin tekrar canlandırılması ve hava aracı dinamik hareketlerindeki algılamalar gibi dinamik hareket ve/veya ergonomik hususlar, incelemede potansiyel faktörler olduğu zaman, tam hareketli dinamik bir uçuş simülatörü kullanılması faydalı olur [11].

<u>Uçuş veri kayıt sisteminin çalışma prensibi</u>

Sistemin adı ile cihazın adı aynı olmakla birlikte, FDR cihazı FDR sisteminin bir parçasıdır. Sistem Şekil 3.15'de görülen ünitelerden oluşur. Buna göre; uçak sensörlerinden gelen bilgiler, elektriksel sinyaller olarak kablolar vasıtasıyla FDAU ünitesine gider. Söz konusu bilgiler, FDAU ünitesinde dijital forma dönüştürülür ve FDR cihazına gönderilir. Bu cihaz içerisinde gelen bilgiler kaydedilir.

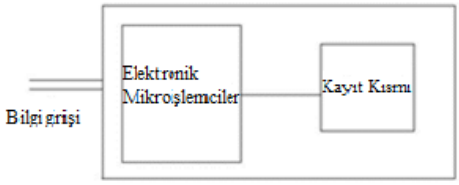
Uçuş bilgi giriş paneli (FDEP-Flight Data Entry Panel) ise, pilotun yanında bulunur ve uçuş öncesinde uçuş numarası, pilotun kodu, tarih gibi bilgiler girilir. FDR cihazı FDEP panelinden gelen bu bilgileri de kaydeder.



Şekil 3.15. FDR sisteminin şematik resmi

FDR cihazının tanıtımı

FDR cihazı Şekil 3.16'da görüldüğü gibi iki ana kısımdan oluşur. Bunlardan birincisi gelen sinyalleri değerlendiren elektronik mikro işlemciler, diğeri ise bilgilerin kaydedildiği kayıt kısmıdır.



Şekil 3.16. FDR cihazının şematik resmi

FDR cihazında elektronik mikro işlemcilerin yer aldığı kısmın hasarlanmasının hiçbir önemi yoktur. Önemli olan kayıtların yapıldığı kısmın kaza esnasında hasarlanmamasıdır. Bu nedenle, bu kısım gerek yüksek çarpma değerlerine ve gerekse uzun süreli yüksek sıcaklıklara dayanacak şekilde üretilir. FDR cihazı son 24 saatlik bilgileri kaydetmektedir. Bundan sonraki kayıtları ilk kaydın üzerine yaparak, yani eski kaydı silerek devam eder. Böylece hep son 24 saatlik kayıt baki kalır. Yani sistem bir sonsuz döngünün üzerinde hareket ediyor gibidir. Başlangıç noktasına geldiğinde bu andan itibaren daha önce yapılmış

olan kaydın üzerine devam eder. Dolayısıyla, FDR kayıtlarında hep son yirmi dört saatlik uçuşun kayıtları bulunur.

Uçuş bilgilerinin edinimi

FDR cihazının kaydettiği uçuş bilgilerinin bir kısmı uçakta mevcut sensörlerden elde edilir. Kalan kısmı ise sadece bu amaç için yerleştirilen özel sensörlerden elde edilir. Uçak durum bilgileri olan "yalpa (rolling)", "yunuslama (pitching)" ve "sapma/dönme (heading/yawing)" bilgileri uçakta mevcut durum göstergelerine ait sensörler olan ilgili gyro'lardan elde edilir. Kumanda yüzeylerinin konumunu belirlemek için ise, kumanda yüzeylerine, kumanda yüzeyi ile birlikte hareket eden ve kumanda yüzeyinin konumuna göre direnci değişen potansiyometreler yerleştirilir. Yükseklik ve hız bilgileri, uçağın yükseklik ve hız göstergelerine bilgi sağlayan sırasıyla barometrik altimetre ve pito-statik sistemden alınır. Motor parametreleri, yine motor göstergelerine bilgi sağlayan sensörlerden elde edilir.

G anahtarları (switches)

"g anahtarları" uçağın aerodinamik merkezine yerleştirilir. Bu anahtarlar uçağın dikey ve boylamasına eksenlerdeki ivmelerini algılayacak şekilde iki adet yerleştirilir. Uçağın bu yönlerdeki ivmeleri belirli bir "g" değerini aştığında bu anahtarlar kontak açar. Örneğin araştırmacı, eğer uçak özel bir uçuş durumu için yalnızca "2g" üretebiliyorsa, "4g" dikey ivme okunması sebebini sorgulamalıdır. Örneğin uçağın aerodinamik merkezine boylamasına ivmeyi ölçecek "5g" lik bir g anahtarı takılmış olsun. Eğer uçağın boylamasına ivmesi "5g" değerini aşarsa bu anahtar kontak açar. Ya da uçağın aerodinamik merkezine dikey ivmeyi ölçecek "9g" lik bir "g" anahtar takılmış olsa, uçağın dikey ivmesi "9g" değerini aşarsa bu anahtar kontak açar. Bu tür yüksek ivme anahtarları yüksek "mach" sayısına sahip süpersonik avcı uçaklarında kullanılır. Pervaneli nakliye uçaklarında ise; "g" değeri en fazla "2,5g" olacak şekilde uçak yapısı tasarımlanır. "g" anahtarlarının FDR sistemine yerleştirilmesinin nedeni, uçak bu "g" değerlerini aşarsa, daha önce yapılmış olan kayıtların bozulmaması için kaydın kesilmesinin sağlanabilmesidir. FDR cihazının elektrik devresi bu anahtarlar üzerinden geçtiğinden, bu "g" anahtarları kontak açtığında, aynı bir cihazın anahtarının kapatıldığında enerjisinin kesildiği ve fonksiyonunun durduğu gibi, FDR cihazının kayıt fonksiyonu da durmuş olur.

FDR sisteminin uçağa uygulanması

Daha önce üzerinde hiç FDR sistemi bulunmayan bir uçak için öncelikle yeni bir tasarım gerekir. Uçak sensörlerinden alınan bilgilerin FDR sistemi ile uyumlu hale getirilmesi, FDR sistemine ait özel sensörlerin yerleştirilmesi ve enerji ihtiyaçları gibi konuların yeniden tasarımlanması gerekir. Bu tip sistemleri uçak üzerine yerleştiren ve üretici firmalar tarafından sertifiye edilmiş vendor firmalar mevcuttur.

FDR cihazında kaydedilecek parametreler

FDR cihazı, uçak hareket etmeden önce kayıt yapmaya başlayacak ve uçuşun sona ermesinin ardından tam bir durma anına gelene kadar sürekli olarak kayıt yapacaktır. FDR cihazları, kaydedilecek parametrelerin sayısına ve kaydedilen bilgilerin saklanması için gereken süreye bağlı olarak Tip I, Tip IA, Tip II ve Tip IIA olarak sınıflandırılır. FDR cihazlarının kaydedeceği parametreler aşağıda listelenmiştir. Kaydedilecek parametrelerin sayısı uçak karmaşıklık düzeyine bağlı olacaktır. Parametrelerin bazıları uçak karmaşıklık düzeyine bakılmaksızın kaydedilecek zorunlu parametrelerdir. Ek olarak, parametrenin, bir bilgi veri kaynağından (information data sources) alınarak, uçak sistemleri veya mürettebat tarafından uçağın çalıştırılmasında kullanılması koşuluna bağlı olarak, aşağıda yıldız işareti (*) ile belirlenen parametreler FDR cihazı tarafından kaydedilmelidir. Bununla birlikte, uçağın tipine ve kayıt cihazının özelliklerine bağlı olarak başka parametreler bunların yerine kullanılabilir [17].

Aşağıdaki parametreler uçuş yörüngesi ve hız gereklerini sağlamalıdır:

- Barometrik irtifa
- İşari hava hızı (IAS) veya kalibre edilmiş hava hızı (CAS)
- Hava-zemin statüsü ve her bir iniş takımının hava-zemin sensörü (uygulanabilir olduğunda)
- Toplam sıcaklık veya dış hava sıcaklığı
- Baş istikameti (mürettebatın birincil referansı)
- Normal ivme
- Yanal ivme

- Boylamasına ivme (gövde ekseni boyunca)
- Zaman veya izafi zaman sayımı
- Seyrüsefer verileri *: kayma açısı, rüzgar hızı, rüzgar yönü, enlem / boylam
- Yer hızı * (uçağın yere nazaran hızı)
- Radyo altimetre irtifası *

Aşağıdaki parametreler durum gereklerini sağlamalıdır:

- Yunuslama durumu
- Yalpa durumu
- Sapma (dönme) veya yana kayma açısı *
- Hücum açısı

Aşağıdaki parametreler motor gücü gereklerini sağlamalıdır:

- Her bir motorda itki / güç, kokpit itki/güç kolu konumu
- Ters itki durumu *
- Motor itki kumandası *
- Motor itki hedefi *
- Motor tahliye valfi konumu *
- Ek motor parametreleri *: Motor basınç oranı (EPR- Engine Pressure Ratio), düşük basınçlı kompresör hızı (N1-Low Pressure Compressor Speed), işari titreşim seviyesi, yüksek basınçlı kompresör hızı (N2-High Pressure Compressor Speed), egsoz gaz sıcaklığı (EGT- Exhaust gas temperature), gaz kolu açısı (TLA- Throttle Lever Angle), yakıt akışı, yakıt kesme kolu konumu, Türbin dönme hızı (N3-Turbine Speed)

Aşağıdaki parametreler yapılandırma gereklerini sağlamalıdır:

- Yunuslama trim yüzey pozisyonu
- Flaplar: Firar kenarı flap konumu, kokpit kumanda seçimi
- Slatlar *: Hücum kenarı flap (slat) pozisyonu, kokpit kumanda seçimi
- İniş takımı *: iniş takımı, iniş takımı seçicisi konumu
- Dönme trim yüzey konumu *

- Yalpa trim yüzey konumu *
- Kokpit yunuslama trim kumandası girdi (input) konumu *
- Kokpit yalpa trim kumandası girdi (input) konumu *
- Kokpit sapma/dönme trim kumandası girdi (input) konumu *
- Yer spoyleri ve hız freni *: Yer spoyleri konumu, yer spoyleri seçimi, hız freni konumu, hız freni seçimi
- Buz kırma ve/veya buz önleme sistemleri seçimi *
- Hidrolik basınç (her sistem için ayrı) *
- Ağırlık merkezi (CG- Center of Gravity) trim tankındaki yakıt miktarı *
- Alternatif akım (AC- Alternating Current) elektrik bus durumu *
- Doğru akım (DC- Direct Current) elektrik bus durumu *
- Yardımcı güç ünitesi (APU- Auxiliary Power Unit) tahliye valfi pozisyonu *
- Hesaplanan ağırlık merkezi *

Aşağıdaki parametreler, operasyon gereklerini sağlamalıdır:

- Uyarılar
- Birincil uçuş kumanda yüzeyi ve birincil uçuş kumanda pilot girdisi: yunuslama ekseni, yalpa ekseni, sapma/dönme ekseni
- Marker beacon pasajı
- Her bir seyrüsefer alıcısının frekans seçimi
- Manuel radyo iletişim anahtar seçimi ve CVR / FDR senkronizasyon referansı
- Otomatik pilot / otomatik gaz kolu kumandası / otomatik uçuş kumanda sistemi (AFCS- Automatic Flight Control System) modu ve angajman durumu *
- Seçilen barometrik ayar *: pilot, yardımcı pilot
- Seçilen yükseklik (pilot tarafından seçilebilir çalışma modları) *
- Seçilen hız (pilot tarafından seçilebilir çalışma modları) *
- Seçilen Mach (pilot tarafından seçilebilir çalışma modları) *
- Seçilen dikey hız (pilot tarafından seçilebilir çalışma modları) *
- Seçilen baş yönü (pilot tarafından seçilebilir çalışma modları) *
- Seçilen uçuş yörüngesi (pilot tarafından seçilebilir çalışma modları) *: yön/istenen yön (DSTRK- Desired Track), yörünge açısı
- Seçilen karar yüksekliği *

- Elektronik uçuş gösterge sistemi (EFIS-Electronic Flight Instrument System) ekran formatı *: pilot, yardımcı pilot
- Çok fonksiyonlu / motor / uyarı ekranı formatı *
- Yer yakın uyarı sistemi (GPWS- Ground Proximity Warning System) / Arazi farkındalığı ve uyarı sistemi (TAWS-Terrain Awareness and Warning System)/Yer kontrollü yaklaşma sistemi (GCAS-Ground Controlled Approach System) durumu*: arazi görüntüleme modunun "pop-up" gösterimi dahil seçimi, arazi uyarıları, ikazlar, uyarılar ve tavsiyeler, açma / kapama anahtarı konumu,
- Düşük basınç uyarısı *: hidrolik basınç, pnömatik basınç
- Bilgisayar arızası *
- Kabin basıncı kaybı *
- Trafik uyarısı ve çarpışmadan kaçınma sistemi (TCAS-Traffic Alert and Collision Avoidance System) / Havada çarpışmadan kaçınma sistemi (ACAS- Airborne Collision Avoidance Systems) *
- Buz tespiti *
- Her bir motor için titreşim uyarısı *
- Her bir motor için aşırı ısınma uyarısı*
- Her bir motor için yağ basıncı düşük uyarısı *
- Her bir motor için aşırı hız uyarısı *
- Rüzgar değişimi/kesmesi uyarısı *
- Operasyonel *stall* koruması, "stick sarsıcı", "stick itici" aktivasyonu *
- Tüm kokpit uçuş kontrol girdi kuvvetleri *: kumanda lövyesi, dümen pedalı kokpit girdi kuvvetleri
- Dikey sapma *: aletli iniş sistemi (ILS-Instrument Landing System) süzülme yörüngesi, mikrodalga iniş sistemi (MLS-Microwave landing system) yükseltisi, küresel seyrüsefer uydu sistemi (GNSS-Global Navigation Satellite System) yaklaşma yörüngesi
- Yatay sapma *: ILS lokalizörü, MLS ufki açı (azimuth), GNSS yaklaşma yörüngesi
- Mesafe ölçüm cihazı (DME-Distance Measuring Equipment) 1 ve 2'den ölçülen mesafeler *
- Birincil seyrüsefer sistem referansı *: GNSS, ataletsel seyrüsefer sistemi (INS-Inertial Navigation System), her yöne çok yüksek frekanslı dalga yayan yer seyrüsefer cihazı (VOR-VHF omnidirectional range)/ DME, MLS, uzun menzilli radyo seyrüsefer sistemi (Long Range Navigation Loran C), ILS

- Frenler *: sol ve sağ fren basınçları, sol ve sağ fren pedalı konumları
- Tarih *
- Event marker *
- Kullanılan baş üstü ekranı*
- Para visual ekran açık * [17]

CVR cihazının kısa teknik tanıtımı

CVR cihazlarının ulaştırma uçaklarına takılması ihtiyacı, birçok kaza ve ciddi olayda, mürettebatın eylemlerinin veya eylemsizliklerinin incelemeyi yürütmek için önemli bir bileşen olduğu gerçeğinden kaynaklanmaktadır. Değerli mürettebat arası iletişimin yanı sıra pilot mahallinin akustik ortamı pek çok incelemeye önemli ışık tutabilmektedir.

CVR cihazının amacı

CVR cihazının esas amacı, kaza incelemesine pilot mahallindeki iletişimin kaydını, trafik kontrolörleri ile telsiz haberleşmesi, ve uçaktaki genel akustik ortamın kaydını sağlamaktır. İncelemelerdeki deneyimler, sıklıkla önemli seslerin kaydedildiğini göstermektedir. Bu sesler arasında anahtarların çalıştırılması, flap ve iniş takımı seçicilerinin çalıştırılması, sesli uyarı sinyalleri, motor gürültüsü, hava hızındaki değişikliklerin pilot mahalline yansıyan gürültüsü sayılabilir. Bu tür bilgiler, özellikle her bir sesin kesin zamanı kayıttan tespit edilebildiğinde, incelemenin yürütülmesine büyük yardımlar sağlamaktadır. CVR cihazları normal olarak aşağıdakileri kaydetmelidir:

a. Hava aracından telsiz ile iletilen veya alınan sesli ve/veya dijital iletişim
b. Mürettebatın pilot mahallindeki sesli iletişimleri
c. Hava aracının araç içi telefon sistemini kullanarak mürettebatın pilot mahallinde sesli iletişimi
d. Kulaklık veya hoparlöre eklenen seyrüsefer veya yaklaşma yardımcılarını tanımlayan ses veya ses sinyalleri
e. Yolcu duyuru sistemini kullanarak mürettebatın sesli iletişimi (böyle bir sistem var olduğu ve dördüncü kayıt kanalı kullanılmadığı zaman)

Pilot mahallindeki mürettebatın seslerini efektif olarak kaydetmek üzere birinci pilot ve ikinci pilot istasyonlarından kaynaklanan sesli iletişimleri ve pilot mahallindeki diğer mürettebat üyelerinin bu istasyonlara yönlendirildiğinde sesli iletişimlerini kaydetmek için pilot mahallinin en iyi konumuna bir adet kokpit monteli alan mikrofonu yerleştirilir. Uçuş sırasında kokpit gürültüsü koşulları altında kaydedildiğinde, kaydedilen iletişimin yüksek düzeyde anlaşılır olmasını sağlamak için mikrofonun yerleştirilmesine ve kayıt cihazının ön yükselticilerinin ve filtrelerinin ayarlanması veya eklenmesine özen gösterilmelidir. CVR cihazları, yukarıda açıklanan her bilgi kaynağı ayrı bir kanala kaydedilebilecek şekilde yerleştirilmelidir. Bunun için aşağıdaki koşullar yerine getirilmelidir:

a. Birinci kanal için, birinci pilot istasyonunda kullanılan her bir mikrofon, kulaklık veya hoparlörden,
b. İkinci kanal için, ikinci pilot istasyonunda kullanılan her bir mikrofon, kulaklık veya hoparlörden,
c. Üçüncü kanal için, kokpite takılı alan mikrofonundan,
d. Dördüncü kanal için, üçüncü veya dördüncü mürettebata ait istasyonda kullanılan her bir mikrofon, kulaklık veya hoparlörden veya bu amaç için kullanılmadığında, uçağın yolcu kabinindeki hoparlör sistemi ile bağlantılı mikrofonlardan,

gelen kayıtlar CVR cihazına kaydedilir.

Bir CVR cihazının yerleştirilmesi, cihazın istek dışı çalışması ve toptan kayıt silme aletinin çalışması olasılıkları, kaza darbesi sırasında en aza indirilecek şekilde yapılmalıdır [11].

Kayıtların okunması ve analizi

CVR cihazlarının okunması ve analizinde iki işlem vardır. Bu işlemler, verilerin bulunup çıkarma prosesi (FDR cihazında olduğu gibi) ve transkripsiyon (kayıtların yazıya geçirilmesi)/analiz işlemidir. Verilerin bulunup çıkartılması aşamasının amacı, transkripsiyon ve ses analizi amacıyla bir kayıt elde etmektir. Bunu başarmak için, özel bir tipte CVR cihazından ses kaydını yeniden üretecek olan özel tasarlanmış teyp çalma cihazı kullanılması gerekmektedir. Tecrübeli laboratuvarlar bu amaç için kullanılan ayarlanabilir teyp bandı desteklerine sahiptir. Katı malzemeli CVR cihazları için, bellek aygıtı ile iletişim kuran uygun arayüz protokolleri kullanılarak, katı malzemeli FDR cihazlarına benzer şekilde bellek içerikleri çıkartılıp elde edilir. Teyp kayıt cihazlarında kayıt zamanlamasının

düzeltilmesi gerekir çünkü bu kaydı tam olarak kaydedildiği hızda çalmak mümkün değildir. Küçük hız hataları zaman içerisinde birikerek büyük zamanlama hatalarına yol açar. Hava aracının 400 Hz frekansını kullanarak zaman ayarlaması yapmak için deneyimli inceleme laboratuvarları tarafından bilinen birçok teknikler vardır. Katı malzemeli CVR cihazları için zamanlama şekli de bir sorun olabilir. Bazı modern sistemler küresel konumlandırma sisteminin (GPS-Global Positioning System) ürettiği zamanı tüm kayıt cihazlarına kaydederek senkronizasyonu nispeten kolaylaştırır. Tecrübeli inceleme laboratuvarları, doğru ses perdesini korurlarken konuşmayı yavaşlatan tekniklere sahiptirler, gürültü filtrelemesi yaparlar ve hava aracı motorunun çalışma davranışını ve gürültüsünü belirlemek üzere spektral analiz yaparlar. Burun iniş takımının pist kaplaması üzerindeki sesi bazen hava aracının hızını belirlemek için kullanılabilir. Motor devrini belirlemek için motor sesleri kullanılabilir. Hız frenini devreye almanın, *stall* uyarısının, irtifa uyarıcısının, yere yakınlık uyarılarının, radar altimetre belirtme çizgilerinin (callout) vs. zamanları analiz edilerek iniş ve kalkış süreleri sıklıkla bulunabilir. Bu uygulamaların tümü, CVR cihazının transkriptinin kalitesini büyük ölçüde arttırmak için kullanılabilir. Bir CVR transkripti sıklıkla akustik analiz uzmanları, operasyon uzmanları ve sistem uzmanları dahil olmak üzere çoklu disiplinli bir grup uzman tarafından gerçekleştirilir. Grubun amacı, ilgili konuşmanın doğru bir transkriptini üretmektir. Devletler, CVR cihazlarına kayda değer bir ayrıcalık uygulamalı ve koruma altında tutmalıdır. Grup, incelemeye katkısı olmayan kişisel bilgilerin transkripsiyonuna ihtiyaç olmadığından yalnızca gerekli ve ilgili bilgileri yazıya geçirmelidir. Uçuş esnasında gereğinden fazla zaman almış olan kişisel görüşme yapılmışsa bu süre zarfında kişisel görüşmenin gerçekleştirildiği hususu incelemecinin gözlemi olarak not edilebilir. Bazı durumlarda kişisel görüşmeleri yazıya geçirmek de gerekli olabilir. Kişisel bir görüşmenin gerçek sözcüklerini yazıya geçirirken dikkatli olunmalıdır. Gerçek sözcüklerin kullanılması ihtiyacı, mürettebatın kişisel mahremiyet hususları ile inceleme işleminin ihtiyaçları arasında dengeli olarak belirlenmelidir. Konuşmada geçen heyecanlı, hissi ve sövgü tipi ifadeler için (#) simgesinin kullanılması kabul edilmiş bir uygulamadır. Transkriptlerde kullanılan diğer faydalı simgeler arasında yer alan () işaretinin içeriği belirli kelimelerin belirli bir dilden çevirisini ihtiva eder. Devletler, CVR cihazlarının kayıtlarının tam ve bütünsel trankriptlerini kamuya açıklamamalıdırlar. Ancak, analiz için gerekli olan ve vakanın iyice anlaşılmasını sağlayan CVR cihazının ilgili kayıtları nihai rapora ve onun eklerine dahil edilebilir. Ses kaydının tam transkriptinin analiz için gerekli olmayan kısımları açıklanmamalıdır.

Operasyonel analiz / insan faktörü analizi

CVR cihazının birincil amacı, mürettebatın iletişimini kaydetmektir. Gerekli alanlarda özel eğitim almış deneyimli kaza incelemecileri normal olarak CVR cihazlarının insan faktörleri ve operasyonlar parçalarının analizlerini gerçekleştirirler. CVR cihazı içeriğinin analizi tipik olarak operasyon prosedürlerinin, mürettebat işbirliğinin ve mürettebat performansının incelenmesini içerir. Bu analiz, genelleştirilmiş vakaları kapsayacak kadar geniş olabilir veya mürettebattan birisinin konuşma tarzını veya bazı özel hecelerin nasıl telaffuz edildiğini analiz edecek kadar özel ve daraltılmış kapsamlı da olabilir. Söz konusu analiz mürettebatın konuşmaları sırasındaki homurdanmaların ve gerginliklerin değerlendirilmesi yoluyla mürettebatın fiziksel eylemlerine kıymetli bir bakış atfetme imkanı da sağlayabilir. CVR cihazı analizinin incelemenin diğer alanlarından elde edilen bulgularla birlikte kullanılması, mürettebat eylemlerini, mürettebatın ruhsal halini ve insan performansını (tıbbi durum nedeniyle algılama ve tepkilerin azalması gibi) etkileyen diğer potansiyel faktörlerin belirlenmesini kolaylaştırabilir [11].

QAR cihazının kısa teknik tanıtımı

Hızlı Erişim kayıt cihazının (QAR-Quick Access Recorder) içerdiği veriler, bir çarpma darbesinden sağlam olarak çıkabilirler ve eksiklerini tamamlayarak FDR cihazının verilerini bütünleyebilirler. Bazı durumlarda QAR cihazı FDR cihazından çok daha fazla parametreler kaydeder. İyi düzeyde FDR cihazı verileri takımı elde edilmiş bile olsa QAR cihazı FDR verilerini kontrol etmek ve tamamlamak üzere incelenmelidir. FDR cihazı verilerinin kullanımı için geçerli olan verilerin kesin doğruluğu, güvenilirliği, örnekleme oranı, çözünürlüğü vb. gibi konular QAR cihazı verileri için de geçerli olur.

3.7.2. ARINC iletişimi adrese gönderme ve raporlama sistemi (ACARS-ARINC Communications Addressing and Reporting System) mesajları

Birçok hava aracı muhtelif çeşitli bakım amaçlarına yönelik olarak uçuş esnasında uydulara veya yer istasyonlarına otomatik olarak performans ve bakım verilerini iletir. Bu veriler sıklıkla önceden belirlenmiş uçuş aşamaları (örneğin kalkış, ilk tırmanış, seyir vb.) ve motorların veya hava aracı sistemlerinin belirli hadlerinin aşımları veya arızaları için kaydedilir. Bu verilerin değerleri sınırlı düzeyde olurlar, çünkü bunlar normal olarak FDR

cihazlarından veya QAR cihazlarından gelen ve zamana yayılı süreli geçmişlere sahip veriler değil fakat bilgilerin anlık görüntülerinden ibaret olurlar.

3.7.3. Kaydedilen radar verileri

Kaydedilen radar verileri değerli bir bilgi kaynağı olabilir. Kullanılmadan önce verilerin nasıl işlendiğinin ve doğruluğunun iyice anlaşılması önemlidir. Verinin doğruluğu, radarın tipine ve hava aracı ile radar anteni arasındaki mesafeye bağlıdır. Kontrolörün radar ekranında görüntülenen radar verileri genellikle yüksek düzeyde işlenmektedir. İşlenen veriler, kontrolörün radar ekranında ne gördüğünü anlamakta yararlı olmakla birlikte, inceleme uzmanı değerlendirme işlemine ham verilerle başlamalı ve verilere uygulanan tüm dönüşüm, filtreleme, hesaplama vb. işlemleri önceden anlamış olmalıdır. İrtifa kaynağının normal olarak yer radarından değil, hava aracının transponderinden geldiği unutulmamalıdır. Ancak bazı askeri radar sistemleri, radar temelli irtifa sağlar. Bağımsız radar kaynaklarından (yakındaki yaklaşma kontrolleri, yol boyunca-enroute kontrolü, askeri havalimanı radarı, vb.) elde edilen çoklu radar veri takımları büyük bir sıklıkla vardır. İlave olarak, havadan radar verileri askeri gözetleme uçaklarından da elde edilebilir. En doğru radar verilerini elde etmek için tüm radar kaynakları incelemeye alınmalıdır.

3.7.4. Çarpma izleri

Hem yerdeki hem de enkaz üzerindeki çarpma izleri, hava aracının çarpma anındaki tutum, eğim ve yörüngesini anlamak için değerli bilgiler sağlayabilir. Çarpma izleri (vaka mahallindeki izler ve zemindeki yarık izleri) mükemmelen ölçülmeli ve mümkün olduğunca çabuk belgelenmelidir. Çünkü inceleme zamanı gelesiye kadar, vaka izleri ve zemindeki yarıklar çoğu kez kararmaya başlamış olurlar. Pist üzerindeki kayma izleri ve lastik izleri, hava araçlarının pist ucu ek alana çıkma ve pist dışında toprağa çıkma olaylarını incelemede özellikle yararlıdırlar. Çarpma anında çarpma darbesinin, analog donanımın göstergeleri üzerinde bıraktığı izler yararlı bilgilerin geleneksel kaynakları olagelmiştir. Pek çok dijital donanımlar hafıza devrelerine veya çarpma şartlarını kaydeden ışıklandırılmış kısımlara sahip olurlar. Dijital donanımların söz konusu devrelerinin laboratuvarlarda analiz edilmesine başlanana kadar büyük bir özenle işlem görmeleri gerekir.

3.7.5. Videolar ve gözetleme kameraları

Giderek yaygınlaşan video kayıtları, mobil telefonlar ve gözetim kameraları, video görüntüler veya hareketsiz görüntüler sağlar ve bunlar inceleme uzmanları için yararlı olurlar. Enkaz bölgesinden elde edilen kameralarda, video kayıtları da bulunursa, bunlarda inceleme altına alınmalıdır. İnceleme uzmanları bu gibi potansiyel bilgi kaynaklarını arayıp bulmak için aktif olarak gayret sarf etmelidir.

3.7.6. Görgü tanığı ifadeleri

Görgü tanığı ifadeleri bilgi kaynakları içerisinde en az güvenilir olanları olabilir, ancak uygun şekilde değerlendirildiklerinde yine de bazı yararlı bilgiler sağlayabilirler. İnceleme uzmanı bazen tanıkların konumlarına nazaran ve uzaklardan kolaylıkla fark edilebilen topoğrafik ve mimari özelliklere ve çıkıntılara nazaran ve hava aracının gökteki görüntüsü ile tanıklar arasına giren görüş engellerine kıyasen uçağın havadaki yörüngesine ilişkin bilgileri çıkartabilir. Yukarıda açıklandığı gibi kayıt altına alınmış veriler elde mevcutsa, tanık ifadeleri ancak ikincil veya onaylayıcı veriler olarak kullanılmalıdır. Bazı durumlarda inceleme uzmanlarının, tanıkların rapor ettiği bilgileri yorumlamak için güvenilir şekilde kayıt altına alınmış verileri değerlendirmeleri gerekmekte olup tersine bir yöntemi yani güvenilir şekilde kaydedilmiş verileri yorumlamak için tanıkların rapor ettiklerini değerlendirmek yanlış olur. Uygun tanık görüşme teknikleri ve görüşme analizi teknikleri literatürden alınıp kullanılmaktadır.

3.7.7. Havadan alınan görüntü kayıt cihazları (AIR Cihazları)

Havadan alınan görüntü kayıt cihazları (AIR-Airborne Image Recorders) inceleme uzmanlarına yararlı bilgiler sağlayabilirler. FDR, CVR vb. diğer kayıt cihazlarında kaydedilmemiş olan vakalar AIR cihazı tarafından tespit edilmiş olabilirler. Günümüzde AIR cihazlarının sivil havacılıkta yaygın kullanımı henüz başlamamıştır.

3.7.8. Meteorolojik veriler

Meteorolojik veriler inceleme uzmanlarına son derece kritik bilgiler sağlayabilirler. Hava aracının hava kütlesine nazaran hareketini hava aracının zemine nazaran hareketiyle

ilişkilendirmek gerekli olduğundan, rüzgar verileri özel bir değer taşırlar. Bazı hava aracı uçuş yönetim sistemleri atalet, hava hızı ve baş yönü bilgilerinden rüzgar hızını ve yönünü hesaplarlar. İnceleme uzmanı, yer kaynaklarının rapor ettiği rüzgar bilgileri ile yukardaki teknikle hesap edilen rüzgar bilgilerini mümkün olduğu zaman çapraz kontrole tabi tutmalıdır. Uçuş yönetim sistemi, rüzgar verilerini bazen daha hassasiyetle hesap etmekle birlikte, inceleme uzmanı analiz için kullanmadan önce bu rüzgar verilerinin nasıl elde edildiğini mükemmelen anlamalıdır. İnceleme uzmanı, yeni hava araçlarında daha önce öngörülmemiş arıza modlarını veya yaşlı uçaklardaki malzeme yorgunluğundan yeni ortaya çıkmaya başlayan arıza modlarını tespit edebilir. Bu arıza modları incelenen kazayla ilgili olabilirde olmayabilir de, ancak bu arıza modları kazaları önlemeye yönelik olarak ayrıca çalışılması ve gerekirse önlem alınması için çeşitli kurumlara rapor edilmelidir. Bu gibi kuşkular, minimum durumda, bu arıza indikatörlerinin doğrulandığı veya elendiği zamana kadar, ilave araştırma ve bakım kontrollerine odaklanılmasını sağlayabilir [11].

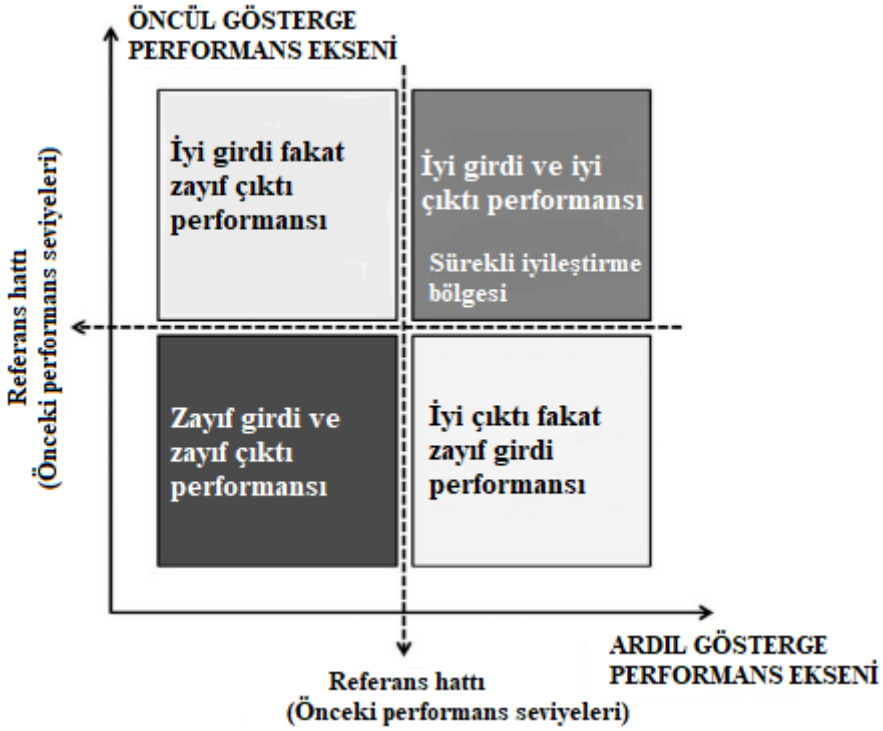
3.8. Öncül ve Ardıl Göstergeler

"Öncül" ve "ardıl" gösterge kavramları emniyet bilimi literatüründe iyi bilinmekte ve kullanılmaktadır. Bunların tam olarak ne anlama geldikleri yeniden ifade edilecek olursa, öncül göstergeler, kaza gibi önemli vakalar için ölçülebilir öncü ögelerdir. Öncü bir ögenin belirtisi gerçek vakanın kendisinin önünde gider veya gerçek vakanın kendisinden önce gelir. Ardıl göstergeler ise, yalnızca bir vakadan sonra görünür hale gelen ölçülebilir kayıp değerlerdir. Öncül göstergelerin proaktif tabiatta oldukları kabul edilir, çünkü bunlar ciddi derecede olumsuz sonuçlardan sakınmak için atılacak adımları mümkün kılarlar. Ardıl göstergelerin ise reaktif tabiatta oldukları kabul edilir, öyle ki, bir ardıl göstergeden ders alabilmek için ciddi derecede olumsuz bir olayın vuku bulması gerekir. Bu nedenle, öncül göstergeler bazen pozitif performans göstergeleri olarak kabul edilirken, ardıl göstergeler de bazen negatif performans göstergeleri olarak kabul edilirler. Bazen de her ikisi birden anahtar performans göstergeleri olarak adlandırılır. Böylece öncül göstergeler yukarı akış belirtileri iken, ardıl göstergeler aşağı akış belirtileri olarak kabul edilirler. Aynı zamanda meydana gelen göstergeler ise ne öncül göstergedir ne ardıl göstergedir. Aynı zamanda meydana gelen göstergeler ilişkili oldukları eğilim ile aynı zamanda değişen ölçülebilir belirtilerdir. Çizelge 3.1'de öncül ve ardıl göstergelerle ilgili bazı örnekler görülmektedir.

Çizelge 3.1. Öncül ve ardıl göstergelerle ilgili örnekler [15]

Öncül Göstergeler	Ardıl Göstergeler
Düşen barometrik basınç kötü hava koşullarının öncül bir göstergesidir.	Bir fırtına, düşük atmosferik basıncının ardıl bir göstergesidir
Soğutma suyu sıcaklığı, motordaki sorunların öncül bir göstergesidir.	Arızalı motor kapak contası, motorun soğutma probleminin ardıl bir göstergesidir.
Yüksek kolesterol, kötü koroner sağlığın öncül bir göstergesidir.	Kalp krizi yüksek kolesterolün ardıl bir göstergesidir.

Öncül performans göstergelerinin ölçtüğü girdiler ile, arzu edilen ardıl çıktılar arasında bir ilişki olması gerektiği aşikardır. Sözü edilen girdiler ile çıktılar arasındaki ilişki kendiliğinden aşikar olduğu halde, bu ilişkinin birçok durumlarda fiilen sınanması mümkün değildir. Zayıf girdilere rağmen iyi performans elde edilmesi ve iyi girdilere rağmen zayıf performans elde edilmesi gayet mümkündür. Petrol ve gaz sektörü için bu beklenmedik durumlar dizisi Şekil 3.17'de bir matriste sunulmaktadır.



Şekil 3.17. Emniyet performans göstergeleri matrisi

Şekildeki kareyi dört hücreye bölen yatay ve dikey çizgiler, önceki performansların referans seviyelerine dayalıdır ve seçilen öncül ve ardıl göstergelerin değerleri gerçek emniyet performansını grafik olarak göstermek için koordinatlar olarak kullanılır. Bu matris görünüşün avantajı, tercih edilen öncül göstergelerin, arzu edilmeyen ardıl göstergeleri basitçe iptal ederek ortadan kaldırmamasıdır. Diğer bir deyişle basitçe kolay hedefler

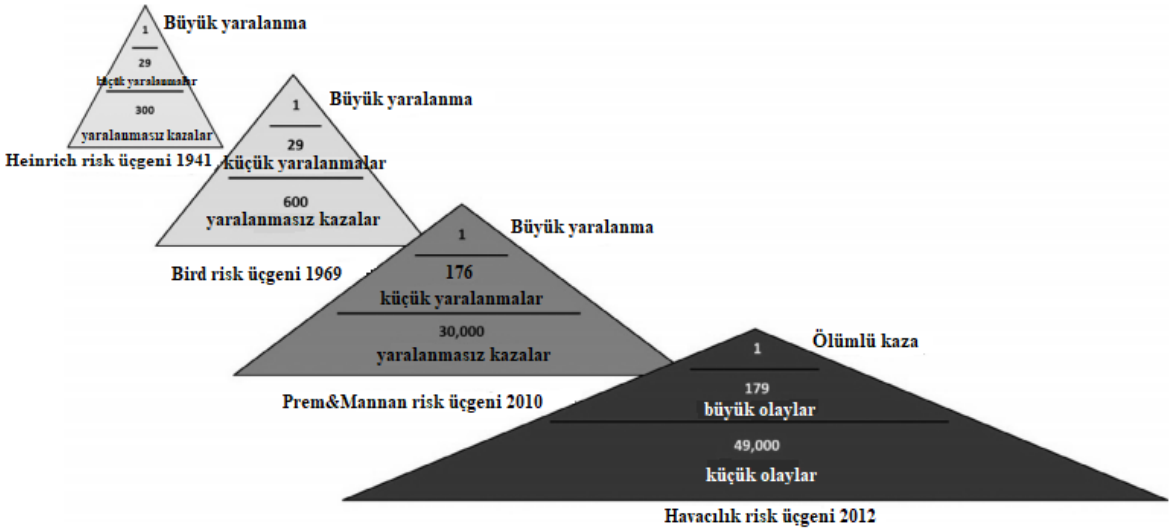
koymak, düzenlemeyi birinci çeyrekten (zayıf girdi ve zayıf çıktı), üçüncü çeyreğe (iyi girdi ancak zayıf çıktı) taşıyacaktır. Benzer şekilde basit bir iyi talih, bir düzenlemeyi ikinci çeyreğe (zayıf girdi ancak iyi çıktı) taşıyacaktır. Aslında bir düzenlemenin dördüncü çeyreğe (sürekli iyileştirme bölgesi) geçmesinin tek yolu, uygun hedefler belirlemek ve bu hedeflere yönelik gerçek emniyet performansını sağlamaktır. İngiltere havacılık sektörünün yaklaşık bir analizi, ölümcül kaza oranını ardıl bir gösterge olarak ve ölümcül olmayan olayları da öncül gösterge olarak kullanmıştır. Havacılık sektöründe bir kaza, resmi olarak bir kişinin hava aracı içerisinde veya civarında olmasından dolayı ölümcül veya ciddi yaralanmalara maruz kalması ve/veya hava aracının hasara veya yapısal arızalara uğraması olarak tanımlanır. Olaylar ve küçük olayların ciddilik derecesi zamanla azalan eğilime sahiptir. 2000 ile 2009 yılları arasında İngiltere'de 5,7 ton azami kalkış ağırlığından daha büyük hava araçlarıyla yapılan yolcu uçuşlarında ölümlü vakalar görülmemiş olup, 179 olay ve 49,000 küçük olay yaşanmıştır. Ancak, aynı on yıllık dönemde küçük olaylar kazalara benzemeyen bir şekilde %20'lik bir artış göstermiştir. Şekil 3.17'deki matrisi yatay ve düşey olarak ortasından bölen hatları, geçmişten elde edilen referans hatları olarak tanımlarsak, İngiltere havacılık sektörünün sağ üstteki dördüncü çeyrek ile sağ alttaki ikinci çeyreği bölen yatay referans hattının tam üzerine veya biraz altına düştüğü görülecektir. Burada dikkat edilecek nokta, ikinci çeyreğin zayıf girdi performansı (geçmişten elde edilen referans hattına göre) fakat iyi çıktı performansı bölgesini temsil ettiğidir. Yetersiz düzeyde kontrol edilen tehlikelerin, fiilen hasarla sonuçlanıp sonuçlanmadığı konusunun daima bir talih unsuruna bağlı olmasından dolayı, bu durum, performansı ikinci çeyrekte gösterilen bir örgütün talihli olageldiğini işaret eder. Ancak her zaman iyi talihli olunmaz ve sadece iyi talihe güvenilemez. Gelecekteki performanslar şu andaki kadar iyi olmayabilir ve bu performans düzeyini korumak için girdiye daha çok dikkat edilmelidir. Emniyet bilimi alanında önder olan havacılık sektörü girdiye daha fazla dikkat edilmesi gereken çeyrekte ise (ikinci çeyrek) böyle bir durumda muhtemelen diğer sektörler için daha da fazla dikkatli olunması gerekecektir [15].

Risk üçgeni

Öncül ve/veya ardıl göstergeler yoluyla olaylardan öğrenmenin altında yatan fikir, tekrar gözden geçirmeye değer ve daha da temel bir emniyet bilimi kavramı olan risk üçgeni olup Şekil 3.18'de gösterilmiştir. Orijinal hali 1941 tarafında Heinrich tarafından verilen risk üçgeni; 300 tane kaydedilebilir kazanın, 10/1 oranı ile 30 tane büyük kazaya yol açacağını

öngörür. Bu kaza oranları 1930'lu yıllarda vuku bulmuş olan hakiki kazalardan elde edilmiş verilere dayanmaktadır. Açıkça aradan geçen seksen yıl içerisinde kazaların meydana geldiği şartlar büyük ölçüde değişmiş olup, aynı şekilde, risk üçgeninde belirtilen oranlar da büyük ölçüde değişmiştir. Aslında, orijinal Heinrich risk üçgeni aynı insanın aynı ortamda aynı işi yaptığı durumlarda maruz kaldığı riskleri ifade etmek için tasarlanmış olup, riske bireysel maruz kalma durumuna dayandırılmıştır. Bu üçgen 1960'lı yıllarda bir bireyden daha fazlasını içeren topluluk düzeyindeki riskleri daha iyi ifade etmek üzere güncellenmiştir. 1969 yılında, bu sefer Frank Bird tarafından risk üçgeni uygulamasını daha da güçlendiren analiz, sigortacılık sektöründe bir kez daha yapılmış olup, geniş bir aralıktaki 297 katılımcı şirket tarafından rapor edilen 1,750,000 kazaya dayandırılmıştır. Bu analizde Heinrich tarafından önerilen 1–30–300 oranı yerine, revize edilen üçgenin tabanı 600 kazaya genişletilmiş olup, küçük kazalar ile yaralanmalı kazalar arasında 20/1 oranı ortaya çıkmıştır. 1969 yılındaki risk üçgeni, onu inşa etmek için kullanılan yine aynı metodoloji tarafından yaratılan zafiyetlerle kısıtlanmıştır. Bu durumda risk üçgeninin tabanında meydana gelen olaylar, ilgili kişilerle birebir özel mülakatlardan elde edilmiş olup, bu husus potansiyel bir veri kalitesi ve verilerin ayrışma duyarlılığı sorunları olduğu anlamına gelmektedir. Buna göre Heinrich risk üçgeni uyarınca kaçınılmaz alan farklılıkları ortaya çıkacak olup, bu durum yine 1960'lı/1970'li yıllardaki emniyetle ilgili durumları ifade etmektedir. Bu farklılıklar, Prem ve arkadaşlarının 2010 yılında emniyet yönetimi ilkelerinin ilk benimseyicisi olan petrokimya endüstrisi üzerinde yaptıkları araştırmada ortaya konulmuştur. Söz konusu araştırma 176 büyük yaralanmalı kazaya kıyasen, 30,000 yaralanmasız kaza olduğunu göstermektedir. Yaralanmasız kazaların büyük yaralanmalı kazalara oranı, Heinrich'in orijinal 10/1 oranına kıyasen, 170/1 olarak ortaya çıkmaktadır. İngiltere havacılık endüstrisinde, risk üçgeninin tabanının daha da genişlediği görülmekte olup, 49,000 küçük olaya karşılık 179 ciddi olay bulunmaktadır. Buna göre, küçük olayların ciddi olaylara oranı 274/1 olarak ortaya çıkmaktadır. Risk üçgenleri genişledikçe, Heinrich'in 1941 yılında işaret ettiği büyük kazaların (yani, ardıl göstergeler) üzerine odaklanmanın yanlış yönlendirme olduğu ve değerli verilerin (yani üçgenin tabanında bulunan öncül göstergeler) göz ardı edilmesine neden olduğu savı güçlenir. 1985 yılında Bird ve Germain risk üçgenlerinin amacının kaza seviyeleri arasında evrensel bir oranlar dizisi önermek değil, fakat her bir büyük olay (kaza) için pek çok öncü ögenin bulunduğu şeklindeki geniş kapsamlı ilkeyi vurgulamak olduğunu açıkça ifade etmişlerdir. Bu bölümle ilgili kilit nokta, çok geniş tabanlı yaralanmasız kazaları içeren risk üçgenleri hususuyla,

yeni kaydetme ve kayıt tutma teknolojileri yoluyla büyük miktarlarda veri derlemenin, teknolojik uygulanabilirliği hususunun buluşmasıdır [15].



Şekil 3.18. Orijinali 1941 yılında (Heinrich), revize edilmiş versiyonu 1969 yılında (Bird), revize edilmiş versiyonu 2010 yılında petro-kimya endüstrisinden (Prem ve Mannan) ve 2012 yılında revize edilmiş versiyonu da havacılık endüstrisinden türetilen risk üçgenleri

4. ÖRNEK OLAY ÇALIŞMALARININ İNCELENMESİ, KAZALARIN ÖNLENMESİNDE EFEKTİF METOTLAR VE ANALİZ YÖNTEMLERİ

Bu bölümdeki analizde uçak kazalarının nedenlerinin araştırılması sırasında FDR cihazının ve CVR cihazının varlığının ve yokluğunun etkilerini göstermek için seçilen iki farklı uçak kazası örnek vaka incelemesi olarak ele alınmıştır. İlk örnek vaka çalışmasında, FDR ve CVR cihazlarıyla donatılmış bir sivil iş jeti uçağının kaza incelemesi, düşen uçağın FDR ve CVR cihazlarından elde edilen kaydedilmiş verilerin kullanımını gerektiren iyi tanımlanmış bir prosedüre göre gerçekleştirilmiştir. İkinci örnek vaka çalışmasında, eldeki mevcut farklı kaza inceleme kaynaklarından elde edilen çeşitli bilgiler kullanılarak ne FDR ne de CVR cihazları olmayan bir askeri eğitim uçağı çalışılmıştır. Askeri eğitim uçağında kayıt cihazları bulunmadığından, inceleme için kullanılan tüm veriler başka kaynaklardan elde edilmiştir. Hazırda kayıt cihazından elde edilen veriler bulunmadığından, ilk adım olarak, uçuş halinde bulunan uçakla iletişim kuran askeri hava trafik kulesi, uçağı radarda izleyen radar kulesi, çevrede kazayı gören görgü tanıklarının ifadeleri gibi, dolaylı kaynaklardan elde edilen bilgiler ve kaza yerinden toplanan kanıtlar incelenmiştir. İlk örnek vaka çalışması, 11 Mart 2018 tarihinde, Birleşik Arap Emirlikleri Şarjah (Sharjah) Uluslararası Havaalanı'ndan kalkarak, İstanbul Atatürk Uluslararası Havaalanı yönünde uçuşunu gerçekleştirirken, İran hava sahası içinde bulunan Şehri Kürt (Shahr-e Kurd) yakınındaki dağlık araziye düşen "Bombardier CL604 Challenger" tip iş jeti uçağının kaza incelemesiyle ilgilidir. Resim 4.1'de gösterildiği gibi, uçak uçuştan önce Şarjah Uluslararası Havaalanı'nda üç gün park etmiştir.



Resim 4.1. Şarjah Havaalanı'nda söz konusu uçağın son kez yaptığı park sırasında çekilmiş fotoğrafı

Bu kazada, üç mürettebat üyesi de dahil olmak üzere toplam on bir kişi ölmüştür. Uçak tamamen yanmış ve külli hasara uğramıştır. Uçağın enkazının kaza yerinden çekilen fotoğrafı Resim 4.2'de gösterilmektedir.



Resim 4.2. Uçağın enkazının kaza yerinde çekilmiş fotoğrafı

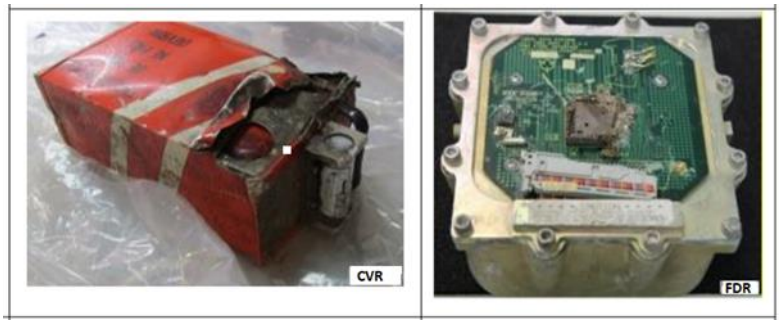
Kaza incelemesinin ileriki aşamalarında çözümlemesi yapılan CVR cihazı kayıtları, felaketle sonuçlanan sürecin sadece toplam dokuz dakika içinde gerçekleştiğini ortaya koymuştur. Sonuç olarak, mevcut CVR ve FDR cihazlarından elde edilen verilerin varlığı, kazanın kesin nedenlerinin bir yıldan daha az bir sürede tespit edilmesini mümkün kılmıştır. İnceleme, uçağın üreticisi olan Bombardier şirketinin tasarım ve teknik bilgilerine ücretsiz erişim hakkı sağlayan Kanada Ulaşım Emniyet Kurulu (TSB-Transport Safety Board) temsilcileri ile İranlı sivil havacılık yetkililerinden oluşan kaza inceleme uzmanları tarafından yürütülmüştür [18].

İkinci vaka çalışmasında, 2011 yılında yapılan bir eğitim uçuşu sırasında, Akdeniz kıyısındaki bir kentin yakınında denize düşen T-37C askeri eğitim jet uçağı kazası ele alınmıştır. T-37C uçağı, dünya ülkelerinin çoğunun ordularında temel pilot eğitim uçağı olarak hizmet vermektedir. Bu kazada, biri öğretmen pilot, diğeri öğrenci pilot olmak üzere iki can kaybı olmuştur. Uçak enkazı kazadan sonra deniz tabanından çıkarılmıştır. Kaza incelemesi esnasında söz konusu uçağın FDR ve CVR cihazlarının bulunmadığı anlaşılmıştır. Yalnızca FDR ve CVR cihazlarından elde edilebilecek türden kesin kanıtların bulunmaması nedeniyle, bu kaza incelemesi 2011-2018 yılları arasında dört ayrı kaza inceleme uzmanlık heyetleri tarafından yürütülen incelemelere rağmen kazanın kesin nedenini belirlemek mümkün olmamıştır. Yedi yıl süren kaza incelemeleri ve sadece eldeki dolaylı bilgi kaynaklarına dayanan analizler sonucunda, dolaylı yoruma ve benzer

vakalardaki tecrübelere dayalı, spekülatif ve belirsiz kaza nedenleri ortaya konabilmiştir.

4.1. FDR Cihazı ve CVR Cihazı ile Donatılmış Bir Uçak Kazasına Ait Örnek Vaka Analizi

Bu özel örnek vaka çalışması, İran hava sahasında düşen Türkiye'ye ait "Bombardier Challenger tip 604" iş jeti uçağına ilişkin olarak gerçekleştirilmiştir. Uçağın kaza incelemesini yürütmek için, Kanada TSB ve İran Hava Aracı Kazaları İnceleme Kurulu yetkililerinden oluşturulmuş karma bir heyet, uçağın FDR ve CVR cihazlarından elde edilen kayıtların ve transkriptlerin üzerinde incelemelerini yürütmüştür. Bu işlem esnasında FDR cihazından gelen verilerin zamanlaması ve CVR cihazından gelen pilot mahallindeki insan sesleri ve arka plan ses kayıtlarının zamanlaması, söz konusu heyet tarafından senkronize edilmiştir. Düşen uçağın kaza mahallinden elde edilen CVR ve FDR cihazları Resim 4.3' de görülmektedir [18].



Resim 4.3. "Bombardier Challenger" tip iş jeti uçağına ait CVR ve FDR cihazları

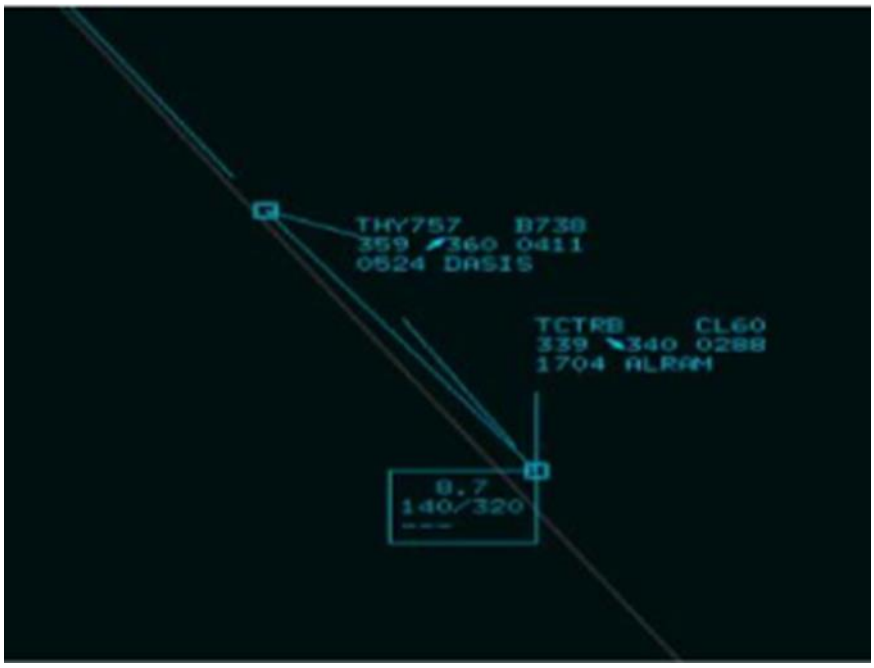
CVR ve FDR cihazlarının çözümlenmiş transkiriptlerinden ve kayıtlarından elde edilen kazanın daha ayrıntılı bir anlatımı aşağıdaki gibidir:

Türkiye'ye ait "Bombardier CL604 Challenger tip" iş jeti uçağı 8 Mart 2018 tarihinde İstanbul'dan Şarjah'a uçuşunun sonuna gelip Şarjah Havaalanı'na iniş yaparken, uçağın FDR verilerinin sol tarafta okunan hava hızı değerlerinde geçici bir anormal davranış olduğunu gösterdiği ve bu anormal durumun mürettebat tarafından fark edildiği nihai kaza incelemesi sırasında tespit edilmiştir. Uçak, Şarjah Havaalanı'na indikten sonra pist üzerinde üç gün park etmiş olarak beklemiştir. Uçak, BAE Şarjah Havaalanı'ndan kalktıktan on beş dakika sonra, 13:26:00 UTC (UTC-Universal Time Coordination) zamanında 23,000 feet uçuş irtifasında (FL230-flight level 230) uçarken Tahran Uçuş Bilgi Bölgesine (FIR-Flight

Information Region) girmiştir. Tahran "FIR" bölgesine girdikten sonra, ilgili Alan Kontrol Merkezi (ACC-Area Control Center) kontrolörü, uçağa uçuş planına uygun olarak 36,000 feet irtifaya tırmanma iznini vermiştir. Bu kazanın incelenmesi sırasında elde edilen tüm kanıtların değerlendirilmesinden, bu uçuş operasyonunun UTC 14:32:00 zamanına kadar normal olarak sürdüğü ve 36,000 feet irtifada uçak otopilotunun kaptan tarafındaki (sol taraf) 1 numaralı hava veri bilgisayarına (ADC1-Air Data Computer 1) set edilerek kararlı bir yatay seyir uçuşunda bulunduğu anlaşılmıştır. 14:32:00 UTC zamanında uçak 36,000 feet irtifada seyretmekteyken, kaptan pilot ve yardımcı pilot hız göstergelerinde, hızlar arasında yaklaşık 5 knot civarında farklılaşma olmaya başladığı kaza kayıtlarından tespit edilmiştir. 14:32:17 UTC zamanında kaptan pilot, Tahran ACC merkezinden 38,000 feet irtifaya tırmanma kılerınsı (clearance-kule müsaadesi) istemiş olup, bu istek kule tarafından onaylanmıştır. Ancak 38,000 feet'e tırmanmak için istenen müsaadenin gereğinin, uçuşun sonuna kadar hiç birzaman uçak mürettebatı tarafından tam olarak gerçekleştirilemediği belirlenmiştir. 38,000 feet'e tırmanma manevrası devam etmekteyken, kaptan pilotun önündeki sol taraf hız göstergesiyle yardımcı pilotun önündeki sağ taraf hız göstergesinden okunan hava hızı değerleri farklılaşmaya devam etmiş olup, uçak 38,000 feet irtifaya varmadan önce bu iki hız göstergeleri arasındaki farkın 10 knot'ı aştığı anlaşılmıştır. Göstergelerdeki bu hız farkının, kaptan pilotun önündeki göstergede hız değerinde bir artış olurken, yardımcı pilotun önündeki hava hızı göstergesinde azalış olduğu kazadan sonraki incelemeler sırasında ortaya çıkmıştır. Mürettebatın göstergeler arasındaki bu hız farkından, pilot mahallinde mevcut işitsel bir uyarı ile haberdar edildiği, CVR kaydı incelemesinden anlaşılmıştır. Uçuş esnasında kaptan pilotla yardımcı pilot arasında geçen konuşmaların CVR cihazında mevcut kayıtları, kazadan sonra inceleme uzmanları tarafından çözümlenmiştir. Bu çözümleme, motor göstergeleri ve mürettebat uyarı sistemi (EICAS-Engine Indicating and Crew Alerting System) üzerinde elektronik uçuş aletleri sistemi (EFIS-Electronic Flight Instrument System) bilgisayar izleme (COMP MON-Computer Monitor) veya kısaca EFIS COMP MON uyarı mesajının görünmüş olduğunu göstermiştir. Uçağın 38,000 feet irtifaya tırmanışı devam ederken, kaptan pilotun uçak motorunun gaz kolunun konumunu rölantiye indirdiği belirlenmiştir. Yaklaşık 63 saniye sonra uçak 38,000 feet irtifaya tırmanışının son aşamasında iken, "hava hızı aşımı sesli uyarıcısı (clacker)" nın, "işari hava hızı" (IAS-Indicated Airspeed) değerinin 0,85 "Mach" değerinin aşıldığını belirtecek şekilde çalmaya başladığı anlaşılmıştır. Kazadan sonra kayıtlar üzerinde yapılan inceleme sonucunda, bu durumda mürettebat tarafından yapılması gereken doğru davranışın uçağın uçuş kitabında (AFM-Aircraft Flight Manual) öngörüldüğü şekilde, hızlı referans

uçuş el kitabına QRH (Quick Reference Handbook) başvurmak olduğu anlaşılmıştır. Söz konusu QRH kitabı uyarınca uçağın komutasını elinde tutan pilot (kaptan pilot), işari hava hızını (IAS) uçağın uçuş kitabında öngörüldüğü şekilde doğrulamalı ve güvenilir hava verileri bilgisayarını (ADC-Air Data Computer) belirlemeli ve güvenilir olan hava verileri kaynağını seçmeliydi. Hava hızı aşımı uyarısı çalmaya başladığı zaman ilgili pilotun aktif olan ses uyarı düğmesini (audio warning) sessiz konumuna alması ve uyarıyı göz ardı etmesi gerektiği AFM kitabı tarafından öngörülmekteydi. Ancak mürettebatın QRH el kitabı uyarınca uyarı düğmesini kapatmadığı anlaşılmıştır. Buna ilaveten iş yükünün azalmasını sağlamak için mürettebat, uçuş yöneticisi/otopilotu (FD/Autopilot), yunuslama (PTCH), irtifa (ALT), baş yönü (HDG), yalpa (ROLL) modlarında kullanmalıydılar. Uçağın uçuşu esnasında mürettebatın ilk eylemi, güvenilmez hava hızı arızasını bulup ortaya çıkartmak olmalı ve ardından uçuş aletleri ve yedek uçuş aletlerini birbirleriyle çapraz kontrolden (CROSS CHECKING) geçirmeye odaklanmak ve hava hızı verisi (AIR DATA) kaynağı seçici düğmesini güvenilir cihazın konumuna set etmek olmalıydı. Ancak bu eylem kaptan pilot tarafından icra edilmemiş olup, pilotun doğrudan hız aşımı uyarısına dayalı olarak işari hava hızını azaltmak için motor gaz kolunu azaltmış olduğu kayıtlardan belirlenmiştir. Bu durumun yanı sıra mürettebatın güvenilmez hava hızının ortaya çıkması halinde başvurması gereken acil hal prosedürü üzerinde yoğunlaşmadığı CVR cihazı kayıtlarından anlaşılmıştır. Bu prosedür yerine kaptan pilot hız aşımı sesli uyarıcısını duymaktayken sol taraftaki birincil uçuş ekranına güvenmeyi tercih etmiştir. Böylece gerçek hava hızı *stall* durumuna kadar düşmüştür. Yardımcı pilotun, "EFIS COMP MON" uyarı mesajına ilişkin anormal durum prosedürünü üç kez okumaya başladığı ancak her seferinde kaptanın okumasını yarıda kesmesi nedeniyle tamamlayamadığı belirlenmiştir. Hava hızının azalmaya başlamasından biraz sonra, lövye titreştiricisine ilave olarak işitsel *stall* uyarısının ötmeye başladığı ve lövye iticisinin tekrar tekrar aktive olduğu anlaşılmıştır. Mürettebatın güvenilmez hava hızı durumunu teşhis etmeyi ve buna reaksiyon vermeyi beceremmemesi uçağın aerodinamik *stall*'a girmesi ile sonuçlanmıştır. Müteakiben mürettebatın söz konusu *stall* durumundan uçağı çıkartabilmesi için bir diğer acil durum prosedürüne başvurması gerekmekteydi. Uçak 37,000 feet irtifadan aşağıya doğru inişe geçtiği sırada motor takatı ve gerçek hava hızı *stall* hızına azalmış olduğu halde, hız aşımı sesli uyarıcısı göstergeler sistemindeki arızadan dolayı aktive olmuştur. Kaptan pilot hiçbir zaman *stall*'dan kurtulma prosedürüne başvurmamıştır. Çünkü pilot mahallindeki "sesli hız aşımı (MMO-Mach Maximum Operating)" uyarısının yarattığı durum, hızın aşırı yüksek olduğu yanılgısına kapılmasına sebep olmuştur. Lövye itici, uçağı *stall* durumuna düşmekten korumak için sürekli olarak

burun aşağı yapacak şekilde hareket etmiş, ancak kaptanın buna tepkisi lövyeyi tam ters yöne çekmek şeklinde olmuştur. Bu zaman zarfında, uçak bir dizi yunuslama ve yalpalama titreşimleri etkisi altına girmiştir. Mürettebatın otopilotu *stall* uyarısı çalmasından önce devre dışına çıkarmasının kontrol yüzeylerinin titreşimine son verdiği bilgisi, FDR cihazı kayıtlarından anlaşılmıştır. 14:35:36 UTC zamanında, uçağın hızının Tahran ACC bölgesinde bulunan radar ekranında 288 knot'a düşmüş olduğu görüntülenmiş olup, bu husus Resim 4.4'de verilmiştir.



Resim 4.4. 14:35:36 UTC zamanında uçağın ACC radarındaki durumu

Her iki taraftaki motor takatları azalmaya başlayarak *stall* durumuna erişildiğinde, her iki motorda tamamen susmuş ve bu andan itibaren FDR cihazının veri kaydı sona ermiştir. FDR cihazının kayıt işlemi sona ermeden önce kaydedilen veriler, uçağın *stall*'dan korunma sistemlerinin aktive olmasının ardından, 50 adet kadar hızlı yunuslama dalgalanmasına maruz kaldığını göstermiş olup, bu dalgalanmalar kaptan pilotun lövye itici sistemine karşı fiilen mücadele etmesinden doğmuştur. Mevcut FDR verileri, motor performans parametrelerinin her iki motorda susana dek giderek bozulduğunu ve en sonunda kesildiğini göstermektedir. Muhtemelen hızlı ve tekrarlı yunuslama titreşimlerinin sebebiyet verdiği bozuntuya uğratılmış hava akışının nihai olarak motorlarda dahili hasara sebebiyet vermiş olabileceği ve bu durumun motorların çalışmaya devam etme kabiliyetini yok etmekle sonuçlanmış olabileceği anlaşılmıştır. Muhtemelen, sonuç olarak motorların kötü şekilde

hasarlanmış olabileceği ve böylece motorların susmasından sonra onları tekrar çalıştırmanın imkansız hale gelmiş olabileceği değerlendirilmiştir. Motorların susmasından sonra CVR cihazı kaydı acil durum elektrik *bus*'ı üzerinden uçağın bataryalarındaki elektrik gücünü kullanarak 1 dk. 20 sn. boyunca devam etmiştir. *Stall* uyarısı lövye iticisi ve lövye titreştiricisi aktivasyonları kaydın sonuna kadar devam etmiştir. Uçak daha sonra Şehri Kürt yakınlarındaki dağlık araziye, 7500 feet irtifada ilk önce burundan çarpmıştır. İran üzerinde uçuş güzergahı boyunca ılımlıdan şiddetli türbülansa dengesiz hava koşullarının ve 45 000 ft'e kadar buzlanma koşullarının mevcut olduğu belirlenmiştir. Hava üflemesiyle çalışan jeneratör (ADG-Air Driven Generator) elektrik gücü üretmek için düzgün olarak çalışamazsa ve uçak yalnızca batarya gücüne muhtaç olursa, elektrik gücünün 30 dk. sürmesi gerekmekteydi. Dolayısıyla uçağın batarya performansı veya ilgili sistemlerinin üretici standartlarında öngörüldüğü gibi olmadığı anlaşılmıştır. Uçağın düşüşü sırasında, her iki motoru da 31,000 feet irtifanın biraz üstünde durmuştur. Uçağın teknik karakteristikleri, spesifik bir dik iniş esnasında veya kritik türbülans şartları altında, tasarım kriterlerinin dışında kalan bir bölgede ortaya çıkabilecek şekilde, her iki motorunda herhangi bir uçuş irtifasında susabileceğini göstermektedir. Uçuş esnasında susan motorların yeniden çalıştırılmasına ilişkin revize edilmiş prosedürler, uçağın AFM kitabında bulunmamakla birlikte, motorların durumuna ilişkin bulgulardan anlaşılabileceği üzere motorların susması esnasında maruz kaldıkları hasardan dolayı tekrardan çalıştırılmalarının zaten mümkün olamayabileceği anlaşılmıştır. Hava hızı göstergelerindeki istikrarsızlıklar, uçuşlarda rastlanan bilinen bir sorun olup, bu duruma karşı uçak üreticileri özel operasyonel ve bakımsal önlemler üzerinde sürekli çalışa gelmişlerdir. Buna ilişkin devam eden araştırmalar, hava hızındaki belirsizliklerin veya istikrarsız işarların aşağıdaki faktörler tarafından yaratılabileceğini göstermektedir. Bu faktörler:

a. Pitot tüpü: Tüpün toz/kir, sıvı, böcek, kuş, buz, su gibi yabancı maddeler tarafından bloke edilmesi, uçak ısıtıcı sisteminin arızalanması veya yetersiz kalması, tüpün tahliye deliklerinin bloke olması,
b. İlgili bilgisayar tarafından hava verisi hatası yapılması: Dijital elektronik kalibrasyon hatası, algılayıcı cihaz hatası, yıldırım çarpmasının neden olduğu bozuntular,
c. Toplam basınç hattı: Hasarlanmış tahliye valfi ve tüpleri, hasarlı hızlı bağlantı kesici veya bağlantı kesilmesi,

d. Hava verilerinin alındığı tüplerin çevresindeki uçak kaportasındaki hasarlar: Tüplerin etrafındaki hava akışının modifiye edilmesinin statik veya toplam basınç ölçümlerini etkilemesi,
e. Tüpün ısıtma cihazının arızası,
f. Hücum açısı ölçen cihazın arızası
olarak sıralanabilir.

Bu kazanın senaryosunun ana hatlarını seyir uçuşu esnasında birincil uçuş ekranının (PFD-Primary Flight Display) üzerindeki istikrarsız hava hızı işarlarının yarattığı olumsuz olgular dizisi oluşturmaktadır. Buradaki sorun, sol taraftaki pito statik sisteminin basınç borusundaki tıkanmaya (blockage) atfedilebilir. Uçağın belirli bir süre (üç gün) tozlu ortamda (çöl) park ettiği bilinmektedir. Bu bilgiye ilave olarak, uçağın, pito tüpleri üzerinde muhtemel etkiye sahip olan, ağır buzlanma koşulları altındaki bir bölgeden geçmekte olduğu da anlaşılmaktadır. Çünkü kazanın ortaya çıktığı mevkinin genel olarak istikrarsız hava şartlarına sahip bir bölge olduğu bilinmektedir. CL-600-2C10 model uçakları üzerinde, mürettebata sağlanan bütün hava veri sistemleri kayıpları bilgisine ilişkin belirli sayıda hizmet içi vakalar rapor edilegelmiştir. Uçağın düşük irtifalara doğru alçalması esnasında hava veri sisteminin ürettiği bilgiler (kazadan sonra) elde edilmiştir. Transport Canada kurumu AD CF-2017-01 sayılı uçuşa elverişlilik talimatını (AD-Airworthiness Directive) neşretmiş ve kazaya uğrayan uçak tipine mahsus olan AFM kitabına gerekli operasyonel prosedürleri derc etmiştir. Uçağın üreticisi programlı bakım eylemlerinin listesini operatörlere sağlamak üzere rehberlik hedeflerini ayrıntılandırmamıştır. Bunun yapılması hava hızı belirsizliklerinin vukunu en az düzeye indirgeyecektir. Uçağın üreticisi aynı zamanda bu gibi hava hızı belirsizlikleri vuku bulduğunda uçak üzerinde yapılması gereken eylemleri de ayrıntılandırmamıştır [18].

4.2. FDR Cihazı ve CVR Cihazı ile Donatılmamış Bir Uçak Kazasına Ait Örnek Vaka Analizi

Küçük jet motorlu bir uçak olan bir T-37C askeri eğitim uçağı, 2011 yılında Akdeniz'deki büyük bir kentin sahil şeridi civarında eğitim uçuşu yaparken denize düşmüş ve her iki pilot da hayatını kaybetmiştir. Bu uçakla ilgili olan hava kuvvetleri kendi web sitesinden yaptığı açıklamada, bir T-37C askeri jet eğitim uçağının Akdeniz'deki bu liman kenti yakınındaki hava üssünden kalktıktan sonra, eğitim uçuşunu gerçekleştirirken kentin civarındaki küçük

bir sahil kasabası yakınlarında denize düştüğünü belirtmiştir. Söz konusu liman kentinin valisi, yaptığı açıklamada uçağın denize düşmüş olduğunu ve arama kurtarma ekiplerinin kaza bölgesine ulaştığını, pilotların cesetlerinin bulunduğunu ve uçağın enkazıyla birlikte çıkarıldıklarını ifade etmiştir. Söz konusu T-37C "tweeter" uçaklarının ilk prototip uçuşunu 1955 yılında gerçekleştirdiği, uçak konfigürasyonunun çevik manevralara elverişli olduğu ve uçuş komutlarına anında tepki verebilen hassas kumandalara sahip olduğu için dünya çapında yaygın olarak tercih edilmiş bir eğitim uçağı olduğu bilinmektedir. Bu uçak "tweeter" takma adını küçük jet motorunun hava alıklarına hava girişinin oluşturduğu yüksek ve tiz sesin kuş çığlığı sesine benzemesinden almış olup, uçağın üreticisi seri üretime 1975 yılında son vermiştir [19]. Bu kazanın ilk kaza incelemesini yapan askeri kurul; askeri bir kaza araştırma mühendisi, uçuş emniyeti denetiminden sorumlu olan deneyimli bir pilot ve uçuş emniyeti ile pist emniyetinden sorumlu olan başka bir deneyimli pilottan oluşmuştur [20].

4.3. İki Ayrı Kazanın Bulguları, Sonuçları, Karşılaştırılması ve Tartışılması

Bu bölümde, örnek vaka analizi olarak iki farklı uçak kazası ele alınmıştır. Bu iki ayrı uçak kazası için toplam olarak beş ayrı kaza analizi yapılmış ve bu iki ayrı kaza için bağımsız kaza inceleme uzmanları tarafından hazırlanmış beş ayrı analiz raporu ortaya konmuştur. Bu şekilde birisi sivil bir uçak kazasına ilişkin olan, diğer dördü ise askeri bir uçak kazasına ilişkin olan beş adet kaza analizinin sonuçları aşağıda karşılaştırılmış ve tartışılmıştır.

4.3.1. FDR cihazı ve CVR cihazı ile donatılmış sivil uçak kazasının ana bulguları

a. Pilotların lisanslı, tıbbi olarak uygun ve uçuş için kalifiye oldukları tespit edilmiştir.
b. Her iki pilotunda onaylanmış bir eğitim organizasyonunda anormal ve acil durum prosedürleri konusunda eğitildiği ve tekrarlanan eğitimden geçtiği tespit edilmiştir. Bununla beraber kazanın delillerinden eğitimin hava hızı işarını anlamak için yetersiz olduğu ve güvenilemez hava hızı hususunun yeterince anlaşılmadığı ve yeterli eğitimin verilmediği görülmüştür. Dolayısıyla her iki pilotunda güvenilebilir hava hızı işarını tespit edemedikleri anlaşılmıştır.
c. Uçağın geçerli bir "uçuşa elverişlilik belgesi"nin bulunduğu ve Şarjah havaalanından kalkışından önce "hizmet edebilir (emniyetle uçabilir)" olarak kaydedilmiş olduğunu

ancak kazanın delillerinden, sol taraf pito tüpünün ve uçak bataryasının iyi durumda olmadığı belirlenmiştir.

d. Mürettebat, uçağın daha önceki İstanbul Şarjah arası uçuşuna ilişkin olarak ve 14:34:37 UTC zamanından önceki, uçağın pistte taksi, pistten kalkış, tırmanış, seyir uçuşu manevraları esnasında herhangi bir anormalliği rapor etmedikleri anlaşılmıştır.

e. Uçağın, sol taraftaki pito statik sisteminin basınç hattı üzerindeki blokaja atfedilen hava hızı işarındaki arızaya maruz kaldığı belirlenmiştir.

f. Uçağın mürettebatının ne güvenilemez hava hızından kaynaklanan ve ne de *stall* durumundan kurtulma için gerekli olan acil durum prosedürlerini icra edemedikleri tespit edilmiştir.

g. Kaptan pilotun uygunsuz tepkisi, onun "hava hızı aşımı uyarısı" durumunu halletmek için motor takatını azaltarak hava hızını düşürmesiyle sonuçlanmıştır. Bu uygunsuz tepki, uçağın *stall* durumuna yaklaşmasına yol açtığı için, uçağın "Stall'dan Korunma Sistemi" (SPS-Stall Protection System) aktive olmuş ve uçağın burnu aşağıya doğru çevrilmiştir. Ancak, kaptanın bu duruma reaksiyonu, pilot lövyesini tekrar ve tekrar uçağın burnunu yukarıya (pull-up) dönecek şekilde kendine doğru çekmesi şeklinde olmuştur. Bu mükerrer hatalı reaksiyon, en sonunda, uçağın her iki motorunun da susmasına yol açmış olup, kaptanın bu reaksiyonu uçağın *stall* durumuna girmesiyle sonuçlanmıştır.

h. Kazanın incelemesine ilişkin nihai raporda, uçak arızaları esnasında mürettebatın icra etmesi gereken koordinasyonun, Mürettebat Kaynak Yönetimi (CRM-Crew Resources Management) eğitimine yeteri derecede dayalı olmadığı ortaya çıkmıştır.

ı. Uçağın her iki motoru da, uçak yaklaşık olarak 31,000 feet irtifa civarına indiği sırada susmuş olup, motorların durumunun, tekrar çalıştırılması için uygun olmadığı anlaşılmıştır. Mürettebatın çift motor arızasına ilişkin çeklistin gereğini icra etmediği belirlenmiştir.

i. Uçak gövdesinin uçak *stall* durumuna girmeden önce yapısal bütünlüğe sahip olduğu belirlenmiş olmakla birlikte, yapısal bütünlüğünün uçağın düşüşü esnasında ve dağlık araziye çarpması esnasında muhafaza edilip edilmediği tespit edilememiştir.

j. Bu kaza incelemesi sırasında, kaza mahallinin, kaptan pilotun naşı bulunacak kadar geniş tutulmadığı belirlenmiştir. Kaptan pilotun naşı bulunamamıştır.

k. Uçak üreticisi, hava hızı işarı arızasını ve elektrik sistemi arızasını, kaza incelemesine bilgi sağlayacak şekilde analiz etmemiştir (Üreticinin, uçağın bu bileşenleri üzerinde analiz yapmayı bilinçli olarak reddettiği anlaşılmıştır) [18].

FDR cihazı ve CVR cihazı ile donatılmış uçak kazasının ana sebebi ve katkı faktörleri

Söz konusu hava kazasına, mürettebatın hatalı hava hızı işarları arızasının yönetimi için önceden gerekli operasyonel formasyona yeterince sahip olmaması sebep olmuştur. Birinci katkı faktörü; uçak tasarımcısı/üreticisi şirketin, aynı uçak tipinde daha önce ortaya çıkmış olan hava hızı arızalarına ilişkin yetersiz teknik ve operasyonel rehberlik malzemesi sağlamış olmasıdır. İkinci katkı faktörü de uçak operatörü şirketin, CRM ilkesi ile ilgili standartlaşmış bilgileri ve eğitimi mürettebata önceden yeterince vermemiş olmasıdır [18].

4.3.2. FDR cihazı ve CVR cihazı ile donatılmamış uçak kazasının incelenmesi

Kazaya uğrayan uçak FDR ve CVR cihazlarına sahip olmadığından bu uçağın kaza incelemeleri, kazanın gerçekleştiği 2011 yılından başlayarak sekiz yıl boyunca dört farklı uzman kurul tarafından tekrar tekrar yapılmıştır.

Birinci uzmanlar kurulunun yürüttüğü kaza incelemesinin ana bulguları

Birinci uzmanlar kurulu, uçak enkazının laboratuvar ortamında incelenmesi de dahil olmak üzere kaza inceleme faaliyetlerini 2012 yılı içerisinde tamamlamıştır. Kazaya uğrayan uçağın kaza mahallinden çekilmiş kokpit enkazı fotoğrafı Resim 4.5.'de verilmiştir [20].



Resim 4.5. Kaza sonrası T-37C eğitim uçağının kokpit görüntüsü

T-37C jet eğitim uçağı FDR ve CVR cihazları ile donatılmamış olduğundan, kazanın teknik nedenleri uçağın radar ekranından kaybolduğu nokta ile denize düştüğü nokta arasındaki nihai uçuş yörüngesi uçak bileşenlerinin ve sistemlerinin laboratuvarlardaki teknik

incelemesinden direkt olarak tespit edilememiştir. Uçağı kumanda eden pilotların kazanın oluşuna ilişkin açıklamaları, kaza sırasında hayatlarını kaybettikleri için elde edilememiştir. Bundan dolayı bu kaza incelemesinde kazanın kesin sebebini bulmak gayet karmaşık bir hal almıştır. Bu sebeple, söz konusu kazanın birinci uzmanlar kurulu tarafından incelenmesi neticesinde kazanın altında yatan kilit nedensel faktör kesin bir doğrulukla belirlenememiştir. Birinci kurulun incelemesi esnasında yalnızca Radar Yaklaşma Kontrolü (RAPCON) merkezinin kayıtları, askeri hava trafik radarının/kulesinin gözetleme ve iletişim kayıtları, ayrıca kazayı doğrudan izleyen görgü tanıklarının ifadeleri ve kaza mahallinden toplanan uçak enkaz parçaları gibi diğer kanıtlar, kaza incelemesinin yürütülmesinde kullanılmıştır. Sonuç olarak, kazanın ana sebebi birinci kurul tarafından aşağıdaki gibi müphem bir üslupla rapor edilmiştir.

Bu rapora göre; kazaya uğrayan T37C jet eğitim uçağının pilotları, diğer T37C eğitim uçağıyla birlikte kol uçuşu yaparken kol uçuşunun son aşamasında, üsse geri dönmekte olan diğer T37C eğitim uçağından görsel uçuş kuralları (VFR-Visual Flight Rules) altında ayrılma manevrası icra etmişlerdir. Pilotlar bu ayrılma manevrasını gerçekleştirdikten kısa bir süre sonra tanımlanamayan bir uçuş kumandası problemi nedeniyle uçuş kontrolünü kaybetmişler ve uçağın denize düşmesine engel olamamışlardır.

2012 yılında birinci uzmanlar kurulu tarafından yapılan kaza incelemesinin nihai raporunda, aşağıdaki bulgular ortaya konmuştur:

a. Kazaya uğrayan uçakta bulunan öğretmen ve öğrenci pilotun, kaza anından önce pilot koltuklarından uçak dışına fırlatılma işlemini yapmadıkları anlaşılmıştır.
b. Kanatçıklar, elevatörler, dikey dümenler gibi uçağın tüm uçuş kontrol yüzeylerinin kaza esnasında sağlam, işlevsel ve bütünleşik oldukları ve uçağın deniz yüzeyine çarpma anında yapısal bütünlüklerini korumakta oldukları tespit edilmiştir.
c. Uçağın denize çarpma anında hızının 150 knot'tan fazla olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca uçağın 1500 feet irtifada uçuş halinde iken *stall*'a girme hızının 74 knot'tan biraz fazla olduğu anlaşılmıştır.
d. Çarpma anında, uçak burun alt kısmının ve uçağın sol kanadının ilk önce deniz yüzeyine çarptığı tespit edilmiştir.

e. Denize çarpma anında uçağın hidrolik flaplarının ve hız frenlerinin açık konumda bulunduğu ve iniş takımlarının bu esnada uçağın içerisine alınmış konumda olduğu tespit edilmiştir.
f. Denize çarpma anında uçak hidrolik sistemi üzerinde yüklü basınç bulunduğu ve elektrik güç kaynaklarından ede edilen elektriğin kullanılabilir olduğu belirlenmiştir.
g. Çarpma anında uçağın yakıt sisteminde yakıt akışının işlevsel olduğu ve yakıt ağırlık denge sorunu olmadığı tespit edilmiştir.
h. Çarpma anında sağ motordaki güç seviyesinin rölanti durumunda olduğu tespit edilmiştir.
ı. Çarpma anında, sol motorun ekseni boyunca dönü hareketi olduğu anlaşılmış olmasına rağmen, motorun o anki devir/dk. sayısı tespit edilememiştir [20].

İkinci uzmanlar kurulunun yürüttüğü kaza incelemesinin ana bulguları

Birinci uzmanlar kurulunun kaza incelemesinde yukarıda sıralanan dokuz adet bulgu tespit edilmekle birlikte, uçağın düşüş sebebini açıklayan net bir sonuç elde edilmemiştir. Bunun yerine kurulun kaza sebebine ilişkin ortaya koyabildiği tek sonuç, eğitim uçağının tanımlanamayan bir uçuş kumanda sorunundan dolayı kazaya uğradığı şeklinde olmuştur. Ancak kazaya sebebiyet veren ana nedenin net olarak tespit edilemediğini gören ilgili askeri makam, kaza incelemesinin tekrarlanması görevini ikinci bir askeri uzmanlar kuruluna vermiştir. Bu ikinci kurul bir bakım mühendisi ile kazazede pilotlardan daha fazla uçuş saatine sahip iki deneyimli hava kuvvetleri pilotundan oluşmuştur. İkinci uzmanlar kurulu, yaptığı incelemelerden sonra 2014 yılında hazırladığı kaza incelemesi nihai raporunda aşağıdaki bulguları ortaya koymuştur.

a. Kaza günündeki ve saatindeki meteorolojik koşullar; uçuş tavanının azami irtifada olduğu ve dışarısının görünürlüğünün tam (CAVOK-Ceiling and Visibility OK) olduğu bildirilmiş olup, kaza bölgesinde olumsuz hava şartlarının bulunmadığı anlaşılmıştır.
b. Pilotların eğitim kayıtlarında geçmişte yapılmış herhangi bir uyumsuzluk veya kusurlu eylemin bulunmadığı anlaşılmıştır.
c. Kazaya uğrayan uçağın bakım kayıtlarında uçağa uygulanmış bakım faaliyetleriyle ilgili herhangi bir uyumsuzluk ve kusurlu işlem bulunmamıştır.
d. Radar yaklaşma kontrolü (RAPCON-Radar Approach Control) ve askeri hava trafik kontrol kulesi haberleşmelerinin kayıtları ikinci kurul tarafından tekrar gözden geçirilmiş olup, herhangi bir personel suç unsuru ve hava trafik kontrolü ihmali bulunmamıştır.

e. Diğer eğitim uçağıyla yapılan kol uçuşunun son aşamasında, kol uçuşundan VFR kuralları altında ayrılma manevrası gerçekleştirirken karşılaşılan bilinmeyen bir teknik sorun uçağın denize düşmesine sebebiyet vermiştir.
f. T37C jet eğitim uçağında FDR ve CVR cihazlarının bulunmaması nedeniyle kazanın kesin sebebinin tespit edilemediği değerlendirilmiştir.

Böylece ikinci uzmanlar kurulu da kazanın bulgularını ortaya koymuş ancak kaza sebebini işaret eden kesin bir sonuç bulamamıştır.

Üçüncü uzmanlar kurulunun yürüttüğü kaza incelemesinin ana bulguları

İkinci uzmanlar kurulunun kaza incelemesi, söz konusu kazaya sebebiyet verdiği ileri sürülen uçuş kumanda sorununu belirleyen bir bulgu ortaya koymadığından, kazanın incelenmesinden sorumlu olan askeri makam, kaza inceleme dosyasını yeniden incelenmek üzere, bünyesinde sivil havacılık ihtisası çerçevesinde eğitim faaliyetleri yürüten bir üniversitenin sivil havacılık yüksekokulunda, kadrolu üyelerden oluşan üçüncü uzmanlar kuruluna devretmiştir. Kurul, söz konusu yüksekokulda yer alan uçuş okulunun öğretmen pilotu, uçak gövdesi ve motor bölümünde görevli bir Dr. Öğretim üyesi ile havacılık elektrik ve elektronik bölümünde görevli bir araştırma görevlisinden oluşmaktaydı. Üçüncü kurul kaza incelemesine ilişkin olarak 2016 yılında hazırladığı nihai raporunda, birinci ve ikinci kurulların raporlarında mevcut olan benzer bulguları ortaya koymuş olup, kazanın nedenine ilişkin kesin bir sonuç belirtmemiştir. Üçüncü kurulun kaza incelemesine yaptığı katkı, kazada hayatını kaybeden her iki pilotun, kaza anından önce ve kaza esnasındaki bilinçlerinin yerinde olduğu bulgusu ve kazadan önce ve kaza esnasındaki anlarda, hava trafik kulesiyle muhakemesi yerinde, anlaşılabilen ve yetkin muhavereler sürdürdüklerine ilişkin bulguyu, kule kayıtlarından ve otopsi raporlarından çıkartarak, ortaya koymak şeklinde olmuştur. Üçüncü kurulun bulgularında, her iki pilotun da müteyakkız, sakin bir ruh halinde ve çevrelerinde cereyan eden gerçeklerin bilincinde oldukları ifade edilmiştir. Buna rağmen, üçüncü kurulun raporunda da kazanın asıl sebebi tanımlanmamış bir şekilde kalmış olup, kesin bir sonuç ortaya konmamıştır [20].

Dördüncü uzmanlar kurulunun yürüttüğü kaza incelemesinin ana bulguları ve vardığı sonuç

Söz konusu kazanın asli sebebinin üçüncü kurulun raporunda da tanımlanmamış olarak kalmasının ardından, ilgili ülkede genel konjonktürün de değişmesinden dolayı, kaza incelemesi askeri makamlardan sivil makamlara devredilmiştir. İlgili sivil makamda, kaza incelemesini o ülkedeki Ulaştırma Emniyeti İnceleme Merkezi tarafından atanan dördüncü bir kurula devretmiştir. Kurul bu kez, özel bir üniversitenin havacılık elektrik ve elektronik bölümü başkanı olan bir Dr. öğretim üyesinden, bir devlet üniversitesinde görev yapan uçak yüksek mühendisi bir doçentten ve sivil havacılık ihtisasına sahip başka bir üniversitede görev yapan bir araştırma görevlisinden oluşturulmuştur. Dördüncü kurul yaptığı inceleme sonucunda kendisinden önceki üç kurulun bulgularını tekrar ortaya koymuş ve onaylamıştır. Ancak bu kurul, kazanın sebebi hakkında yeni bir tespitte daha bulunmuştur. Kurul, kaza sahasından elde edilen bazı özel kanıtların, hala kayıt altında bulunduğunu fark etmiş olup, bu kanıtlardan birisinin, öğretmen pilotun eğitim uçuşu esnasında yapılması planlanan "Kulkar Görev Profili" başlıklı eğitim uçuşu programının bir kopyasının olduğuna ve bu kopyanın denizdeki uçak enkazından çıkartılmış ve kayıt altına alınmış olduğuna dikkat etmiştir. Kurul, daha önce gözden kaçmış olan bu yeni kanıttaki onuncu ve sonuncu madde olan "debrifing" maddesinden önceki dokuzuncu maddenin, eğitim uçuşunun sonunda *spin* manevrasını gerçekleştirme planıyla ilgili olduğunu fark etmiştir. Kaza incelemesi kayıtlarındaki radar gözetim verilerinden tespit edildiği üzere, söz konusu manevra icra edilirken, uçağın hızının yaklaşık olarak 130 knot'a kadar düştüğü ve irtifasının da eğitim görevinin son aşamasında 1500 feet'e indiği anlaşılmıştır. T-37C eğitim uçaklarının ikili kol uçuşunu gösteren bir fotoğraf Resim 4.6' da verilmiştir.



Resim 4.6. T-37C eğitim uçaklarının ikili kol uçuşunun görünümü

Kurul, incelemesi esnasında, söz konusu pilotların ikili kol uçuşundan ayrılıp ana üsse dönmeden önce VFR kuralları altında uçuşa geçtikten sonra ilave bir dönüş manevrasına başlamış olmalarının muhtemel olduğunu değerlendirmiştir. Kurul, bu dönüş manevrasıyla bağıntılı olarak, öğretmen pilotun öğrenci pilottan uçağı *spin* manevrası şartlarına getirmesini ve ardından uçağı *spin* durumundan çıkartmak için gereken manevrayı *spin recovery maneuver* yapmasını istemiş olabileceği hususunu göz önüne almıştır. Daha sonra uçak *spin* manevrası şartlarına girmişken, mürettebatın daha önceden fark etmemiş olabileceği varsayılan uçağın girdiği düşük tutunma hızı (*stall* hızı) sebebiyle beklenmedik *stall* durumuna girmiş olabileceği ve o esnada sahip olduğu 1500 feet'lik alçak irtifa nedeniyle uçağın *stall* durumundan kurtarılmasının mümkün olamamış olabileceği yine bu kurul tarafından değerlendirilmiştir. Bu şekildeki bir değerlendirme, kaza incelemesi yapan dördüncü kurulun 2018 yılında yaptığı kaza incelemesinde ortaya koyduğu, kazanın muhtemel nedenine yönelik orijinal katkısı olarak tasnif edilebilir [20].

4.3.3. Sonuçlar

Bu iki ayrı uçak kazasının incelemesi, uçak kazalarındaki insan faktörlerinin etkisini ve bu faktörlerin kazaların ortaya çıkışına nasıl katkıda bulunduğunu göstermektedir. İlk örnek vakadaki hava kazasına mürettebatın hatalı hava hızı işarları arızasının yönetimi için önceden gerekli operasyonel formasyona yeterince sahip olmaması, sebep olmuştur. Birinci katkı faktörü; uçak tasarımcısı/üreticisi şirketin, aynı uçak tipinde daha önce ortaya çıkmış olan hava hızı arızalarına ilişkin yetersiz teknik ve operasyonel rehberlik malzemesi sağlamış olmasıdır. İkinci katkı faktörü de uçak operatörü şirketin, CRM ilkesi ile ilgili standartlaşmış bilgileri ve eğitimi mürettebata önceden yeterince vermemiş olmasıdır FDR ve CVR cihazlarının varlığı sayesinde, CRM konseptine dayanan mürettebat koordinasyonunun yetersiz olduğu ve yardımcı pilotun, kaptan pilotun uçağı *stall* durumuna düşürmesine ilişkin hatalı eylemine, durumu fark ettiği halde müdahale edip düzeltemediği tespit edilmiştir. Bu kazadan sonra uçak operatörü şirket, çalışan mürettebata yeterli düzeyde CRM eğitimi vermesi gerektiğini fark etmiştir. Buna ilave bir husus ise, bu tip iş jeti uçakları için "uçuş verileri izlenmesi (FDM-Flight Data Monitoring) programı" kullanımının ICAO gereklerine göre zorunlu bulunmayışıdır. Uçak operatörü tarafından kazadan önce uçuş verileri kayıtlarının değerlendirilmesi uygulamasının yapılmadığı ve sadece kazaya uğrayan uçağın kazadan önceki gerekli rutin bakım kontrolünün bir alman bakım merkezi tarafından yapıldığı bilinmektedir [18].

İkinci örnek vakadaki kaza incelemelerinde ise, dört farklı kurulun kaza inceleme çalışmalarından sonra asli kaza sebebinin sadece spekülatif düzeyde ortaya konulması mümkün olmuştur. Bu sebeple, gelecekteki eğitim uçuşlarında T-37C eğitim uçaklarının FDR ve CVR cihazları ile donatılması sağlanmadıkça, olası kazaların gerçek sebeplerini net olarak bulmak ve düzeltmek için kesin etkili tavsiyeler yapılması mümkün olmayacaktır [20]. Bu bağlamda, dünya çapında mevcut askeri kargo uçak tiplerinin çoğunun, uçuş emniyetini daha da artırma amacına hizmet etmek üzere, FDR ve CVR cihazlarıyla donatıldığı burada not edilmelidir [21]. Bu sebeple, bu analizin amacı, dünyada askeri kurumlarda mevcut tüm eğitim uçaklarının, askeri kargo uçaklarına benzer tarzda FDR ve CVR cihazlarıyla donatılmaları gereğine dikkat edilmesini tavsiye etmektir.

4.4. Bloke Olmuş Pitot Tüpleri ve Statik Portları İçeren Beş Uçak Kazasının Analizi

Bu analiz işlemi, bloke olmuş pitot tüplerini veya statik portları içeren beş kazayı çözümlemek üzere *uçuşta kontrol kaybını* içeren belirli kazalar kümesinden seçilerek derlenen beş örnek üzerinde yapılmıştır. Çizelge 4.1 bu analiz işlemi için özel derlenen ve bloke olmuş pitot tüplerini veya statik portlarını içeren kazaların listesini vermektedir.

Çizelge 4.1. Bloke olmuş pitot tüplerini ve statik portları içeren uçuşta kontrol kaybı kazaları ile ilgili örnekler [22]

Sıra no	Tarih	Yer	Hava Yolu	Uçuş No	Hava Aracı	Uçuş Safhası	Can kaybı sayısı
1	6.02.1996	Dominik Cumhuriyeti	Birgen Hava Yolları	301	B-757-225	Seyir	189
2	2.10.1996	Peru	AeroPeru	603	B-757	Tırmanma	70
3	10.10.1997	Uruguay	Austral Lineas Aereas	2553	DC-9	Seyir	74
4	7.04.1999	Ceyhan, Turkiye	THY Türk Hava Yolları	5904	B-737	Seyir	6
5	1.06.2009	Atlantik Okyanusu (Sao Paulo Takımadaları yakını)	Air France	447	A-330	Seyir	228

Bu gibi kazaların daha ileri analizleri, öncül olaylar dizisini ve her bir kazanın bunlara ilişkin en kötü durum kombinasyonlarını belirleyerek icra edilir. Çizelge 4.1.'de verilen bloke olmuş pitot tüpü veya statik portlar ile ilgili hava aracı kazalarının öncül olaylar dizileri ve açıklamaları aşağıda verilmiştir.

4.4.1. Birgen Hava Yolları B-757-225 kazası öncül olaylar dizisi

a. Tarih/Hava aracı: 6.02.1996 / B-757

b. Uçuş öncesi

(1) Yanlış veya eksik bakım işlemi: Pito tüpleri 3-4 gün açıkta kaldı.

c. Dış ortam:

(1) Zayıf görüş: Olumsuz gece hava koşulları katkıda bulunan bir faktördür.

d. Sistem arızası/işlev bozukluğu

(1) Sensör/Sensör sistem arızası: Pilotun hava hızı göstergesi ASI (Air speed indicator) düzgün çalışmamıştır ve yüksek değerli yanlış ASI değeri göstermiştir.

e. Mürettebat eylemi

(1) Uygun olmayan/yanlış işlem: Kaptan pilot kalkış esnasında göstergedeki 80 knots değerindeki hava hızının yanlış olduğunu ve hava hızı göstergesinin (ASI) düzgün çalışmadığını tespit etmiştir. Kaptan buna rağmen kalkışa devam etmiştir.

f. Sistem arızası / operasyonel hata

(1) Otomatik uçuş sistemi operasyonel hata / yetersizliği: Otopilot/Otomatik gaz kolu 350 knot'lık hatalı hava hızı göstergesine bağlı olarak uçağın burnunu kaldırmış ve hızı azaltmıştır (gerçek hız 220 knot idi).

(2) Pilot mahalli aletlerinin işlev bozukluğu/yetersizliği: Mürettebata dikey dümen oranı ve mach hava hızı tavsiye uyarıları verilirken yardımcı pilotun göstergesindeki hava hızının 200 knot'a düştüğü görülmüştür. Aşırı hız uyarısını *stall*'ın yakında olduğunu gösteren pilot lövye titreştiricisi (stick shaker) aktivasyonu izlemiştir.

g. Mürettebat eylemi

(1) Hız kaybı durumu farkındalığı: Kaptan pilot ile yardımcı pilotun hız göstergelerindeki hızların uyuşmazlığı nedeniyle pilotların kafası karışmıştır. Kaptan pilot aşırı hız uyarısı alırken yardımcı pilot hızın azaldığını gözlemlemiştir. Aşırı hız uyarısını *stall*'ın yakında olduğunu gösteren lövye titreştiricisi aktivasyonu izlemiştir.

h. Hava aracı uçuş durumunun bozulması

(1) *Stall*/mevcut konumunun bozulması: Lövye titreştiricisi aktivasyonu

ı. Mürettebat eylemi

(1) Uygun olmayan/yetersiz düzeltme: Mürettebat, hız ve irtifa kaybettiklerini çok geç fark etmiş ve otopilot bağlantısını geç kesmiş ve tam gücü geç uygulamıştır; mürettebat kurtarma işlemlerini tam olarak yerine getirecek zaman bulamamıştır.

h. Kazadaki can kaybı sayısı: 189

Birgen Hava Yolları B-757-225 kazası hakkında açıklamalar

a. Mürettebat dikkat dağınıklığı/Kaygı/ Yanlış odaklanma: Hayır.

b. Potansiyel insan makine arayüzü sorunu: Evet. Otopilot/otomatik gaz kolu sistemine gelen yanlış ASI girdisi, uçağın burnunu yukarı vermesine ve hava hızının düşmesine neden olmuştur. Bu esnada pilot mahallinde aşırı hız ve lövye titreştiricisi uyarıları gibi çelişkili uyarılar görülmüştür.

c. Araştırma yoluyla sorunu hafifletme potansiyeli: Evet.

(1) Pilot panelindeki sistem arızalarını teşhis etmek ve üstesinden gelmek için, sensör sistemi arızaları ve alternatif uçuş aletleri kullanımı da dahil olmak üzere iyileştirilmiş pilot eğitimi sağlanmalıdır.

(2) Gelişmiş sensör hatası algılama ve tecrit sistemleri sağlanmalıdır.

(3) Sensör bütünlüğü yönetim sistemleri sağlanmalıdır.

(4) Çabuk toparlanan bozuntu kurtarma kılavuzluğu ve/veya otomatik kurtarma sistemi sağlanmalıdır.

(5) Kendini çabuk toparlayan uçuş kontrol sistemi sağlanmalıdır [22].

4.4.2. AeroPeru Hava Yolları B-757 kazası öncül olaylar dizisi

a. Tarih/Hava aracı: 2.10.1996 / B-757

b. Uçuş öncesi

(1) Uygun olmayan bakım eylemi/Uçuş öncesi mürettebat kontrolü: Bakım personeli pito statik portlarından bantı çıkarmayı ihmal etmiştir. Uçuş öncesi inceleme sırasında mürettebat tarafından pito statik portların üzerindeki bant tespit edilememiştir.

c. Dış ortam: Normal

d. Sistem arızası/işlev bozukluğu/işletim hatası

(1) Sensör/Sensör sistem arızası: İlk tırmanış sırasında hava hızı ve irtifa gösterge değerlerinin çok düşük kaldığı anlaşılmıştır.

(2) Pilot mahalli aletlerinin işlev bozukluğu/yetersizliği: Kalkıştan beş dakika sonra mürettebat, göstergelerle ilgili sorun yaşadıklarını ve havaalanına dönmek istediklerini belirtmişlerdir. Bu sırada dış ortamda rüzgar sakin olmasına rağmen, pilot mahallinde aniden rüzgar kesmesi (windshear) uyarısı duyulmaya başlanmıştır. Lima'ya dönüş rotasına girilmeden önce uçağın 13, 000 feet'e tırmanması gerekmiştir. Geri dönüş rotasında kaptanın göstergesinde, aynı zamanda hız aşımı uyarılarına da sebebiyet verdiği anlaşılan çok yüksek hava hızı ve irtifa değerlerinin işar edildiği görülmüştür. Bu esnada yardımcı pilotun göstergesindeki hava hızı değerinin çok düşük olduğu ve bu değerin lövye titreştiriciyi tetiklediği anlaşılmıştır.

e. Mürettebat eylemi

(1) Hava aracı/sistem durum farkındalık eksikliği: Hava aracı/sistem durum farkındalığı eksikliği, çelişkili pilot mahalli bildirimleri ve uyarıları mürettebatın kafasını karıştırdığı ve mürettebatın hava aracı/ sistem durumu farkındalığını kaybettiği anlaşılmıştır.

(2) Yetersiz mürettebat kaynak yönetimi (CRM-Crew Resource Management)/ izlenmesi: Kaptan pilot, zeminin yakın olduğunu haber veren sistemin (GPWS-Ground Proximity Warning System) uyarılarının icap ettirdiği işlemlere uymadığı gibi hayali olduğunu anlayacağı verileri eleyebilmesini sağlayacak olan radyo altimetre değerlerini de göz önüne almamıştır. Yardımcı pilotun da kaptan pilotu GPWS uyarılarına ilişkin olarak üzerine basa basa uyarmakta ısrarcı, kendinden emin ve ikna edici olamadığı anlaşılmıştır.

f. Hava aracı uçuş durumunun bozulması

(1) *Stall*/mevcut konumun bozulması: Lövye titreştiricisi tekrar tekrar tetiklenmiş ve sürecin sonunda hava aracı *stall*'a girmiştir.

g. Mürettebat eylemi

(1) Uygun olmayan/yetersiz düzeltme: Yardımcı pilotun, uçağın *stall*'a girmekte olduğunu fark etmesine rağmen kaptan pilotun *stall* uyarılarının sahte olduğunu sandığı anlaşılmıştır. İki pilot da uçağı *stall*'dan kurtaracak manevrayı icra etmemişlerdir. Ağır iş yüküne ve sorunun ciddiyetine ilave olarak, uçağı tekrar kontrol altına alacak yeterli bir çözüme erişememekten dolayı mürettebatın düştüğü çaresizliği gösteren anların bulunduğu tespit edilmiştir.

h. Hava aracı uçuş durumunun bozulması

(1) Kontrolden çıkmış olarak irtifa kaybı: Uçak irtifa kaybı esnasında 260 knot hız ile sol kanat ve 1 numaralı motor tarafından 10 derecelik bir açıyla su yüzeyine çarpmıştır. Uçak bunun ardından 200 feet kadar yukarıya sekmiş ve ters dönmüş olarak tekrar suya

çarpmıştır. Bu esnada kaptanın hız göstergesinin 450 knot'luk bir değeri ve altimetresinin 9500 feet'lik bir irtifa değerini göstermekte olduğu anlaşılmıştır.

ı. Kazadaki can kaybı sayısı: 70

AeroPeru Hava Yolları B-757 kazası hakkında açıklamalar

a. Mürettebat dikkat dağınıklığı/Kaygı/ Yanlış odaklanma: Evet.

(1) Mürettebatın hatalı sensörleri okumaları ve pilot mahalli uyarı sistemlerinden gelen muhtelif uyarılar nedeniyle dikkatlerinin dağılmış olduğu anlaşılmıştır.

b. Potansiyel insan makine arayüzü sorunu: Evet.

(1) Çok sayıda çelişen uyarı ve alarm seslerinin aynı anda duyulmakta olduğu anlaşılmıştır.

c. Araştırma yoluyla sorunu hafifletme potansiyeli: Evet

(1) Sensör arızalarını tespit edebilen, tanımlayabilen ve arızaların şiddetini azaltabilen sensör bütünlüğü yönetim sistemleri (yaygın mod hataları dahil) sağlanmalıdır.

(2) Sistem arızalarının etkisi altındayken, uçuş emniyetini sağlayabilen kendini çabuk toparlayabilen uçuş kontrol sistemi sağlanmalıdır.

(3) Yer yüzeyine çarpmadan otomatik olarak kaçınma sistemi sağlanmalıdır [22].

4.4.3. Austral Lineas Aereas Hava Yolları DC-9 kazası öncül olaylar dizisi

a. Tarih/Hava aracı: 10.10.1997/DC-9

b. Dış ortam

(1) Gök gürültülü fırtına/yağmur: Hava aracı uçuşu esnasında kümülonimbüs bulutlarını içeren -59 °C dış hava sıcaklığında 80 km/h rüzgar hızına sahip ve rüzgar kesmesi koşullarını içeren kötü hava koşullarıyla karşılaşmıştır. Kaza anında yağmur ve şimşekleri içeren sınırlı görüşe izin veren kötü hava koşullarının vaki olduğu anlaşılmıştır.

c. Sistem arızası/arıza

(1) Sensör/sensör sistem arızası: Uçağın alçalması sırasında hız göstergelerinde pito tüplerinin olası buzlanmasına bağlı olarak anormal değerlerin ortaya çıktığı anlaşılmıştır.

d. Mürettebat eylemi

(1) Uygun olmayan/yanlış işlem: Yardımcı pilot slatları çıkarttığı anda uçağın alçalış manevrasının 30, 000 feet irtifasında bulunduğu ortaya çıkmıştır. Bu eylemin müsaade edilenden daha yüksek bir hava hızında yapıldığı anlaşılmıştır.

e. Hava aracı uçuş durumunun bozulması

(1) Uygun olmayan hava aracı konfigürasyonu: Slatların zamanından önce açılması uçağın uygun olmayan bir konfigürasyona girmesine yol açmıştır.

(2) Gövde yapısal hasarı: Slatların yapısal tasarım sınırının aşılması ile yapısal gövde hasarına neden olunduğu anlaşılmıştır.

f. Hava aracı dinamiği/ hava aracı uçuş durumunun bozulması

(1) Anormal Kontrol/Kontrol Asimetrisi: Gövdede yapısal hasar oluşması uçak mimarisinde bir asimetriye yol açmıştır.

(2) Kontrolden çıkmış olarak irtifa kaybı: Pilotların uçağın kontrolünü kaybetmesiyle kontrol dışı bir alçalışa giren uçak, Uruguay Nehri kıyılarındaki bir bataklık alana çakılmıştır.

g. Kazadaki can kaybı sayısı:74

<u>Austral Lineas Aereas Hava Yolları DC-9 kazası hakkında açıklamalar</u>

a. Mürettebat dikkat dağınıklığı/Kaygı/ Yanlış odaklanma: Yeterli bilgi yok. NEI (Not Enough Information)

b. Potansiyel insan makine arayüzü sorunu: Evet.

(1) Durumsal farkındalığın eksikliğinin veya anormal hava hızı değerlerinde uygulanacak hafifletme önlemlerinin eksikliğinin slatların zamanından önce açılması kararına yol açtığı anlaşılmıştır.

c. Araştırma yoluyla sorunu hafifletme potansiyeli: Evet.

(1) Pilot panelindeki sistem arızalarını teşhis etmek ve üstesinden gelmek için, sensör sistemi arızaları ve alternatif uçuş aletleri kullanımı da dahil olmak üzere iyileştirilmiş pilot eğitimi sağlanmalıdır.

(2) Sensör arızalarını tespit edebilen, tanımlayabilen ve arızaların şiddetini azaltabilen sensör bütünlüğü yönetim sistemleri (bloke olmuş pito tüpleri ve yaygın mod hataları dahil) sağlanmalıdır.

(3) Sistem arızalarının etkisi altındayken uçuş emniyetini sağlayabilen ve kendini çabuk toparlayabilen uçuş kontrol sistemi (sensör sistemi arızaları dahil) sağlanmalıdır.

(4) Hava aracı sistemi arızalarının etkisi altındayken teknik kılavuzluk sağlayabilen ve/veya otomatik olarak kendini çabuk toparlayabilen sistem sağlanmalıdır [22].

4.4.4. Türk Hava Yolları B-737 kazası öncül olaylar dizisi

a. Tarih/Hava aracı: 7.04.1999/B-737

b. Uçuş öncesi

(1) Uçuş öncesi kontrol sırasında mürettebatın uygunsuz işlemi: Uçuş hazırlıkları sırasında pito-statik buz önleme sisteminin, kontrol listesindeki eksik ögeler nedeniyle muhtemelen etkinleştirilmemiş olduğu değerlendirilmiştir.

c. Dış ortam

(1) Kar/Buzlanma: Şiddetli hava koşulları muhtemelen kazanın nedenine katkıda bulundu. Not: Ulusal Ulaşım Emniyet Kurulu (NTSB-National Transportation Safety Board) incelemesi, uçağın uçuş esnasında buzlanma koşulları etkisi altına girip çıkmakta olduğunu belirtmiştir.

d. Sistem arızası

(1) Sensör/Sensör sistem arızası: Pito statik buz önleme sistemi muhtemelen devreye girmemiş olduğu ve mürettebatın göstergelerdeki hava hızı değerlerinde görülen dalgalanmanın nedenlerini kavramakta yetersiz kaldığı anlaşılmıştır.

e. Mürettebat eylemi

(1) Anormal kontrol girdileri: Mürettebatın uçağın tekrar kontrol altına alınması ve düzeltme manevrasını sağlamak üzere diğer kokpit göstergelerini kullanmakta başarısız olduğu anlaşılmıştır.

(2) Uçuş durumuna ilişkin farkındalığın kaybı/Yetersizlik: Pilotların hatalı gösterge değerlerini sürekli izlemeleri ve bunlara bağlı kalmaları nedeniyle irtifa ve hava hızının sürekli iniş çıkışlar gösterdiği anlaşılmıştır. Böylece mürettebatın *stall* ile sonuçlanan bir durum farkındalığı kaybına uğradığı anlaşılmış olup bu kaybın tipik bir *stall*'a giriş nedeni oluşturmadığı değerlendirilmektedir.

f. Hava aracının arızalanması

g. Hava aracı dinamiği/ hava aracı uçuş durumunun bozulması

(1) *Stall*/mevcut konumunun bozulması: Buzlanma koşulları altında muhtemel bir erken *stall* durumunun ortaya çıktığı değerlendirilmektedir.

h. Kazadaki can kaybı sayısı: 6

Türk Hava Yolları B-737 kazası hakkında açıklamalar

a. Mürettebat dikkat dağınıklığı/Kaygı/ Yanlış odaklanma: Evet.

(1) Kokpitte kabin ekibinin bulunmasının muhtemelen uçuş mürettebatının dikkatini dağıttığı değerlendirilmiştir.

Not: Kaza hakkında çok az bilgi elde edilebilmiştir.

b. Potansiyel insan makine arayüzü sorunu: Yeterli bilgi yok (NEI).

(1) Buzlanma koşulları altında yeterli sensör bilgisinin bulunmadığı ve sensör sistemi sorunlarına ait bildirimlerin yetersiz kaldığı değerlendirilmiştir.

c. Araştırma yoluyla sorunu hafifletme potansiyeli: Evet.

(1) Alternatif aletlerin kullanımına ait iyileştirilmiş pilot eğitimi sağlanmalıdır.

(2) Geliştirilmiş buz önleme metodolojisi sağlanmalıdır.

(3) Sensör bütünlüğü yönetim sistemi sağlanmalıdır [22].

4.4.5. Air France A-330 kazası öncül olaylar dizisi

a. Tarih/Hava aracı: 1.06.2009/A-330

b. Dış ortam

(1) Zayıf görüş (gece): AF447 uçuşu, yerel saatle (31 Mayıs) 19:29 saatinde Rio de Janeiro'da Galeao Uluslararası Havaalanı'ndan kalkmıştır. Seyir irtifası 35, 000 ft olarak belirlenmiştir.

(2) Gök gürültülü fırtına/yağmur: AF447 yolu üzerine güçlü kümülonimbüs bulut kümeleri çıkmıştır. Bu kümelerden bazılarında şiddetli türbülans bulunduğu anlaşılmıştır.

c. Sistem arızası/işlev bozukluğu/yetersizlik

(1) Sensör/Sensör sistem arızası: Uçuş esnasında pito tüplerinin buz kristalleri tarafından bloke edilmesinin, pilot mahallindeki hava hızı bilgisinin tamamıyla kaybedilmesine neden olduğu anlaşılmıştır.

(2) Otomatik uçuş sistemi işletim hatası/yetersizliği: Türbülans seviyesinin daha da artmasından sonra mürettebatın hava hızını "Mach" 0,8 aralığına düşürmeye karar verdiği belirlenmiştir. 02:10:05 saatinden itibaren otomatik pilot ve ardından otomatik gaz kolu devreden çıkarılmış ve uçuş kontrol modu alfa korumasını içermeyen alternatif kural uyarınca yeniden yapılandırılmıştır. Saat 02.10:16'da uçuş sorumlusu olmayan pilotun (PNF) "o halde biz hızları ve ardından alternatif kuralı kaybettik" dediği belirlenmiştir.

d. Mürettebat eylemi

(1) Anormal kumanda kontrol girdisi: Uçak sağa doğru yatmaya başladığı ve uçuş sorumlusu olan pilotun (PF), sol taraf için burun yukarı kontrol girdisi verdiği anlaşılmıştır. Bu esnada art arda iki kere *stall* uyarısı çalmıştır. Uçağın yunuslama davranışının giderek 10°'nin ötesine arttığı ve uçağın tırmanışa geçtiği belirlenmiştir. Uçuş sorumlusu olan pilot (PF) burun aşağı kontrol girdisi vermiş ve sırayla sol ve sağ yalpa kumanda kontrol girişleri verdiği anlaşılmıştır. Bu uygunsuz kumanda kontrol girdileri uçuş yörüngesini destabilize etmiştir.

e. Hava aracı uçuş durumunun bozulması

(1) Anormal uçuş yörüngesi: Saat 2:10:18 anından saat 2:10:25 anına değin, yunuslama davranışının 11 dereceden 13 dereceye değiştiği, yalpa açısının da sağda 8 dereceden solda 5 dereceye kadar olan aralıkta değiştiği ve dikey hızında 6700 ft/dak değerine arttığı anlaşılmıştır. Trimlenebilir yatay dümenin (THS) yaklaşık -3 derecede sabit kaldığı anlaşılmıştır.

f. Sistem işlev bozukluğu/yetersizlik

(1) Pilot mahalli aletlerinin yetersizliği: 7000 ft/dk'ya ulaşmış olan dikey hızın 700 ft/dk'ya azaldığı ve yalpa açısının sağda 12 dereceden solda 10 dereceye kadar olan aralıkta değiştiği anlaşılmıştır. Sol taraftaki pilotun önündeki göstergedeki hızın 215 knot (Mach 0,68) değerine ulaştığı belirlenmiştir. Bu esnada uçağın 37, 500 feet irtifada ve 4 derece civarında kaydedilmiş bir hücum açısında bulunduğu belirlenmiştir. 02:10:51 anında *stall* uyarısı tekrar tetiklenmiş olduğu tespit edilmiştir. Çeşitli pilot mahalli aletlerinin örneğin, uçuş yöneticileri (FD1 ve FD2), hava hızı göstergeleri (ASI) ve *stall* uyarıcısının, zaman zaman devre dışı kaldığı ve/veya geçersiz değerler verdiği ve bu durumun geri kalan uçuş boyunca da devam ettiği belirlenmiştir.

g. Mürettebat eylemi

(1) Uçuş durumuna ilişkin farkındalığın kaybı: Gaz kolları kalkış/turlama konumuna getirilmiş ve uçuştan sorumlu pilot burun yukarı kontrol girdilerini muhafaza etmeye devam etmiştir. *Stall* uyarısının tetiklenmesi anında hücum açısının 6 derece civarında bulunduğu ve artmaya devam ettiği anlaşılmıştır. Uçak burun yukarı konumundayken trimlenebilir yatay dümenin (THS) bir dakika içerisinde 3 dereceden 13 dereceye arttığı ve uçuşun sonuna kadar bu değerde kaldığı anlaşılmıştır.

h. Hava aracı uçuş durumunun bozulması

(1) *Stall*/mevcut konumunun bozulması: Uçağın yunuslama davranışının 15 dereceyi geçmediği ve motorların N1 devir/dk. değerinin %100'e yakın olduğu, uçağın zaman

zaman 40 dereceye ulaşan yalpalama hareketlerine maruz kaldığı belirlenmiştir. Uçuştan sorumlu pilotun pilot levyesi üzerinde sola doğru bir kontrol girdisi verdiği ve müteakip 30 sn. boyunca uçağın burun yukarı davranışının sona ermiş olduğu tespit edilmiştir. Daha sonra uçağın, varlığı *stall* uyarıları ve düzensiz titreşimle bildirilen sürekli *stall*'a girdiği belirlenmiştir. Bu andan itibaren sonuna değin hücum açısının 38° ve daha üstünde kaldığı anlaşılmıştır.

g. Mürettebat eylemi

(1) Eksik uçak durumu düzeltmesi: 02:13:32 anında uçuştan sorumlu pilotun "seviye 100'e (10, 000 feet kastediliyor) varıyoruz" dediği duyulmuştur. Yaklaşık on beş saniye sonra, her iki pilot tarafından pilot levyesine aynı anda yanal kontrol girdileri verildiği kaydedilmiş ve uçuştan sorumlu pilotun "sen devam et, kontrolleri ele al" dediği kaydedilmiştir [22]. Hücum açısı değerlerinin, geçerli değerler olarak kaydedildiği süreler boyunca daima 35 derecenin üzerinde kaldığı belirlenmiştir. Kayıtların (FDR kutusundaki) 02:14:28 anında sona erdiği anlaşılmıştır. Uçağın en son kaydedilen değerlerinden, dikey hız değerinin eksi 10,912 ft/dk olduğu, eşdeğer yer hızının 107 knot olduğu, 16,2 lik burun yukarı yunuslama davranışı durumuna sahip olduğu, 5,3 derecelik sola yatış açısının olduğu ve uçağın manyetik baş verme yönünün 270 derece olduğu belirlenmiştir. Daha sonra uçağın deniz yüzeyine çarptığı bilinmektedir. Bütün bu ısrarlı semptomlara rağmen, mürettebatın sürekli *stall* durumunda bulunduklarını asla anlamadıkları ve bunun neticesi olarak bir *stall*'dan çıkış manevrasını uygulamadıkları anlaşılmıştır.

h. Kazadaki can kaybı sayısı: 228

<u>Air France A-330 kazası hakkında açıklamalar</u>

a. Yorumlar: Bu kazanın olduğu dönemde seyir uçuşu esnasında pito tüpünün buz kristalleri tarafından bloke edilmesi olgusu havacılık camiası tarafından bilindiği halde oluşum mekanizması tam anlaşılamamıştı. İşletimsel açıdan bu kazada ortaya çıkan toplu hava hızı bilgisi kaybı emniyet modellemesi çalışmalarında hiç göz önüne alınmamış bir örnek oluşturmaktaydı. Pilotların, temel pilotluk bilgilerine dayanan ilk reaksiyonlardan sonra, uçağın içinde bulunduğu durumu hızla teşhis etmeleri ve uçağın yunuslama davranışını ve motor itkisi için gerekli ihtiyat önlemlerini, ilgili işletim kurallarında işaret edildiği şekilde uygulamaları beklenirdi. Arızanın seyir uçuşu bağlamında vuku bulması AF 447 uçuşunun pilotlarını tamamen afallatmıştır. Yüksek irtifada ve türbülans içindeyken

uçağın pilote edilebilmesiyle ilgili belirgin zorluklar, yalpa davranışına ilişkin aşırı abartılmış kontrol girdilerinin ve keskin bir burun yukarı manevrası girdisinin uçuştan sorumlu pilot tarafından uçağa uygulanmasına yol açmıştır. Uçağın seyir uçuşundan saparak tırmanan bir uçuş yörüngesine geçmesinden kaynaklanan destabilizasyon ve yunuslama davranışındaki ve dikey hızdaki giderek hızlanan evrim, hatalı hava hızı işarlarına ve ECAM (elektronik merkezi hava aracı izleme) mesajlarına eklenmiştir. Bu olgular da teşhisin yapılamamasına katkıda bulunmuştur. Uçağın *stall* uyarı tasarımının ergonomisinden, ilgili hava yolu pilotlarının eğitilmeleri ve mesleki eğitimleri sırasında *stall* koşullarına tabi tutulmaları koşullarından ve tazeleme eğitim süreçlerinden oluşan kombinasyon, pilotların beklenen davranışı kabul edilebilir ve güvenilir bir şekilde ortaya koymaları için yeterli olmamıştır. *Stall* uyarısının ilgili düzensiz titreşim ile beraber var olmasının mürettebatça fark edilmiş olması mürettebatın bu uyarıyı minimum düzeyde kabullenmiş olduğunu göstermektedir. Bu durum, mürettebatın daha önceleri *stall* deneyimine yeterli derecede sahip olduklarını, kritik vaziyetin zihinsel olarak algılanmasını ve anlaşılmasını minimum derecede sağladıkları, uçak bilgisini (ve uçağın korunma modlarını) ve uçağın uçuş fiziği bilgisine sahip olduklarını varsaymaktadır. Hava yolu pilotları mevcut eğitimlerin incelenmesi, genellikle, ilgili becerilerin nasıl geliştirildiği ve nasıl özümsendiği hakkında ikna edici izlenimler vermez. Daha genel olarak önceden planlanmış olan pilot prosedürel tepkilerinin çifte başarısızlığı mevcut emniyet modelinin sınırlı olduğunu gösterir. Mürettebatların, uçak durumlarına verecekleri tepkiler hesap edilirken, onların daima uçuş güzergahının birincil kontrolünü sağlayabilecekleri ve teknik sorunu çözmek için prosedürler el kitabından doğru girdiyi hızlı teşhis edebilecekleri varsayılmaktadır. Mürettebatlar, uçuş esnasında, anlık fakat derin kavrama kayıplarına yol açan beklenmedik vaziyetlerle karşılaşabilirler. Eğer bu durumda birincil düzeyde pilotluk ustalığı için bulunduğu varsayılan kapasite ve ardından teknik sorunun teşhis kabiliyeti kaybedilirse bu gibi hallerde emniyet modelinin *genel çalışmazlık modu* içerisine girdiği kabul edilir. Bu özel kazada, uçuş güzergahına hakim olmak için gereken ilk yetersizlik aynı zamanda kritik vaziyetin kavranmasını ve önceden planlanmış çözüme ulaşılmasını imkansız kılmıştır.

b. Mürettebat dikkat dağınıklığı/Kaygı/Yanlış odaklanma: Evet. Mürettebat, harici bozuntu (türbülans), pilot panelinde genel modlu sensör sistemi arızası (buz kristali oluşumu nedeniyle tüm pito tüplerinin bloke olması), harici sensör bilgilerinin eksikliği (okyanus üzerinde gece boyunca düşük görüş koşulları) ve *stall* uyarı sisteminin yüksek irtifadaki seyir sırasında tetiklenmiş olması gibi çoklu tehlike koşulları altında şaşkına dönmüştür.

c. Potansiyel insan makine arayüzü sorunu: Evet. Sistemin bloke olmuş pito tüpleriyle ilgili sensör arızalarını tespit edememesi ve sorunu hafifletememesi; *stall* uyarı tasarımının ergonomisi; çoklu tehlike koşulları altında durum farkındalığı sağlayan göstergelerin ve uçağın bozulmuş durumunu düzeltme manevrası için kılavuzluk bilgisinin eksikliği; mürettebatın, eylemleri uygun olmasa bile uygun olduklarına inanmalarına yol açan uçuş direktörü işarları, hücum açısı bilgisinin bulunmadığı korunma modunu içeren alternatif kural uyarınca yeniden yapılandırmanın fiziki sonuçlarını teşhis etme ve anlamaktaki zorluklar.

d. Araştırma yoluyla sorunu hafifletme potansiyeli: Evet.

(1) Beklenmedik ve anormal koşullar altında (çoklu tehlike olayları dahil) ve sistemin işletim modlarıyla ilişkili olarak uygulanabilecek mevcut korunmaların sonuçları uyarınca iyileştirilmiş mürettebat eğitimi sağlanmalıdır.

(2) Sensör arızalarını tespit edebilen, tanımlayabilen ve arızaların şiddetini azaltabilen sensör bütünlüğü yönetim sistemleri sağlanmalıdır.

(3) Çoklu tehlike koşulları altında sistemlere ve mürettebata iyileştirilmiş durumsal farkındalık veren iyileştirilmiş algoritmalar ve ekranlar sağlanmalıdır

(4) Sistem arızaları, harici bozuntular ve mürettebat ve/veya otomatik uçuş sistemleri tarafından uygunsuz kontrol girdileri dahil olmak üzere çoklu tehlikeler altında uçuş emniyetini sağlayabilen kendini çabuk toparlayan uçuş kontrol sistemi sağlanmalıdır

(5) *Stall* durumu da dahil olmak üzere çoklu tehlike koşulları altında, uçağın mevcut durumunun bozulması koşullarına ilişkin kılavuzluk bilgisi sağlayan ve/veya bu koşullardan uçağı otomatik olarak çıkarabilen, kendini çabuk toparlayan, bozulma koşullarını düzeltme sistemi sağlanmalıdır.

4.4.6. Sonuçlar

Bu kısımdaki analiz yaklaşımı, her bir *uçuşta kontrol kaybı* (LOC-Loss of Control) kazası ile ilişkili öncül olaylar dizilerini, en kötü durum tehlike kombinasyonlarını ve anahtar özellikleri (örneğin mürettebat dikkat dağılması ve insan-makine arayüzü sorunları) tanımlamaktadır. Bloke olmuş pitot tüpü veya statik portları içeren beş ölümcül kaza analiz edilmiştir. Bu beş ölümcül kazanın;

a. 3/5'inde uygun olmayan/yetersiz düzeltme,

b. 5/5'in 4/5'inde *stall* veya uçağın mevcut konumunun bozulması ve 1/5'inde uçağın kontrolden çıkmış olarak irtifa kaybına girdiği ciddi bir hava aracı uçuş durumu bozulması,
c. 3/5'inde pilot mahalli aletleri ve/veya otomatik uçuş sistemi sorunları, (örneğin işletim hataları veya yetersizlikler)
d. 4/5'inde hava aracının sistemi, hızı veya uçuş durumuyla ilgili olarak mürettebat tarafından "farkındalık kaybı" yaşandığı

tespit edilmiştir.

Beş ölümcül kazadan üçünde mürettebat, pitot sistemi arızasıyla ilgili koşullardan ötürü dikkat dağılması yaşamış ya da bunalmıştır. Bu kazalardan biri kokpitte kabin ekibinin varlığıyla daha da kötüleşmiştir. Beş ölümcül kazanın dördü potansiyel insan-makine arayüzü sorunlarını içermektedir. Beşinci kazanın kaza raporu bu belirleme için yeterli bilgiye sahip değildir. Bazı durumlarda, hatalı hava hızı göstergeleri nedeniyle otomatik uçuş sistemi uçağı *stall* durumuna uçurmuştur ve pilot mahalli aletleri gelişmiş durumsal farkındalık için çok az bilgi sağlamıştır ve yapılacak uygun eylemler hakkında hiçbir kılavuzluk yoktur. Dahası, bazı durumlarda mürettebatın kafasını daha da karıştıran aynı anda birden fazla çelişkili uyarı ve ikaz sesi duyulmuştur [22].

4.5. Hava Aracı Uçuş ve Ses Veri Kayıt Sistemi ve Metodu

Bu çalışmanın amacı uçuş sırasında bir uçağın uçuş verisini ve ses verilerini kaydetmek için ileri bir sistem ve metot geliştirilmesidir.

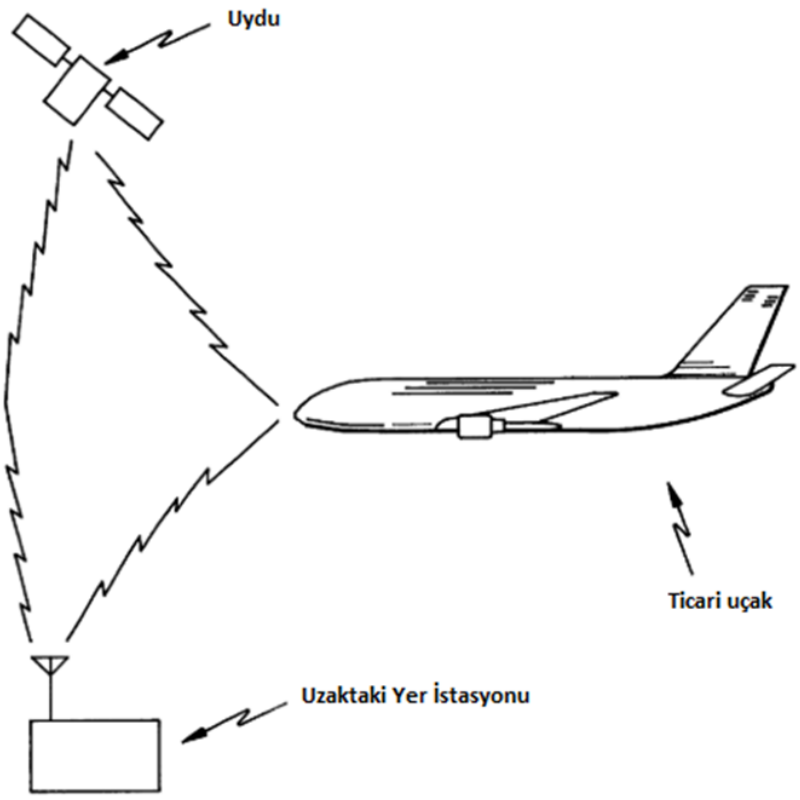
4.5.1. Metodun arka planı

Ne zaman bir uçak düşse, hükümet yetkililerinin, uçak üreticilerinin ve halkın, kaza nedenini belirleme konusunda büyük bir ilgisi vardır. Ticari uçakların hava kazalarını yeniden canlandırmak ve bu kazaların nedenlerini teşhis etme sürecine yardımcı olmak için uçuş veri kayıt cihazı (FDR-Flight Data Recorder) ve ses veri kayıt cihazı (VDR-Voice Data Recorder) kullanımı tüm dünyada giderek yaygınlaşmaktadır. Uçakların üretim süreci esnasında FDR ve VDR cihazları genellikle korumalı bir kutu içinde paketlenir, hava aracının kuyruk bölümüne yerleştirilir ve genel olarak "kara kutu" olarak bilinir. Son dönemlerde, uçak üzerindeki sistemde taşınan mekanik parçaların sayısını minimize etmek

için ve kazadan zedelenmeden çıkan tüm bilgileri saklamak amacıyla FDR ve VDR cihazında daha büyük kapasitelere sahip yarı iletken bellekler kullanılmıştır. FDR ve VDR cihazının yapısı ve elektronik arkitektürü üzerinde yapılan iyileştirmelere rağmen, kuyruk bölümünün neredeyse parçalandığı veya enkazın derin sulara gömüldüğü kazalarda veya enkazların çok geniş engebeli ve ormanlık arazilere yayıldığı kazalarda bu cihazları ele geçirmek genellikle zor olmakta bazen de mümkün olmamaktadır. Dahası, FDR ve VDR cihazlarının kaza mahallinden bulunarak elde edildikleri vakalarda bile, bu cihazlar kritik verilerin okunamaması gibi ciddi fiziksel hasarlara genellikle maruz kalabilmektedirler. Kazaya uğramış uçağın FDR ve VDR cihazlarının kaza mahallini içeren alanın neresinde bulunup elde edilebileceği ve kaza mahallinden elde edilen bu cihazların içerdiği verileri okuyabilme süreci çoğu zaman önemli ölçüde zaman ve çaba alır. Verileri okuyabilme sürecindeki bu zorluklar, kazanın nedenlerinin belirlenmesini ve bu nedenlere bağlı olarak diğer ilgili hava araçlarındaki önemli uçuş emniyet bileşenlerinin kontrolünü, gerekli tadilat ve bakımını ve/veya uçuş emniyetini artırıcı yeni hava trafik kontrol önlemlerinin uygulanmaya konmasını geciktirebilir. Pat. Seymour Levine'nin 5,890,079 sayılı ABD Patenti, birçok performans parametresini ve birçok hava aracı operasyonel parametresini izleyen ve bu bilgiyi hava aracı tanımlama, ses, video, küresel konumlandırma ve irtifa verileriyle birlikte dünya çapında iki yönlü bir RF ağına sürekli olarak yayınlayan bir sistem açıklamaktadır. Bu tür sistemler çok büyük ölçeklidir ve tüm hava kaynaklı ticari uçaklardan küresel çapta çok sayıda verinin sürekli olarak indirilmesini gerektirir. Maliyet açısından pratik olmamasının yanı sıra, kanal kapasitesi, frekans spektrumu kullanılabilirliği, hesaplama gücü, verinin kullanışlı formata dönüşümü, kurulum karmaşıklığı, bakım ve benzeri gibi teknik sorunlar, sistemlerin uçuş sırasında bir uçağın uçuş verilerini kaydetmek için konuşlanmasını engeller. Bu tez çalışmasında, yukarıda anlatılan olumsuzlukların üstesinden gelmek için, hava aracı uçuş halindeyken, radyo frekansı RF (radio frequency) kullanılarak yapılan veri bağlantıları yoluyla, uçak üzerinde monteli FDR ve CVR cihazları tarafından toplanan verilerin uzakta bulunan yer istasyonu alıcısına iletilmesi öngörülmektedir. Böylece bu metot sayesinde, FDR ve VDR cihazlarının kaza mahallinden elde edilemediği veya kaza mahallinden elde edilse bile kaza esnasında ciddi hasar görmesinden dolayı, verilerin kısmen veya tamamen okunamadığı hava kazalarındaki veri kayıplarının yaratacağı olumsuz sonuçların üstesinden gelinebilecektir [1].

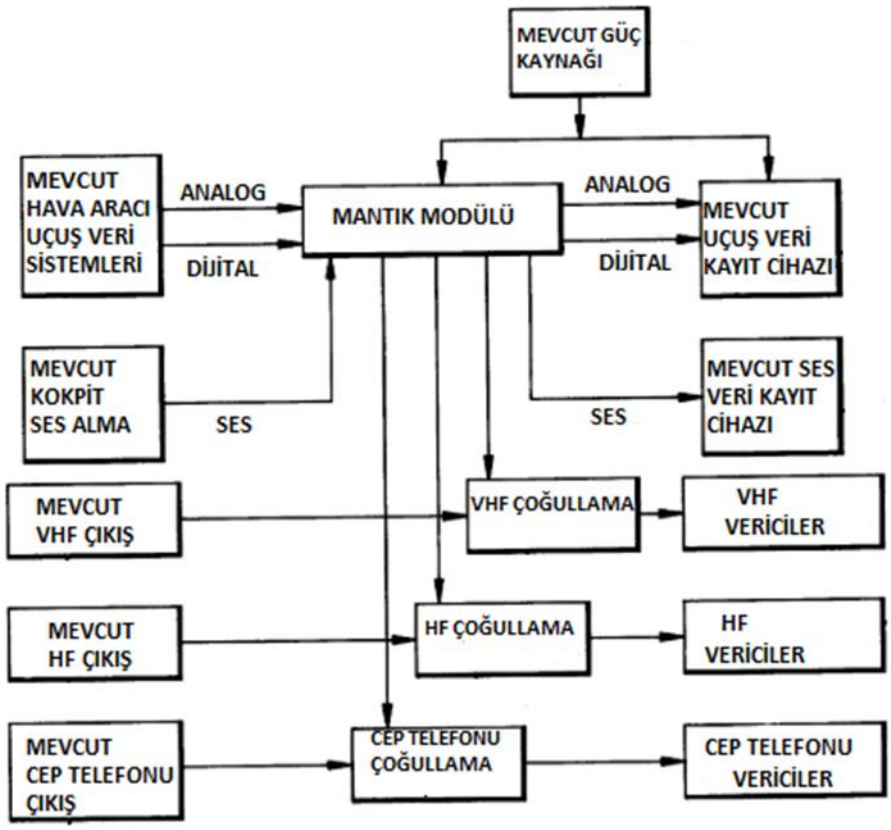
4.5.2. Metodun özeti

Uçuş sırasında bir uçağın uçuş verilerini kaydetmek için bir sistem oluşturulmalıdır. Sistemin havada işleyen kısmı, çok sayıda uçuş parametresini izlemek ve potansiyel bir problemin göstergesi olan önceden belirlenmiş eşiklerin aşılması durumlarını tespit etmek üzere hava taşıtı üzerinde konumlandırılır. Uçuş verisi ile ilgili olarak, önceden belirlenmiş eşik aşma durumları; anormal uçuş kontrol davranışlarının ortaya çıkması, kontrol yüzeyi akçüatör arızaları, hidrolik sıvı basınçlarının düşmesi, yakıtın minimum sınırın altına inmesi, *stall* hızı civarına yaklaşma, aşırı motor devrine ulaşma, motor arızası çıkması, kabin basıncı kaybına uğrama ve benzer durumları içerebilir. Ses verisine ilişkin önceden belirlenmiş eşik aşımları ise; aşırı ses desibel seviyelerini, aşırı uzun sessizlik dönemlerini ve kokpite dışarıdan tecavüz durumlarını gösteren diğer sesli koşulları içerebilir. Önceden belirlenmiş eşik aşılmasının tespit edilmesi üzerine, uçuş parametrelerinin uçuş verilerini temsil eden RF sinyalleri uçak anteninden ilgili yer istasyonuna iletilir. Uçuş verilerini taşıyan bu iletilen RF sinyalleri, uçaktan uzakta bulunan yer istasyonunda alınır ve bu uçuş verileri analiz için kaydedilir. Şekil 4.1'de, önerilen bu sisteme ait; bir yer istasyonu ve bir uydu ile iletişim halinde olan bir uçağın şematik gösterimi verilmiştir [1].



Şekil 4.1. Bir yer istasyonu ve bir uydu ile iletişim halindeki ticari uçak

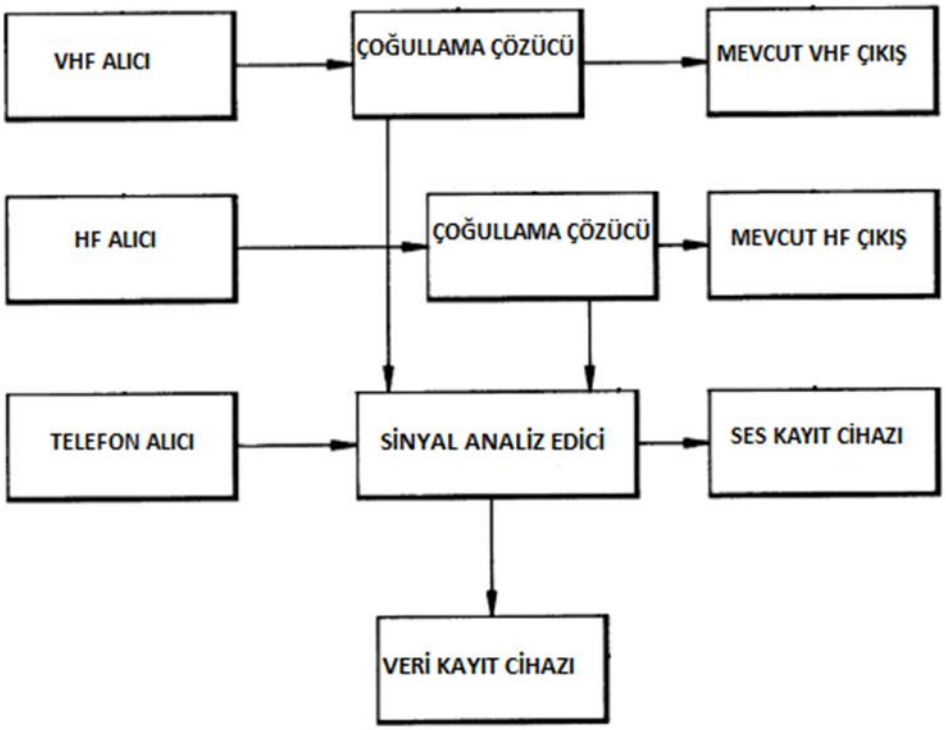
Şekil 4.1’ de gösterildiği gibi, bir ticari hava aracı uzaktaki yer istasyonuna direkt olarak veya bir uydu üzerinden dolaylı olarak havada uçuş verilerini ve ses verilerini iletmektedir.



Şekil 4.2. Hava aracı kokpiti içindeki modül

Tercih edilen düzenlemenin havada işleyen kısmının ana unsurları (Şekil 4.2) hava aracının kokpiti içinde, vericileri ise kokpit dışında taşınmaktadır. Tercih edilen düzenlemenin uçaktan uzakta bulunan kısmındaki alıcılar (Şekil 4.3), tipik olarak hava trafik yer istasyonu ATCC’ye (Air Traffic Control Center) (Şekil 4.1) yerleştirilir. Birçok hava aracı Şekil 4.2’ dekine benzer havada işleyen sistemlerle donatılmaktadır. Bu sistemler konvansiyonel hava aracı radyo trafiğini izleyen dünya çapında yayılmış tesislerde yerleştirilmiş birçok benzer yer istasyonunda bulunan Şekil 4.3’ dekine benzer sistemle iletişim kurmaktadır. Uçakta kaydedilen uçuş verileri ve ses verileri, çeşitli tetikleyici olayların meydana gelmesinin ardından çeşitli RF bağlantıları kullanılarak eşzamanlı ve gerçek zamanlı olarak uydu-yer bağlantısı üzerinden iletilir. Burada kullanılan *ses verileri* terimi, mürettebat üyelerinin sesli iletişimini temsil eden şifrelenmiş sinyallerin yanı sıra, kokpitte silahla ateş edilmesini, patlama sesini, çığlık atılması ve diğer türden anormal sesleri, uçak kaçırılmasına ilişkin anormal durum seslerini veya diğer personel rahatsızlıklarının seslerini veya bir ekipman

arızası uyarı sesini gösterebilir. Sistemin kokpitteki kısmı (Şekil 4.2), ticari hava araçlarında mevcut RF cihazlarını, mevcut işleyişlerinde değişiklik yapmadan kullanabilir. Sistem düzenlemesinin yer istasyonundaki kısmı (Şekil 4.3), ATCC'lerde zaten mevcut ekipmana uygulanacak minimum bir modifikasyon ile işletilebilir.



Şekil 4.3. Yer istasyonundaki modül [1]

Şekil 4.2' ye göre sistem düzenlemesinin hava aracında bulunan kısmı bir mantık modülünü içerir. Mantık modülü, mevcut hava aracı uçuş veri sistemlerinden gelen uçuş verilerini analog ve dijital formda olarak ve hava aracının mevcut kokpit ses alma ekipmanından gelen ses verilerini de direkt olarak girdi alır. Bu veriler, mantık modülünün ardından hava aracının mevcut FDR ve VDR cihazlarına bir değişikliğe uğramadan iletilir. Hava aracındaki ana veya yedek bir yerleşik güç kaynağı FDR ve VDR cihazlarına ve ayrıca mantık modülüne güç sağlar. Mantık modülü, *eşik aşımları* olarak bilinen anormal tetikleme olaylarını tespit etmek üzere uçuş verilerini ve ses verilerini sürekli olarak izler. Önceden belirlenmiş her bir eşik aşımı, hava aracı ile ilgili olası bir teknik sorunun varlığını gösterir. Sistem tercihen, uçuş verisi parametrelerinden herhangi birisindeki önceden belirlenmiş bir eşik aşımını tespit etmesinin ardından, uçuş verileri ile birlikte ses verilerini de sistemin yer istasyonundaki kısmına iletmektedir. İlave olarak, hava aracındaki sistem, ses verilerinden birisinin önceden belirlenmiş bir eşik aşmasını tespit etmesi halinde, yalnızca uçuş verilerini

veya uçuş verileri ile ses verilerini birlikte sistemin yer istasyonundaki kısmına iletmeye başlayabilir. Ses verisine ilişkin önceden belirlenmiş eşik aşımları ise; aşırı ses desibel seviyelerini, aşırı uzun sessizlik dönemlerini ve kokpite dışarıdan tecavüz durumlarını gösteren diğer sesli koşulları içerebilir. Mantık modülü, hava taşıtının kendisi veya hava aracı içindeki insanlarla ilgili potansiyel bir teknik sorunun göstergesi olan önceden belirlenmiş bir eşik aşımını tespit ettiğinde, sistem düzenlemesinin uzaktaki kısmı olan yer istasyonundaki kısma uçuş verilerinin ve ses verilerinin, sürekli, eşzamanlı/gerçek zamanlı RF sinyal transferini başlatır. Çok yüksek frekans (VHF-Very High Frequency) çoğullayıcı, yüksek frekans (HF-High Frequency) çoğullayıcı ve cep telefonu çoğullayıcı cihazları, mevcut VHF çıkışı, HF çıkışı ve cep telefonu çıkışının bulunduğu taraf ile, sırasıyla, VHF vericileri, HF vericileri ve cep telefonu vericilerinin bulunduğu taraf arasında yer alır. Sistem düzenlemesinin havada bulunan kısmı, aynı zamanda uçuş verilerini ve ses verilerini sistemin yer istasyonunda bulunan kısmına iletmek üzere 121,5 megahertz'de tahsisli olan acil kanal gibi açık kanalları da yaygın olarak kullanabilir. Cep telefonu çoğullayıcı cihazı; hali hazırda açık bulunan kanallar üzerinde çağrı başlatabilir ve açık kanal bulunamazsa, bir kanalın yakalanmasına ve gerektiği şekilde kullanılmasına programlanabilir. Uçuş verilerinin ve ses verilerinin iletilmesi sırasında, mevcut FDR ve VDR cihazları uçuş verilerini ve ses verilerini normal şekilde kaydetmeye devam eder. Bu işleyiş şekli, sistemin havadaki kısmının veya yer istasyonundaki kısmının arıza yapması durumunda yedek kayıt sağlar. Mantık modülü, sistemin hava aracındaki kısmının (Şekil 4.2) tüm kontrol, durum ve karar fonksiyonlarını icra eder. Kanal seçimini ve aktivasyonunu, çoğullayıcı cihazlar (Şekil 4.2) vasıtasıyla kontrol etmek üzere çeşitli akış şemaları uygulayabilir. Mantık modülü, aynı zamanda, uçuş verilerinin ve ses verilerinin uydu-yer bağlantısının ne zaman sona erdirileceğinin mantıksal bir tespitini de yapabilir. Sistem düzenlemesinin yer istasyonunda bulunan kısmı (Şekil 4.3), önceden belirlenmiş bir eşik aşımının tespiti üzerine, sistemin uçakta bulunan kısmı tarafından RF sinyallerinin iletilebilmesi için uygun kanalları izleyen bir VHF alıcısı ve HF alıcısını içerir. Her iki çoğullama çözücü cihazları (Şekil 4.3), sırasıyla, VHF alıcı ve HF alıcı cihazları tarafından alınan sinyal girdilerini çözümledikten sonra, sırasıyla, mevcut VHF çıkış ve HF çıkış cihazlarına çıktılar olarak verir. Her iki çoğullama çözücü cihazlarından gelen diğer çıktılar ise sinyal analiz cihazına yönlendirilir. Sinyal analiz cihazı (Şekil 4.3), önceden belirlenmiş bir eşik aşımını saptamak üzere, çoğullama çözücü cihazlarından alınan sinyal çıktılarını sürekli olarak izleyen konvansiyonel kişisel bilgisayar şeklinde olabilir. Bir eşik aşımının algılanması üzerine sinyal analiz cihazı, bu şekilde alınan sinyal çıktılarını veri kayıt cihazı ve ses kayıt cihazı

tarafından kayıt edilmek üzere konvansiyonel uçuş veri kayıt ve ses veri kayıt formatına dönüştürür (Şekil 4.3). Böylece veri kayıt cihazı ve ses kayıt cihazı, sırasıyla konvansiyonel FDR ve konvansiyonel VDR şeklini alır (Şekil 4.3). Cep telefonu alıcısı, tüm hava trafik kontrol merkezlerinin (ATCC) bu kabiliyete sahip olmamasına rağmen, VHF ve HF alıcı cihazlarına benzer şekilde çalışır. Bir çağrı sinyalinin alınması üzerine, cep telefonu alıcı cihazı, sinyal analiz cihazını harekete geçirir, ardından bu cihaz cep telefonu şebekesi yoluyla iletilen uçuş veri çıktılarının ve ses veri çıktılarının kodunu çözümlemeye ve kaydetmeye başlar. Uçaktaki sistemden iletilen uçuş verileri ve ses verilerini taşıyan RF sinyalleri, yer istasyonunda bulunan sistem tarafından alınır ve ardından bu uçuş verileri ile ses verileri analiz edilmek üzere kaydedilir. Uçaktaki sistem, uçuş verilerinin ve ses verilerinin ikisini de RF sinyali yoluyla iletmeden önce çoğullanma (bir hattan birden fazla sinyal gönderme) işlemini icra eder. RF sinyalleri uçaktan iletildikten sonra uzaktaki yer istasyonu tarafından alınır. Yer istasyonu sistemi, bu sinyalleri alma işleminin ardından uçuş verilerinin ses verilerinden ayrılması için alınan RF sinyallerinin çoğullamadan çözülmesi (demultiplexing) işlemini icra eder. Sistem düzenlemesinin yer istasyonundaki kısmında; uçuş verilerinin ve ses verilerinin alınması işlemlerinin ardından konvansiyonel uçuş veri formatına ve konvansiyonel ses veri formatına dönüştürülmesi ve bu dönüştürülmüş verilerin, sırasıyla, tıpkı hava aracındakine benzer şekilde, uçuş veri kayıt cihazı (FDR) ve ses kayıt cihazına (VDR) kaydedilmesi işlemleri icra edilir. Bu sistem, yine önceden belirlenmiş bir zaman dilimi içerisinde, tamamlanan uçuş esnasında herhangi bir eşik aşım göstergesinin bulunmadığının tespit edilmesi halinde, uçuş verilerinin ve ses verilerinin iletimini otomatik olarak sona erdirir [1].

4.5.3. Kara kutu bulutu

Honeywell Aerospace şirketi kısa süre önce Curtiss-Wright Corp şirketi ile uçuş esnası hava-yer ve hava-hava iletişimi kullanarak hava aracı kokpit ses kayıt cihazı (CVR) ve uçuş veri kayıt cihazını (FDR) yeniden oluşturmak için ortaklık kurmuştur. Honeywell Aerospace şirketi ticari havayolu, kargo taşımacılığı ve iş jeti pazarlarına söz verdiği “kara kutu bulutu” çözümünü temin etmek için, uzun süredir ortağı olan Uluslararası Denizcilik Uydu İletişim Hizmeti Sağlayıcısı (inmarsat-international marine satellite) şirketi ile çok yakın çalışmaktadır. Havacılık endüstrisine altmış yılı aşkın bir süredir geleneksel kara kutular sağlayan Honeywell şirketi, Curtiss-Wright şirketinin yakın zamanda sertifikalı “Fortress” donanımını kullanan 25 saatlik CVR/FDR kayıt cihazı esasına sahip yeni “Connected

Recorder-25" cihazı ile uçuş boyunca hem tetiklenmiş kara kutu aktarımlarını hem de gerçek akışı izlemektedir. Honeywell şirketi, kara kutuları mevcut pasif durumlarından gerçek zaman bağlantılı bir çözüme taşıma konusuna birçok farklı yoldan bakmaktadır. Bunlardan biri, belirli bir olaya kadar anlamlı olan bir veri çerçevesi ve kare hızı ayarlamak ve ardından onu hızlandırmak şeklinde olmuştur. Bu bir nevi her beş dakikada bir veya her onbeş dakikada bir, bütün veri yığınını çekmek, sonra aniden bir olay meydana geldiğinde veriyi her yüz milisaniyede çekmek şeklindedir. Tanımlanmış bir tetikleyici olay, örneğin, onaylanmamış bir rota sapması olabilir. Başka bir yol, uçuş verilerinin bir alt takımını seçip bunu sürekli bir akış olarak almak şeklindedir. Bununla ilişkili maliyetler ve hangi yolun değerli olduğu da değerlendirilmektedir. Honeywell veya Cobham şirketleri tarafından üretilen hava taşıtı üzerindeki aviyonik donanım vasıtasıyla, Inmarsat'ın L-bant uyduları üzerinden çalışan "Swiftbroadband" tabanlı kokpit iletişim çözümü SB–Safety (SB-S), mevzuat koyucunun emniyet servisi tarafından onaylandığı için, "kara kutu bulutu" için doğal bir iletim hattıdır. Ayrıca Airbus, SB-S'yi birden fazla hava aracı tipinde tercih edilen bir hat-uyum hizmeti olarak sunmakta ve Inmarsat'ın "kara kutu bulutu" nu içeren teklifindeki teknoloji yolunu anlamaktadır. Ancak, gizlilik güvenliğine sahip olan SB-S hizmeti kara kutu sinyal iletimleri için en doğal bir seçenek olabilecek iken, bir acil hal'in ortaya çıkması durumunda, uydu iletişimi sağlayıcısı Inmarsat'ın, uçak kabinlerinin uçuş esnası hava-yer ve hava-hava iletişim hizmetlerini geniş bant üzerinden icra ettiği ve yalnızca Honeywell şirketinin tek başına terminal birimi hizmet sağlayıcısı olduğu Global Xpress (GX) hizmetinden de yararlanmak mümkün olabilir. Bununla birlikte, endüstrinin uçak kabin iletişim hattı üzerinden gerçek zamanlı kara kutu veri aktarımlarını görmeden önce mevzuatla ilgili engellerin aşılması gerekmektedir. Çözüme yönelik bir rehbere sahip olana kadar, havayollarının yatırım yapmanın en iyi yollarını tam olarak bilmeleri zor olmaktadır. Örneğin, havada çarpışma önleme sistemi (TCAS-traffic collision avoidance system) havacılık endüstrisi için harika olan mükemmel bir teknolojidir, ancak başından beri onu tanımlayan düzenleyici kişiler olmasaydı bu kadar sağlam bir şekilde benimsenmemiş olacaktı. Yakın geçmişte Honeywell'in "Connected Recorder-25" donanımı, daha etkili operasyonları destekleyerek, Avrupa Havacılık Emniyeti Ajansı'nın (EASA-European Aviation Safety Agency) 2021 yılı için minimum 25 saatlik kokpit ses kaydı gerekliliklerinin gereksinimlerini karşılamıştır. Yeni mevzuat gerekliliği ile Honeywell şirketi, kayıt cihazı teknolojilerini yalnızca yetkili kurumların koşullarını karşılayacak şekilde geliştirmekle kalmayıp, aynı zamanda bu ürünü daha güçlü ve daha iyi bağlantılı hale getirerek uçak operatörlerine uçak bakımını ve performansını iyileştirmede kullanabilecekleri başka bir

veri toplama kaynağı sağlayacak şekilde geliştirmektedir. Nihayetinde "Connected Recorder-25" donanımı "kara kutu bulutu" sistemini de destekleyebilir. Gerçek bir nihai "kara kutu bulutu" çözümü elde etmek için, mevzuat koyucu düzeyinde, donanım düzeyinde, hizmet düzeyinde ve ağ düzeyinde çalışma açısından aynı hizada olunması gerekmektedir. Herhangibir zaman çerçevesi olmamakla birlikte "kara kutu bulutu" sisteminin gerçeğe dönüşmesi için mevzuat koyucu ve ağ düzeyinde çalışmalar halen devam etmektedir. Resim 4.7' de Honeywell Aerospace şirketi ve ortaklarının gerçek zamanlı kara kutu veri aktarımı çalışmalarının şematik bir resmi verilmiştir [23].



Resim 4.7. Honeywell Aerospace ve ortaklarının gerçek zamanlı kara kutu veri aktarımı çalışmaları

Resimde numaralandırılmış ögeler şu şekilde tanımlanmaktadır:

1. İzlenen uçaklar-"Küresel Havacılık Tehlike ve Emniyet Sistemi" uyumlu
2. Mevcut ve gelecekteki "Küresel Uydu Ağları"
3. Alınan verileri işlemek ve veri merkezine yeniden yönlendirmek için kullanılan yer istasyonu
4. Filo genelinde alınan tüm verileri depolamak ve tutmak için veri merkezi
5. Havayolu operatörlerine sağlanan analizler: Bakım operasyonları kalite güvencesi/ alarmlar/acil durum

6. Emniyet personeli, kokpit ses kayıt cihazı/uçuş veri kayıt cihazı için ek bilgi, düzenli bakım talep edebilir [23].

4.6. Uçuş Verileri Analizi (FDA) Programları

Bazen Uçuş Verileri İzleme (FDM-Flight Data Monitoring) veya Uçuş Operasyonları Kalite Güvencesi (FOQA-Flight Operations Quality Assurance) olarak da adlandırılan Uçuş Verileri Analizi (FDA-Flight Data Analysis) programları havacılık emniyetini iyileştirmek için rutin operasyonlardan kaydedilmiş uçuş verilerinin proaktif olarak kullanılmasıdır. Havacılık topluluğu uçuş emniyetinin daha da iyileştirilmesi için sürekli baskı altında bulunur. FDA programları bu zorluğu gidermek için etkili çözümler sunar. FDA programı bir dereceye kadar kalite güvencesi olmakla birlikte aynı zamanda önemli bir emniyet yönetimi boyutu vardır. Bu program, hava aracı uçuş kayıt cihazı verilerinin düzenli ve rutin olarak indirilmesini ve analiz edilmesini içerir. Söz konusu program hava aracı operatörleri tarafından dünya genelinde uçuş operasyonları trendlerini takip etme ve değerlendirme, risk öncülerini belirleme ve uygun iyileştirici önlemler alma yeteneği sunarak, bir dizi operasyonel alanda düzeltici eylemlere ilişkin bilgilendirmek ve bunları kolaylaştırmak üzere yaygın olarak kullanılmaktadır. Operasyonel FDM (OFDM) programlarının potansiyeli, rutin olarak hava aracında taşınan dijital kayıt cihazları kullanılarak elde edilebilen veri parametrelerinin sayısındaki hızlı genişleme ile daha da artmıştır [24].

Bir FDA programı; uçuş mürettebatının performansını, işletim prosedürlerini, uçuş eğitimini, hava trafik kontrol prosedürlerini, navigasyon hizmetleri veya uçak bakımı ve tasarımını iyileştirmek üzere rutin uçuşlarda kaydedilen verilerin toplanması ve analiz edilmesi için proaktif ve cezalandırıcı olmayan bir program olarak tanımlanabilir. Uçuş kayıt cihazlarının başlangıçta başlıca kullanım amacı, özellikle mürettebatın tümünün hayatını kaybettiği kazalarda kaza incelemecilerine yardımcı olmaktı. Kaydedilen verilerin analizinin, ciddi ancak can kaybı olmayan olayları da daha iyi çözümlemek için yararlı olduğu kabul edilmiştir. Kaydedilen uçuş parametrelerine rutin olarak erişerek, uçuş operasyonlarının emniyeti ile hava aracı ve motorların performansı hakkında birçok bilgi öğrenilebilmiştir. Ayrıca, herhangi bir kaza veya ciddi olay analizinde kullanılmamış verilerin analizi, ciddi bir olay veya kaza gerçekleşmeden önce emniyetsiz durumların belirlenmesinde yardımcı olabilir. Yukarda belirtilen faydalardan yararlanmak üzere, bir dizi hava yolu, kayıtlı uçuş verilerini rutin olarak analiz eden sistemler kurmaktadır.

Başlangıçtaki bazı sorunlara rağmen havacılık endüstrisi, şirketlerin emniyet programlarını desteklemek üzere normal operasyonlardan kaydedilen verileri giderek daha fazla analiz etmektedir [25].

4.6.1. FDM'nin faydaları

FDM olayların ve kazaların önlenmesine yardımcı olacak veriler sağlayarak uçuş emniyeti ve operasyonel verimliliğin artmasına büyük katkıda bulunur. Uçuş kazaları sayısındaki düşüş sadece maddi kayıpları ve sigorta maliyetlerini azaltmakla kalmaz, aynı zamanda yolcuların uçuşlara güven duygusunun artmasını da sağlar. FDM'nin yararları aşağıda sıralanmıştır:

- Geliştirilmiş operasyonel içgörü (insight): Potansiyel riskleri belirler ve buna göre pilot eğitim programlarını değiştirmek için araçlar sağlar.
- İyileştirilmiş yakıt tüketimi: FDM, şirket işletim prosedürlerine veya olağandışı yüksek yakıt yanma oranlarına sahip spesifik uçaklara yönelik belirleme ve ayarlama yapma yeteneği sağlar.
- Gereksiz bakım ve onarımlarda azaltma: FDM verileri, plansız bakım ihtiyacının azaltılmasına yardımcı olmak için kullanılabilir, bu da bakım maliyetlerinin düşmesine ve hava aracı kullanım zamanının artmasına imkan verir.
- İyileştirilmiş zemin koşulları ve havaalanları: Bazı durumlarda hava yolu şirketleri, hava trafik kontrolü ve havaalanı prosedürlerinde istenen değişiklikleri desteklemek için FDM programından elde edilen verileri kullanabilir.
- ACARS mesajlarının azaltılmış sayısı: ACARS mesajlarıyla gönderilen kritik olmayan veriler (örneğin kalkış raporları, stabil seyir raporları) FDM cihazları yoluyla alınabilir, kaydedilebilir ve aktarılabilir.
- FDR cihazlarına daha az güvenme: Uçuş izleme verileri (flight-monitoring data), internet üzerinden otomatik olarak aktarılabilir ve gecikmeden analiz edilebilir.
- Gürültü kısıtlamalarına bağlılık: FDM programı hava yollarının gerçek ihlalleri doğrulayabilmeleri veya reddedebilmeleri ve böylece para cezalarından kaçınabilmelerini sağlamak için gürültü kısıtlamalarına bağlılık göstermelerine yardımcı olmaktadır.

- Mürettebatın kozmik radyasyona maruz kalma sürecinin daha iyi izlenmesi: Uçuş verilerinin izlenmesi, radyasyona maruz kalma sürecinin daha iyi izlenmesine yardımcı olur.
- FDM programları proaktif tehlike tanımlaması için güçlü bir araç sağlar [24].
- Uçuş rejiminin herhangi bir bölümünde olumsuz eğilimlerin tespit edilmesi: Böylece ciddi sonuçları olanların dışındaki olayların incelenmesini hızlandırır ve kolaylaştırır.
- Uçuş veri analizi (FDA): Uçuş parametrelerinin aşıldığını tespit etmek ve standart olmayan veya eksik prosedürleri, hava trafik kontrol (ATC-Air Traffic Control) merkezi sistemindeki zayıflıkları ve hava aracı performansındaki anormallikleri tespit etmek için kullanılabilir.
- Olay analizi: Hava aracının olaya ilişkin uçuş kayıt verileri filonun uçuş kayıt profili verileriyle karşılaştırılır ve böylece olayın sistemik yönden analizine imkan tanınmış olur. Bu analiz, bu olaya ilişkin uçuş parametrelerinin diğer uçuşlardaki parametrelerden sadece küçük bir miktar farklılık göstermesi şeklinde olabilir ve bu farklılık operasyon tekniği veya eğitimdeki bir değişikliği gösteriyor olabilir. Örneğin, inişte uçağın kuyruğunun piste sürtmesinin münferit bir olay mı veya *over-flaring* (uçak burnunun ağırlık merkezi etrafında yukarı aşağı dönme hareketinin ayarlanması) veya *improper thrust management* (yetersiz motor itki idaresi) gibi daha önemli ve yaygın yanlış kullanım sorunumu olup olmadığının belirlenmesini mümkün kılar.
- Motor izleme programları: Elle kodlanmış motor verileri doğruluk, zamanlama ve güvenilirlik açısından sınırlı olduğundan, güvenilebilir trend analizi elde etmek için motor izleme programları, uçuş kayıt cihazı verilerinin otomatik analizini kullanabilir.

Uluslararası ticari hava taşımacılığı operasyonları yürüten daha büyük uçakların operatörlerinin, cezalandırıcı olmayan bir FDA programına sahip olması gerekmektedir. Programı yürütmek için uzman bir yüklenicinin hizmetlerinden yararlanılabilir [25]. 3.3.6 sayılı ilgili ICAO standardı uyarınca; tip sertifikasında azami kalkış ağırlığı 27, 000 kg.ve daha fazla olan uçakların operatörleri, ICAO'nun bu konudaki amir hükmünün gereği olarak *emniyet yönetim sistemleri* (SMS) tesis etmek ve bu sistemin bir parçası olarak *uçuş verileri analiz programı* oluşturmak ve sürdürmek zorundadır. 3.3.5. sayılı ilgili ICAO tavsiyesi uyarınca tip sertifikasında azami kalkış ağırlığı 20, 000 kg.ve daha fazla olan uçakların operatörleri, ICAO'nun bu konudaki tavsiye hükmünün gereği olarak *emniyet yönetim sistemleri* (SMS) tesis etmeli ve bu sistemin bir parçası olarak *uçuş verileri analiz programı*

oluşturmalı ve sürdürmelidir [17]. 1.3.5 sayılı ilgili ICAO tavsiyesi uyarınca, tip sertifikasında azami kalkış ağırlığı 7, 000 kg ve daha fazla olan veya yolcu uçuş konfigürasyonunda 9 veya daha fazla yolcu içeren ve FDR kayıt cihazı ile donatılmış helikopterlerin operatörleri, *emniyet yönetim sistemleri* (SMS) tesis etmeli ve bu sistemin bir parçası olarak *uçuş verileri analiz programı* oluşturmalı ve sürdürmelidir [26].

4.6.2. FDA programı kullanma

Tipik olarak, FDA verileri şu amaçlarla kullanılmaktadır:

- Limit değerleri aşma tespiti
- Rutin ölçümler
- Olay incelemeleri
- Kesintisiz uçuşa elverişlilik
- Bağlantılı veri tabanları (veya entegre emniyet analizi)

Limit değerleri aşma tespiti

FDA programları, uçuş kitabı limitlerinden sapmalar, standart işletme prosedürlerinden (SOP-Standard Operating Procedure) sapmalar veya basiretli pilotluk uygulamalarından sapmalar gibi limit değerlerinin aşılması veya emniyet vakalarını tespit etmek için kullanılabilir. Bir dizi temel vakalar (genellikle FDA yazılımının satıcısı tarafından operatör / üretici ile işbirliği halinde temin edilir) operatörlerin ana ilgi alanlarını oluşturur. Bunun örnekleri; kalkışta gereğinden fazla uçak burnunu kaldırma hızı, *stall* ikazı, yer yakın uyarı sistemi ikazı (GPWS-Ground Proximity Warning System), flap limitleri hız sınırı aşımı, gerekenden daha dik ve daha hızlı yaklaşma, süzülüş yörüngesinin üstünde veya altında kalma (high/low on glide slope), sert iniş olarak verilebilir. FDA, mürettebat raporlarına tamamlayıcı bilgiler sağlayabilir. Bunun örnekleri; iniş esnasında gereğinden daha düşük flap konumu (Reduced flap landing), acil durum alçalması, motor arızası, kalkıştan vazgeçilmesi (rejected take-off), pas geçme (go-around), trafik uyarısı ve çarpışma önleme sistemi (TCAS-Traffic Alert and Collision Avoidance System) veya GPWS uyarısı ve sistem arızaları olarak verilebilir.

Rutin ölçümler

Giderek artan bir derecede sadece önemli vakalar üreten veriler değil, bütün uçuşlardan elde edilen veriler muhafaza altına alınmaktadır. Her bir uçuşu karakterize etmeye yeterli olacak ve operasyonel çeşitliliğin geniş bir yelpazesinde karşılaştırmalı bir analiz yapmaya imkan vermeye yeterli olacak seçilmiş parametreler muhafaza altına alınır. Daha istatistiksel olarak önemli sayıda vaka birikmeden önce eğilimler belirlenebilir. Ortaya çıkmakta olan eğilimler ve yatkınlıklar, limit değerleri aşmaya ilişkin tetikleme düzeylerine ulaşılmadan daha önce izlenebilir. İzlenen parametrelerin örnekleri; kalkış ağırlığı, flap konumu, sıcaklık, önceden planlanmış hızlara göre, kalkış esnasında uçak burnunun kalktığı hız (rotation speed) ve uçağın yerden kesildiği (lift-off) hız, rotasyon sırasında maksimum yunuslama oranı ve davranışı, iniş takımı içeri alma hızları, irtifalar ve ilişkin anlar verilebilir. Karşılaştırmalı analizlerin örnekleri de; yüksek kalkış ağırlıklarındaki yunuslama oranlarına göre, düşük kalkış ağırlıklarındaki yunuslama oranları, iyi hava koşullarındaki yaklaşmalara göre, kötü hava koşullarındaki yaklaşmalar, kısa pistlere inişlerdeki tekerlek dokunuşlarına göre uzun pistlere inişlerdeki tekerlek dokunuşları [25].

Olay incelemeleri

Kaydedilmiş veriler, rapor edilmesi zorunlu olan olaylar ve diğer teknik vaka bildiriminin takip altında tutulması için kıymetli bilgiler sağlar. Ölçüye vurulabilir kayıtlı veriler mürettebat tarafından olaydan sonra aktarılan sözlü bilgiler ve intibalara ilave olarak büyük yararlar sağlarlar. Kayıtlı veriler sistemin durumu ve performansına ilişki olarak sahih işarlar sağlarlar. Böylece kayıtlı veriler sebep sonuç ilişkisini tespit etmekte yardımcı olurlar. Kaydedilen verilerin yararlı olabileceği olaylara aşağıdaki örnekler verilebilir:

- Acil durumlar
  - Yüksek hızda vazgeçilmiş kalkışlar
  - Uçuş kontrol sorunları
  - Sistem arızaları
- Aşağıdaki gibi işarlar tarafından desteklenen yüksek pilot mahalli işyükü koşulları
  - Alçalmanın gecikmesi
  - Geç lokalizer ve/veya yaklaşma eğimi (glide slope) kesişmesi

- Belirli bir irtifanın altında büyük baş yönü değişimi,
- İniş konfigürasyonunun gecikmesi
- Kararsız ve acele edilmiş yaklaşmalar, yaklaşma yörüngesinden sapmalar
- Öngörülen operasyon limitlerinin aşılması
- Flap limit hızları
- Motor sıcaklık aşımı
- V hızları
- *Stall* başlangıç koşulları
- Vorteks izi rastlaşmaları, düşük düzeyde anlık rüzgar kesmesi, türbülans rastlaşmaları ve diğer dikey ivmelenmeler.

Kesintisiz uçuşa elverişlilik

Kesintisiz uçuşa elverişlilik işlevine yardımcı olmak için hem rutin veriler hem de olay verileri kullanılabilir. Örneğin, motor izleme programları çalışma verimliliğini belirlemek ve yaklaşan arızaları tahmin etmek için motor performans ölçümlerine bakar. Kesintisiz uçuşa elverişlilik örnekleri; motor itki seviyesi ölçümleri, uçak gövdesi sürükleme kuvveti ölçümleri, aviyonik ve diğer sistem performansı izleme, uçuş kontrol performansı, fren ve iniş takımı kullanımı olarak verilir.

Entegre emniyet analizi

Bir FDA programında toplanan tüm veriler merkezi bir emniyet veri tabanında tutulmalıdır. FDA veri tabanını diğer emniyet veri tabanlarına (olay raporlama sistemleri ve teknik arıza raporlama sistemleri gibi) bağlayarak, çeşitli bilgi kaynaklarına çapraz referans vermek suretiyle vakaların daha iyi anlaşılması mümkün hale gelir. Ancak, verileri, bilinen verilere irtibatlandırırken FDA verilerinin mahremiyetini korumak için özen gösterilmelidir. Entegre emniyet analizine örnek verecek olursak; sert bir inişin açıklaması; mürettebat raporu, FDA raporu ve mühendislik raporu ile birlikte sonuca ulaşır. Mürettebat raporu olayın bağlamını sağlar, FDA olaya niceliksel açıklama sağlar ve mühendislik raporu sonucu sağlar. Mevcut tüm emniyet verileri kaynaklarının entegrasyonu, operatörün emniyet yönetim sistemine (SMS-Safety Management System) operasyonun bütünsel emniyet sağlamlığı hakkında geçerli bilgiler verir [25].

4.6.3. FDA ekipmanı

FDA programları genel olarak uçuş verilerini elde eden, verileri analiz için uygun bir formata dönüştüren ve verileri değerlendirmede yardımcı olacak raporları ve görselleştirmeyi üreten sistemler içerir. Ekipmanın karmaşıklık düzeyi büyük ölçüde değişebilir. Ancak, tipik olarak, etkili FDA programları için aşağıdaki ekipman kabiliyetleri gereklidir.

- Geniş bir aralıktaki uçuş içi parametrelerin (irtifa, hava hızı, baş yönü, uçak durumu ve uçak konfigürasyonu gibi) verilerini elde etmek ve kaydetmek için uçakta yerleşik bir cihaz gerekir.
- Uçakta kaydedilen verilerin yer tabanlı bir işleme istasyonuna iletilmesi için bir araç gereklidir. Geçmişte bu işlem büyük ölçüde QAR cihazından bellek ünitesinin (bant, optik disk veya yarı iletken) fiziksel olarak taşınmasını içermekteydi. İlerleyen dönemde, transfer yöntemleri gerekli olan fiziksel eforu azaltmak için kablosuz teknolojileri kullanmaya başlamıştır.
- Tekli uçuşlardan ve/veya birikmiş formatta çoklu uçuşlardan elde edilen verileri analiz etmek için özel yazılım kullanarak, beklenen performanstan sapmaları belirleyen, okunmuş verilerin yorumlanmasına yardımcı olan raporlar üreten yer bazlı bir bilgisayar sistemi gereklidir.
- Tüm verileri entegre eden, uçuş içi koşullarında bir simülasyon olarak sunan, böylece gerçek vakaların görselleştirilmesini kolaylaştıran uçuş animasyon kabiliyeti için isteğe bağlı yazılım gereklidir.

4.6.4. Havadaki ekipmanlar

Modern cam-kokpit[1] ve fly-by-wire[2] hava araçları, daha sonraki analizler için bir kayıt cihazı tarafından bilgilerin elde edilebildiği gerekli dijital veri yolları (digital data buses) ile donatılmıştır. Daha eski teknolojili hava araçları ek parametreler kaydetmek üzere yeniden donatılabilir (retrofit). Ancak, daha eski (dijital olmayan) hava araçları için, geçerliliği olan

[1] Uçuş bilgilerini görüntülemek için geleneksel analog kadran ve göstergeler yerine, çok işlevli elektronik uçuş gösterge ekranları içeren uçak kokpitidir.
[2] Bilgisayardan girilmiş uçuş komutlarına karşılık gelen elektrik sinyallerini, kumanda yüzeyleri akçüatörlerine ileten uçuş kontrol sistemleri için genel kabul gören bir terimdir.

bir FDA programını desteklemek için yeterli parametrelerin kaydedilmesi pratik değildir. FDR cihazı tarafından kaydedilen zorunlu parametre sayısı, bir FDA programının çerçevesini belirleyebilir. Ne yazık ki bazı durumlarda, kaza incelemelerini desteklemek için kanunun gerektirdiği parametreler ve kayıt kapasitesi, etkin bir FDA programını desteklemek için yetersiz olabilir. Böylece birçok operatör, analiz için kolayca yüklenebilen (download) ek kayıt kapasitesi seçeneğini seçebilir.

QAR cihazları

QAR cihazları hava araçlarına yerleştirilirler ve uçuş kayıt verilerini, teyp kasetleri, optik diskler veya yarı iletken kayıt ortamı gibi düşük maliyetli ve yerlerinden çıkartılabilen ortamlara kaydeder. Bir dizi uçuştan sonra söz konusu kayıt ortamı hava aracından çıkarılıp alınabilir. Yeni teknolojiye sahip QAR cihazları, FDR cihazlarından çok daha büyük örnekleme oranlarına sahip olup 2000'den fazla parametreyi kaydedebilmektedir. Genişletilmiş veri kayıt çerçevesi, yer istasyonu analiz programlarından elde edilen çıktıların sahihliğini ve çözünürlüğünü büyük ölçüde artırmaktadır. QAR cihazının kayıt ortamını fiziksel olarak söküp çıkartmak suretiyle hava aracından yer istasyonuna taşınması işlemini ortadan kaldırmak üzere, yeni sistemler, hava aracı çıkış kapısı çevresine yaklaştığında o ana kadar kaydedilmiş bilgileri güvenli ortam sağlayan kablosuz sistemler aracılığıyla ilgili alıcı cihaza otomatik olarak indirirler. Bununla birlikte başka sistemlerde, hava aracı uçuş halindeyken kaydedilmiş olan veriler uçuş esnasında analiz edilirler. Bunun ardından, şifrelenmiş veriler uydu iletişimi kullanılarak bir yer istasyonuna iletilir. Filodaki hava araçlarının çeşitliliği, rota yapısı ve maliyet değerlendirmeleri, söz konusu verilerin hava araçlarından çıkartılıp alınması için en uygun maliyetli yöntemi belirleyecektir.

4.6.5. Yer istasyonunda tekrar oynatma ve analiz ekipmanı

Veriler, uçak kayıt cihazından, bu hassas bilgileri korumak için verilerin güvenli bir şekilde tutulduğu, yerde bulunan bir tekrar oynatma ve analiz bölümüne karşıdan yüklenir. Ağa bağlı kişisel bilgisayarlar dahil olmak üzere çeşitli bilgisayar platformları, kaydedilen verileri yeniden izlemek için gereken yazılımı barındırabilir. Yeniden oynatma yazılımları piyasada mevcut bulunurlar. Ancak, söz konusu bilgisayar platformu bugün günümüzde mevcut olan kayıt girdileri çeşitleriyle başa çıkmak üzere genellikle kayıt cihazı üreticileri tarafından sağlanan uygun önyüz arabirimleri (front-end interfaces) gerekmektedir. FDA

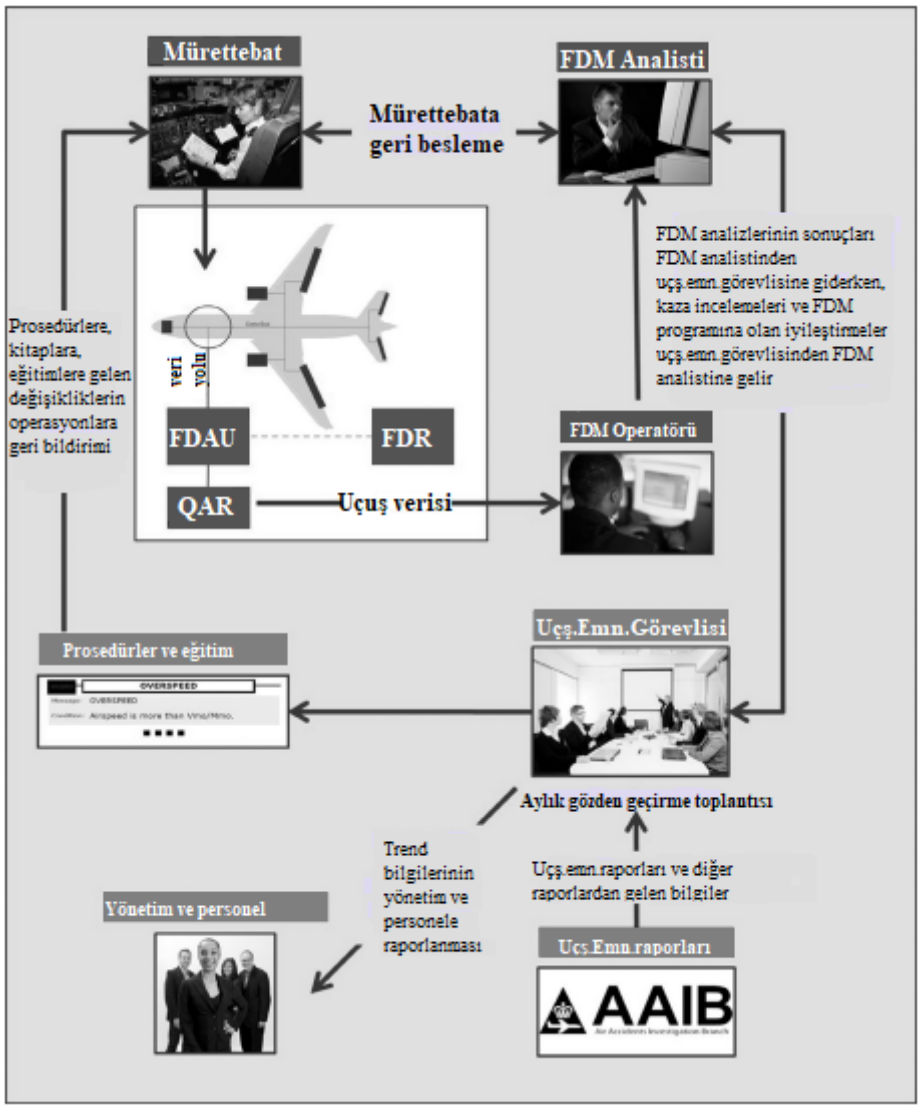
programları uzmanlaşmış analitik araçlar gerektiren büyük miktarlarda veriler üretirler. Piyasada bulunan bu araçlar, düzeltici eylem gerektiren durumları ortaya çıkarmak üzere uçuş verilerinin rutin analizlerini kolaylaştırır. Analiz yazılımı varsa, anormal durumları bulmak üzere, yüklenen verileri kontrol eder.

4.6.6. Uygulamalardaki FDA işlemi

Tipik olarak, operatörler FDA programının uygulamalarında kapalı döngü işlemini takip eder.

- Referans temeli oluşturulması: Başlangıçta operatörler, değişikliklerin tespit edilebildiği ve ölçülebildiği bir operasyonel parametre referans temeli oluştururlar. Örnek olarak kararsız yaklaşmaların oranı veya sert inişlerin oranı verilebilir.
- Olağandışı veya emniyetsiz koşulların vurgulanması: Kullanıcı, standart olmayan, olağandışı veya esas olarak emniyetsiz olan koşulların ne zaman oluştuğunu belirler. Bunu, kullanıcı söz konusu koşulları emniyet paylarının (margins of safety) temel referansı ile mukayese ederek belirler. Böylece farklılıklar ölçülebilir hale getirilir. Örnek olarak; belirli konumlarda kararsız yaklaşmalardaki (veya diğer emniyetsiz vakalardaki) artış verilebilir.
- Emniyetsiz eğilimlerin tanımlanması: Vakaların oluşma sıklığına bağlı olarak eğilimler belirlenirler. Söz konusu eğilimin sürmesi halinde, şiddetinin düzeyine ilişkin tahminle birleştirildiğinde, hangilerinin kabul edilemez olabileceklerini belirlemek için riskler değerlendirilir. Örnek olarak, yeni bir prosedürün uygulamasının yer yakın uyarı sisteminin (GPWS-Ground Proximity Warning System) uyarılarını neredeyse tetikleyen yüksek alçalma oranlarının artmasına yol açabilmesi durumu verilebilir.
- Risklerin hafifletilmesi: Kabul edilemez bir risk bir kere belirlendikten sonra, uygun risk hafifletme eylemlerine karar verilir ve uygulanır. Örnek olarak; yüksek alçalma oranlarına sahip olduğu bulununca, standart operasyon prosedürleri (SOP-Standard Operating Procedures) optimum/maksimum alçalma oranlarına ilişkin hava aracı kontrolünü iyileştirmek üzere değiştirilirler.
- Efektifliğin izlenmesi: İyileştirici eylem yürürlüğe konulduktan sonra bunun önceden belirlenmiş riski azalttığı ve bu riski başka bir yere transfer etmediği doğrulanacak şekilde, efektiflik izleme altına alınır. Örnek olarak; yaklaşma prosedürlerinde yapılan

değişikliklerin ardından, yüksek oranlı alçalmalara sahip olan hava alanlarındaki diğer emniyet önlemlerinin daha kötüleşmediğinin doğrulanması durumu verilebilir. Örnek bir FDA kapalı döngü işlemi Şekil 4.4'de gösterilmiştir.



Şekil 4.4. Uçuş verilerini izleme (FDA) döngüsü [15]

4.6.7. Analiz ve takip

FDA verileri genellikle aylık olarak derlenir. Veriler daha sonra belirli limit değerleri aşılmalarını, ortaya çıkmakta olan arzu edilmeyen eğilimleri tespit etmek ve bilgileri mürettebata dağıtmak için bir çalışma grubu tarafından gözden geçirilmelidir. Pilotun kullanma tekniklerinde aşikar zafiyetler varsa, mürettebatın kimliğini korumak üzere bilgilerde kimlik gizlenir. Belirli limit değerlerin aşılmaları ile ilgili bilgiler ilgili pilot ile

kişisel görüşülmesi için üzerinde önceden uzlaşılmış mürettebat temsilcisine iletilir. Mürettebat temsilcisi ilgili koşulları açıklığa kavuşturmak, geri bildirimi sağlamak ve pilotun olumlu ve cezasız bir şekilde tekrar eğitilmesi gibi uygun eylemler için öneri ve tavsiyelerde bulunmak üzere pilot ile gerekli iletişimi sağlar. Ayrıca bu mürettebat temsilcisi operasyon ve uçuş kitaplarına ilgili revizyonların işlenmesi, hava trafik kulesi ve havalimanı operasyon prosedürlerinde gerekli değişikliklerin yapılması vb. uygun eylemler için de önerilerde ve tavsiyelerde bulunur. İlave olarak, belirli limit değerleri aşılmalarını gözden geçirerek bütün vakalar veri tabanında arşivlenir. Bu veri tabanı, verilerin kolay anlaşılır yönetim raporlarında tasnif edilmek, geçerliliğini sağlamak ve sergilemek üzere kullanılır. İlerleyen zaman boyunca bu arşivlenmiş veriler, aksi taktirde fark edilmeden geçip gidecek olan ortaya çıkmakta olan eğilimlerin ve tehlikelerin genel bir görüntüsünü sağlayabilir. Bir filonun içi veya uçuşun belirli bir aşaması veya belirli bir hava alanı konumu gibi durumlarda, arzu edilmeyen bir eğilimin ortaya çıkmaya başlamasının fark edilmesi halinde, filonun eğitim dairesi bu eğilimi eğitim egzersizlerinin modifikasyonu ve/veya operasyon prosedürlerinin modifikasyonu gibi yollarla tersine çevirmek üzere gerekli önlemleri yürürlüğe koyar. Benzer şekilde operasyonun eylem gerektiren diğer alanlarında da bu veri yapılan eylemin efektifliğini doğrulamak üzere kullanılabilir. FDA programından öğrenilen derslerin bu şirketin emniyet geliştirme programlarına dahil edilmesi mümkün olabilir. Ancak FDA yoluyla elde edilen herhangi bir bilginin, herhangi bir eğitim veya tanıtım girişiminde kullanılmasından önce, kimlik gizliliğinin titizlikle sağlanması için dikkat sarf edilmesi gereklidir. Herhangi bir kapalı döngü işleminde olması gerektiği gibi, herhangi bir düzeltici eylemin etkililiğini değerlendirmek için düzenli takip yapılması gerekir. mürettebatın geri bildirim yapması, emniyet sorunlarının belirlenmesi ve çözümlenmesi için lazım olup, aşağıdaki sorulara cevap verilmesini içerir:

a. İstenen sonuçlar kısa sürede elde ediliyor mu?
b. Söz konusu sorun gerçekten düzeltildi mi, yoksa sistemin başka bir parçasına mı ötelendi?
c. Çözümün ardından yeni sorunlar ortaya çıktı mı?

Tüm başarılar ve başarısızlıklar, planlanan program hedefleri elde edilmesi arzulanan sonuçlarla karşılaştırılarak kayda geçirilmelidir. Bu karşılaştırma, FDA programının gözden geçirilmesi için esas oluşturacak ve gelecekteki programları geliştirmek için sağlam bir temel sağlayacaktır [25].

4.6.8. FDA takımı

Deneyimler, bir FDA programını yürütmek için gerekli olan takımın beş uçaklık küçük bir filo için bir kişiden, büyük filolar için ayrılmış kalabalık bir bölüme kadar değişen büyüklüklerde olabileceğini göstermiştir. Aşağıdaki açıklamalar, yerine getirilmesi gereken çeşitli işlevleri tanımlamaktadır. Bunların hepsi için de özel pozisyonların ihdas edilmesine ihtiyaç duyulmamaktadır. Örnek olarak, mühendislik bölümünün sadece yarı zamanlı destek sağlayacak olması verilebilir. FDA takımının aşağıdaki elemanlardan müteşekkil olması tavsiye edilir:

- Takım lideri: Takım liderleri hem yönetim hem de mürettebatın itimadını ve tam desteğini kazanmalıdır. Takım liderleri, yüksek düzeyde doğru bilgi bütünselliğine ve tarafsızlığa sahip oldukları herkes tarafından kabul edilen tavsiyeler yapmak üzere yönetimdeki diğer görevlilerden bağımsız hareket etmelidirler. Bu bireylerin iyi analitik, sunum ve yönetim becerilerine sahip olmaları gerekir.
- Uçuş operasyonları yorumcusu: Bu kişi genellikle şirketin yol ağını ve uçaklarını iyi bilen kadrolu bir pilot veya yakın zamanda emekli olmuş kıdemli bir kaptan pilot veya eğitmen olabilir. Takımın bu üyesinin standart operasyon prosedürlerini, hava aracı kullanım özelliklerini, hava alanları ve rotalara ilişkin derinlemesine bilgi sahibi olması, FDA verilerini güvenilir bir bağlamda çalışılmasını temin etmek için kullanılır.
- Teknik yorumcu: Bu kişi FDA verilerini, uçak operasyonunu teknik yönleri bakımından yorumlar ve güç grubu, hava aracı yapısı ve hava aracı sistemleri bölümlerinin özellik bilgilerine ve hava yolu tarafından kullanılan kullanımdaki diğer mühendislik izleme programlarına vakıf olurlar.
- Mürettebat temsilcisi: Bu kişi, filo veya eğitim yöneticileri ile FDA'nın vurguladığı koşullara müdahil olmuş mürettebat arasındaki irtibatı sağlar. Bu pozisyondaki kişinin iyi düzeyde insan ilişkileri becerilerine ve uçuş emniyeti eğitimi ile ilgili olumlu bir tutuma sahip olması gerekir. Bu kişi normal olarak pilotlar birliğinin bir temsilcisi olup vuku bulan vakanın tanımlayıcı verileri ile erişim kurmasına izin verilen yegane kişi olmalıdır. Bu mürettebat temsilcisinin sahip oldukları doğru bilgi bütünselliği ve yaptıkları sağlıklı yargılarla hem mürettebatın hem de yöneticilerin itimadını kazanmaları gerekir.
- Mühendislik teknik desteği: Bu kişi genellikle FDR sistemleri için zorunlu servis edilebilirlik gereklerinin gözetiminde yer alan bir aviyonik uzmanıdır. Takımın bu üyesi

söz konusu programı çalıştırmak üzere FDA ve ilgili sistemler hakkında bilgi sahibi olmalıdır.

- Uçuş emniyeti koordinatörü: Bu kişi, FDA bilgisini şirketin zorunlu veya dışarıya kapalı olay raporlama programı ve hat işlemleri emniyet denetimi (LOSA-Line Operations Safety Audit) diğer uçuş emniyeti izleme programları ile çapraz referanslaşma yaparak elde edilen tüm bilgiler için inanılır ve bütünleşik bir içerik oluşturur. Bu işlev, düzenli takibi yapılan incelemelerde tekerrürü azaltabilir.
- Kayıtları yeniden oynatma teknisyeni ve yönetici: Bu kişi, gün be gün sistemin işleyişinden sorumlu olup raporları ve analizi hazırlar. Bu kişi metodik bir tarzda genel çalışma ortamı hakkında bilgi sahibi olarak FDA programını çalışır tutar.

Tüm FDA takım üyelerinin, kendi ilgili veri analizi alanları için uygun eğitim veya deneyim sahibi olması gerekir. Her takım üyesinin FDA görevlerine düzenli olarak harcamak için gerçekçi bir zaman ayırması gerekir. İnsan kaynaklarının yetersiz olması halinde programın tamamı ortaya düşük bir performans koyacak ve hatta tümüyle başarısız olacaktır [25].

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Kazaya karşı dayanıklı, kullanımı zorunlu uçuş veri kayıt cihazı (FDR-Flight Data Recorder) ve kokpit ses kayıt cihazı (CVR-Cockpit Voice Recorder), bir kaza incelemesinin bütünleyici parçalarıdır. En büyük faydayı sağlayabilmeleri için bu cihazdaki verilerin uygun bir şekilde muhafaza edilmeleri ve belgelenmeleri gerekir. Bir vakanın hemen ardından kayıt cihazlarının konumları hızlı bir şekilde tespit edilmeli ve analizleri için derhal uygun bir tesise taşınmalıdırlar. Analizden maksimum faydayı elde etmek için cihazların içerikleri, vakanın vuku bulduğu kaza mahalline ilişkin olan kısmı ve kazaya dışardan gözlemci olarak katılımcı olanların katkıları kısmı da dahil olmak üzere vakayla ilgili tüm diğer verilerle birlikte nitelikli uzmanlar tarafından analiz edilmelidir. Kazanın oluş şeklini en etkili bir tarzda ortaya koyabilmek için kaza verilerinin zamanlıca ve verimli bir tarzda üzerinde çalışılmaları gerekir [11]. FDR sisteminde toplanan veriler, kazanın pilot hatası ve /veya rüzgar değişmesi (windshear) gibi harici bir faktör ve/veya bir hava aracı sistemi arızası vb. gibi sebeplerden kaynaklandığını belirleyebilmelerinde kaza inceleme uzmanlarına çok yardımcı olabilir. İlaveten bu şekilde toplanan verilerden hava aracı sistem tasarımının gelecekteki iyileştirmelerinde yararlanılabilir. Ayrıca bu toplanan verilerden, hava aracı bileşenleri ve yapısı yaşlandıkça ortaya çıkabilecek potansiyel sorunları öngörmek için yararlanılabilir. Bu potansiyel sorunların öngörülmesine bir örnek olarak, hava aracında monte edilmiş motorların uçuş saatleri arttıkça motor bakım koşullarının izlenmesinde FDR verilerinden yararlanılması verilebilir. Söz konusu verinin değerlendirilmesi, motorda bir arıza çıkmadan önce motorun değiştirilmesi kararının verilmesinde yardımcı olabilir [14]. Kaza incelemeleri sırasında yardımcı olabilecek pek çok değerli veri kaynakları vardır. Toplanan veriler; özellikle modern, elektronik sistemleri içeren hava araçlarında, arızalar, bakım durumu, sistemlerin işleyişi ve uçuş esnasında ortaya çıkan durumlar hakkında önemli ipuçları sağlayabilir. Etkili veri toplama programları, olay ve kaza önlenmesi yönünde önemli bir adım oluşturur. Proaktif veri kullanımının hem uçuş emniyeti hem de maliyet açısından faydaları bu veri kullanımının gelecekteki daha fazla gelişimini garanti altına alır. İlave olarak, teknolojik gelişmeler sürekli olarak hava aracının ve kokpit ortamının evrilmesini sağlayacak ve bir kaza inceleme sırasında verilere daha fazla güvenilmesine imkan sağlayacaktır. Daha önceleri insan insana karşılıklı görüşmeler yoluyla elde edilen bilgiler; günümüzde disk sürücülerinde, bilgisayar kartlarında ve taşınabilir ünitelerde saklanmaktadır. Kaza inceleme ve veri toplama teknikleri mevcut

teknoloji düzeyi ile başa baş gitmek için sürekli olarak iyileştirilmelidir. Teknolojinin en son düzeyi, verilerin insan etkileşimi olmadan doğrudan hava aracından bir yer istasyonuna kablosuz olarak transfer edilmesine imkan verir. Hava yolu şirketleri, önceden tanımlanan parametrelerin limit değer aşımlarını belirlemek üzere birikmiş yüzlerce saatlik uçuş verilerini ayıklayarak sadece gerekli parametreleri kaydeden otomatik yazılımlardan istifade etmektedirler [11].

Bu tez çalışmasında dördüncü bölümde incelenen karşılaştırmalı iki örnek kaza incelemesi ve analizi, uçak kazalarındaki "insan faktörlerinin" etkisini ve kazaların gelişimine nasıl katkıda bulunduğunu göstermektedir. Bir sivil iş jeti kazasında incelenen ilk örnekte kazanın ana nedeni, uçak operatörü şirketin CRM ilkesi ile ilgili standartlaşmış bilgileri ve eğitimi mürettebata önceden yeterince vermemiş olmasıdır. FDR ve CVR cihazlarının varlığı sayesinde, CRM prensibine dayanan mürettebat koordinasyonu düzeyinin yetersiz bulunduğu ve yardımcı pilotun kaptan pilotun uçağı *stall* durumuna getirdiğini fark ettiği halde düzeltmesine yardımcı olmakta yetersiz ve geç kaldığı tespit edilmiştir. Bu kazadan sonra uçak operatörü şirket, iş başında çalışan mürettebata yeterli düzeyde CRM eğitimi vermesi gerektiğini ancak bu kaza incelenmesinin sonuçlanmasından sonra fark etmiş bulunmaktadır [18]. Dördüncü bölümdeki ikinci örnek vakadaki kaza incelemelerinde ise, dört farklı kurulun kaza inceleme çalışmalarından sonra asli kaza sebebinin sadece spekülatif düzeyde ortaya konulabilmesi mümkün olmuştur. Bu sebeple, gelecekteki askeri eğitim uçuşlarında, T-37C eğitim uçaklarının ve diğer eğitim uçaklarının da FDR ve CVR cihazları ile donatılması sağlanmadıkça, olası kazaların gerçek sebeplerini net olarak bulmak ve düzeltmek için kesin etkili tavsiyeler yapılmasının mümkün olamayacağı değerlendirilmektedir [20]. Bu bağlamda dünya çapında mevcut askeri kargo uçak tiplerinin çoğunun, uçuş emniyetini daha da artırmak amacına hizmet etmek üzere FDR ve CVR cihazlarıyla donatılmış olduğu burada not edilmelidir [21]. Bu sebeple askeri eğitim uçağı kaza incelemesinin neticesinden çıkarılan ders, dünyada tüm askeri kurumların bütün eğitim uçaklarını, askeri kargo uçaklarına benzer bir tarzda FDR ve CVR cihazları ile donatmaları gereğine dikkat etmelerini tavsiye etmektir.

Uçakların aviyonik ve diğer sistemlerinde 1990'lardan itibaren daha gelişmiş ve daha karmaşık teknolojiler kullanılmaya başlanmıştır. Dolayısıyla bu sistemlerin ve teknolojilerin artan karmaşıklığı bunların kolayca anlaşılırlığını da azaltmıştır. Günümüzde, insan-makine arayüz ilişkisindeki bilinmeyenlerin her geçen gün artmakta olduğu fark edilmektedir.

Günümüzdeki kazaların çözülmesini uzun ve meşakkatli hale getiren husus da budur. Teknolojinin günümüzdeki kadar ileri olmadığı geçmiş yıllarda göz önüne alınan parametre (irtifa, hız, tork vb.) sayısının daha az olmasından dolayı herhangi bir kazadaki insan hatasını belirlemek çok daha kolay olabilmekteydi. Bu noktalardan hareketle alınması tavsiye edilen bazı önerileri şöyle sıralayabiliriz:

- Bir vakanın hemen ardından FDR ve CVR cihazlarının konumları hızlı bir şekilde tespit edilmeli ve analizleri için derhal uygun bir tesise taşınmalı ve bunlardan elde edilen uçuş verileri diğer deliller kararmadan analiz edilmeli ve yorumlanmalıdır [11].
- Kazaya sebebiyet veren hataların benzer durumlarda tekrarlanmasını önlemek amacıyla kaza raporlarının tüm dünya havacılık camiasında yaygın bir şekilde paylaşılması sağlanmalıdır.
- Kazaların en büyük sıklıkla *yaklaşma safhasında* ortaya çıktığı hatırlanarak, mürettebatın ineceği havaalanının uygun pistine yaklaşma planlarının her zaman o havaalanının ilgili koşullarına uyumlu olması sağlanmalıdır.
- Kaza önleme çalışmalarında en fazla ağırlık *insan faktörüne* verilmelidir.
- Eğitim eksikliklerinin giderilmesinin pek çok olası kazayı önleyebileceği düşüncesinden hareketle, *mürettebat kaynak yönetimi* (CRM) ile ilgili eğitimler verilmeli ve böylece mürettebatın uçuş esnasında kendi içlerinde daha etkili işbirliğine girmeleri sağlanmalıdır [18].
- Mürettebatın görev ve istirahat sürelerine dikkat edilmeli, ICAO'nun ilgili eki uyarınca yeterince istirahat etmeleri sağlanmalı ve yeteri kadar dinlenmeden uçuşa çıkmalarına izin verilmemelidir [11].
- Pilot panelindeki sistem arızalarını teşhis etmek ve üstesinden gelmek için, sensör sistemi arızaları ve alternatif uçuş aletleri kullanımı da dahil olmak üzere *iyileştirilmiş pilot eğitimi* sağlanmalıdır [22].
- Çoklu tehlikeler içeren olgular da dahil olmak üzere beklenmedik ve anormal koşulların ortaya çıkması halinde ve sistem operasyonel modlarıyla ilgili olarak, içerisinde bulunulan korunma koşullarının yaratabileceği sıkıntılı sonuçlar halinde, mürettebatın icraatının ne şekilde olacağına ilişkin *iyileştirilmiş mürettebat eğitimi* sağlanmalıdır.
- Bloke olmuş pitot tüpleri veya statik portlar ve sık kullanılan modun sensör arızaları da dahil olmak üzere, sensör arızalarını tespit edebilen, tanımlayabilen ve arızaların şiddetini azaltabilen *sensör bütünlüğü yönetim sistemleri* sağlanmalıdır [22].

- Çoklu tehlike koşulları altında sistemlere ve mürettebata iyileştirilmiş durumsal farkındalık veren *iyileştirilmiş algoritmalar ve ekranlar* sağlanmalıdır [22].
- Sistem arızaları, harici bozuntular ve mürettebat ve/veya otomatik uçuş sistemleri tarafından uygunsuz kontrol girdileri dahil olmak üzere çoklu tehlikeler altında uçuş emniyetini sağlayabilen *kendini çabuk toparlayan uçuş kontrol sistemi* sağlanmalıdır.
- *Stall* durumu da dahil olmak üzere çoklu tehlike koşulları altında, uçağın mevcut durumunun bozulması koşullarına ilişkin, kılavuzluk bilgisi sağlayan ve/veya bu koşullardan uçağı otomatik olarak çıkarabilen, *kendini çabuk toparlayan bozulma koşullarını düzeltme sistemi* sağlanmalıdır [22].

Daha ileri çalışmalar, gelecekteki potansiyel *uçuşta kontrol kaybına* (LOC-Loss of Control) yol açan tehlikelerin belirlenmesi ve *uçuşta kontrol kaybının* önüne geçilmesi ve kontrolün geri kazanılması için geliştirilecek geleceğin yarı otonom ve tam otonom sistemlerinin, zorlu şartlar altındayken bozulan işlevselliğini çabuk geri kazanabilmesinin (resilience) değerlendirilmesine dönük, *tehlikeler üzerine kurulu test senaryolarının* geliştirilmesi hususlarını içermelidir [22]. Bir zaman çerçevesi olmamakla birlikte gelecekteki çalışmalar, FDR ve CVR cihazlarının kaza mahallinden elde edilememesi veya elde edilse bile kaza esnasında ciddi hasar görmesinden dolayı veri kayıplarının yaratacağı kaza nedenlerinin belirlenmesi ve bu nedenlere bağlı olarak diğer ilgili hava araçlarındaki önemli uçuş emniyet bileşenlerinin kontrolünü, gerekli tadilat ve bakımını ve yeni hava trafik kontrol önlemlerinin uygulanmaya konulmasını geciktirmesi vb. olumsuz sonuçların üstesinden gelmek için, bir yer istasyonu ve bir uydu ile iletişim halinde olan uçağın uzaktaki yer istasyonuna direkt olarak veya bir uydu üzerinden dolaylı olarak, gerçek zamanlı kara kutu veri aktarımlarını ve aktarılan verilerin analizine yönelik sistemlerin geliştirilip kurulması hususlarını içermelidir.

KAYNAKLAR

1. Levine, H. B. and Marcos, S. (2004). *Aircraft flight and voice data recorder system and method,* US 6735505 B2.

2. National Transportation Safety Board. (2010). Annual Review of U.S. General Aviation Accident Data 2006; NTSB/ARG-10/01. *Washington, DC., USA*, 45.

3. Baber, E. (2007). *İnsan Faktörü Analizi ve Sınıflandırma Sistemi (HFACS) ve Kara Havacılık Kazalarına Uygulanabilirliği*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 7,13.

4. Bulut, A. *Kaza Teorileri ve Risk Yönetimi,* 1-2.

5. İnternet: Léonard de Vinci (1452-1519) - Planeur. (s.d.). Overblog. URL: http://tpeplaneurcele.overblog.com/leonard-de-vinci, Son Erişim Tarihi: 27.01.2020.

6. Inan, H.A. (2015). *CN-235 Nakliye Uçağı Bakım İşlemleri Sonrasında Uygulamak İçin Deneme Uçuşu Talimatlarının Geliştirilmesi,* Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 12-14.

7. Uçak Havacılık Uzay Mühendisliği Meslek Dalı Ana Komisyonu. (2007). İstatistiklerle Hava Taşımacılığı Kazaları. *Mühendis ve Makina,* 48(566), 1-2.

8. Ulaştırma Bakanlığı. (1985). *Sivil – Hava Araç Kazaları Soruşturma Yönetmeliği,*1-2.

9. International Civil Aviation Organization. (2001). *Aircraft Accident And Incident Investigation, Annex 13.* Montréal, Quebec, Canada, 10.

10. Aviation Safety Boeing Commercial Airplanes. (2017). Statistical Summary of Commercial Jet Airplane Accidents Worldwide Operations 1959–2016; Boeing. *Seattle, Washington, DC., USA*,3-22.

11. International Civil Aviation Organization. (2011). *Doc9756 AN/965 Manual of Aircraft Accident and Incident Investigation Part III: Vol. IV. (First Edition).* Montréal, Quebec, Canada, 43, 126-150, 489-505.

12. Nazeri, Z., Donohue, G. and Sherry, L. (2008). *Analyzing Relationships Between Aircraft Accidents and Incidents.* Paper presented at the International Conference on Research in Air Transportation, Fairfax, Virginia, USA.

13. İnternet: Cockpit Voice Recorder (CVR). (2020, Dec). *SKYbrary Aviation Safety*. URL: https://www.skybrary.aero/index.php/Cockpit_Voice_Recorder_(CVR), Son Erişim Tarihi: 16.02.2021.

14. İnternet: Flight Data Recorder (FDR). (2021, Jan). *SKYbrary Aviation Safety*. URL: https://www.skybrary.aero/index.php?title=Flight_Data_Recorder_(FDR), Son Erişim Tarihi: 26.02.2021.

15. Walker, G. (2017). Redefining the incidents to learn from: Safety science insights acquired on the journey from black boxes to Flight Data Monitoring. *Safety Science*, 99, 14-22.

16. Morcom, A. R. (1970). Flight Data Recording Systems. *Aircraft Engineering and Aerospace Technology*, 42(7), 12-16.

17. International Civil Aviation Organization. (2010). *Annex 6, Operation of Aircraft Part I, International Commercial Air Transport Aeroplanes. (Ninth Edition).* Montreal, Quebec, Canada: ICAO, 49,156-159.

18. Islamic Republic of Iran Civil Aviation Organization, Aircraft Accident Investigation Board. (2020). Final Report on Aircraft Accident Challenger 604, TC-TRB; CAO.IRI A961220 TC-TRB. *Tehran, Iran,* 4-45.

19. İnternet: Two Killed in Turkish Military Jet Crash. (2015). *Associated Press Fox News.* URL: https://www.foxnews.com/world/two-killed-in-turkish-military-jet-crash. Son Erişim Tarihi: 6.02.2019.

20. Topal, H. and Inan, H. A. (2020). A comparison of crash investigation of two aircraft, one with flight data recorder and cockpit voice recorder and the other, without them. *International Journal of Sustainable Aviation,* 6(1), 36-50.

21. Inan, H. A. and Aygün, C. (2016). Development of post maintenance flight test procedures for a short range cargo aircraft. *International Journal of Sustainable Aviation*, 2(2), 149-158.

22. Belcastro, C. M., Newman, R. L., Crider, D. A., Klyde, D. H., Foster, J. V. and Groff, L. (2016). *Aircraft loss of control: Problem analysis for the development and validation of technology solutions.* Paper presented at the AIAA Guidance, Navigation and Control Conference 2016, San Diego, California, USA.

23. İnternet: Honeywell works with Inmarsat to make black box in the cloud a reality. (2019, Mar) *Runway Girl Network.* URL: https://runwaygirlnetwork.com/2019/03/31/honeywell-works-with-inmarsat-to-make-black-box-in-the-cloud-a-reality. Son Erişim Tarihi: 02.08.2021.

24. İnternet: Flight Data Monitoring (FDM). (2019, Feb). *SKYbrary Aviation Safety. (s. d.).* URL: https://www.skybrary.aero/index.php/Flight_Data_Monitoring_(FDM). Son Erişim Tarihi: 09.03.2021.

25. International Civil Aviation Organization. (2006). *Doc 9859 AN/460, Safety Management Manual (SMM).* Montréal, Quebec, Canada: ICAO, 202-213.

26. International Civil Aviation Organization. (2010). *Annex 6, Operation of Aircraft Part III, International Operations Helicopters.* (Seventh Edition). Montréal, Quebec, Canada: ICAO, 45.



GAZİ GELECEKTİR...