

Havacılık Kayıt Cihazlarına Genel Bakış*

Dennis R. Grossi, National Transportation Safety Board

GİRİŞ

Kaza önlemeye yönelik çok önemli bilgiler sağlayabilen uçak ve yer bazlı pek çok havacılık kayıt cihazları bulunmaktadır. Ana bilgi kaynakları; zorunlu kara kutular, uçak hızlı geçiş veri kayıt cihazları ve hava trafik kontrolün (ATC), radar dönüşlerinin ve telsiz iletişimlerinin yer bazlı kayıtlarını içermektedir. Uçak sisteminin iç bellek araçları ve havayolunun operasyonel iletişim kayıtları gibi diğer kayıtlı bilgi kaynakları da kaza araştırmalarında çok önemli bilgiler sağlamaktadır. Bu cihazlar kalıcı bellek çiplerinden en son teknoloji ürünü uçuş kayıt cihazlarına kadar geniş bir yelpazede yer almaktadır. Zorunlu uçuş kayıt cihazları dışında, bu cihazlar temel olarak bakım gerektiren arızalar veya özel işletim gereksinimleri için kayıtlı bilgi sağlamak üzere tasarlanmıştır. Asıl amaçlarına bakılmaksızın, uçak kazalarını araştırmak için hepsi farklı formlarda kullanılmıştır. Bu makale, uçuş kayıt teknolojisi ve düzenleyici koşulların gelişimi üzerine bir bakış açısı, kaza önleme ve özellikle kaza/düşüş araştırmaları için kayıtlı bilgi türlerinin kapasiteleri ile sınırları hakkında havacılık topluluğuna bilgi verecektir.

KARA KUTULAR

Düzenleyici Koşullarla ilgili Gelişim

İlk Uçuş Veri Kayıt Cihazı

Kazadan etkilenmeyen kayıt cihazı ile ilgili ilk gereksinim, 1940'larda meydana gelen bir dizi uçak kazasıyla ortaya çıktı. Bu durum, Sivil Havacılık Kurulu'nu (CAB-Civil Aeronautics Board) kaza inceleme amaçlı bir uçuş kayıt cihazının gerekliliği için ilk Sivil Havacılık Düzenlemeleri'ni yazmaya zorladı. Bununla birlikte, kayıt cihazı gelişimi 2. Dünya Savaşı nedeniyle gecikti. Sonuç olarak; böyle bir cihaz bulunmamaktaydı ve CAB üç kez tarih erteledikten sonra, 1944 yılında düzenlemeleri iptal etti. Savaştan sonra, 1947 yılında, CAB benzer bir uçuş kayıt cihazı düzenlemesini yayınladı, ancak uygun bir kayıt cihazı halen bulunmamaktaydı ve düzenleme ileriki yıllarda tekrar iptal edildi.

Bunu izleyen 9 yıl boyunca, Sivil Havacılık Otoritesi (CAA-Civil Aviation Authority), CAB ve havacılık endüstrisi temsilcileri, yeni kayıt cihazı koşullarını geliştirmek için kayıt cihazı teknolojisi üzerine çaba sarf ettiler. Sonunda; 1957 yılında, uygun kayıt cihazlarının bulunduğu karar verdikten sonra, CAA uçuş kayıt cihazı düzenlemelerini 3. kez yayınladı. Bu düzenlemeler, 12,500 pounddan ağır

olan ve 25,000 feet (~7600 m) üstünde uçan tüm uçakların, 1 Temmuz 1958 tarihinden itibaren yüksekliğini, hava hızını, uçağın baş istikametini (burnunun gösterdiği yönün pusula derecesi) ve tırmanma ivmesini zamanın bir fonksiyonu olarak kaydeden bir kara kutu ile donatılmasını gerektiriyordu. Bu, ilk gerçek kara kutunun Birleşik Devletlere girişinin işaretiydi.

İlk Kokpit Ses Kayıt Cihazı (CVR Cocpit Voice Recorder)

CAB'nin uçuş ekibinin konuşmalarının, kaza inceleme amacıyla kaydedilmesini önermesinin sonucu olarak, Federal Havacılık İdaresi (FAA-Federal Aviation Administration), 1960'larda CVR'lerin fizibilitesiyle ilgili bir çalışma yürüttü. FAA, hava taşımacılık hizmetinde kullanılan yolcu uçaklarında bir CVR'nin kurulması için gerekli uçuş donanım onay kriterini ve işletim kurallarını belirledi. Yürürlük tarihi; tüm türbinli uçaklar için 1 Temmuz 1966 ve tüm dört pistonlu motorlar içinse 1 Ocak 1967 idi.

1972 Uçuş Veri Kaydedicisi (FDR Flight Data Recorder)

Kural Değişikliği

FDR gereksinimleri, 10 Aralık 1972'ye kadar hemen hemen hiç değişmeden kaldı. Bu tarihte kurallar, 30 Eylül 1969 tarihinden sonra tip sertifikası

*Journal of Accident Investigation dergisinin sonbahar 2006 sayısından çevrilmiştir. Çeviren : Nilgün K. ÇERVATOĞLU

alan yolcu uçakları için daha genişletilmiş parametrelili sayısal uçuş veri kayıt (DFDR) sistemini gerektirecek şekilde değiştirildi. Genişletilmiş parametre gereksinimleri, var olan parametrelere ek olarak; yunuslama (pitch) ve yuvarlanma (roll) davranışı, her bir motor için itme kuvveti, flap konumu, uçuş kontrol girdileri veya kontrol yüzeyi konumu, yanall ivme, her bir motor için itme kapaklarının konumu gibi parametreleri kapsamaktaydı. Maalesef, Boeing 747'yi dahil etmek için geriye dönük olarak yapılan bu kural değişikliği, Boeing 707, 727 ve 737 ve McDonnell Douglas DC-8 ve DC-9 gibi 1969 yılından önce yayınlanmış tip sertifikalarına sahip olan uçakları etkilemedi. Bu yüzden, bu eski tip uçakların var olan ve yeni üretilen versiyonları, 1957 yılında konulan aynı FDR kuralları altında işletilebildi. Uçuş kayıt cihazı koşulları, kural 1987 ve 1988'de değiştirilene kadar aynı kaldı.

1987 ve 1988 Uçuş Kayıt Cihazı Kural Değişiklikleri

1957 yılında orijinal FDR düzenlemelerini izleyen 30 yıl boyunca, Ulusal Taşımacılık Güvenlik Dairesi ve selefi CAB, kaza araştırmacılarının gereksinimlerini karşılamak için FAA'ya

daha geliştirilmiş kayıt cihazı standartları talep eden çeşitli güvenlik önerileri yayınladı. Öneriler şu şekildeydi:

1. Orijinal ibre tipli osiloskop kayıt cihazını, sayısal kayıt cihazıyla değiştirin.
2. Var olan yolcu uçaklarında, 5 parametrelili FDR'leri, 6 ek parametre ile yeniden uyarlayın.
3. Yeni üretilen yolcu uçakları için parametre gereksinimlerini artırın.
4. 18,000 feet (~5,500 m) altında uçuş ekibinin "sıcak mikrofon" (sıcak, her zaman açık ve CVR tarafından kaydedilen anlamında) kullanmasını gerekli kılın.
5. Sıcak mikrofon kanallarını CVR'lere kaydedin.
6. CVR ve FDR'leri, bazı hava taksileri [bir helikopterin yerden 1000 feet (~300 m) yüksekliği geçmeyen uçuşu] ve özel uçaklar için gerekli kılın.

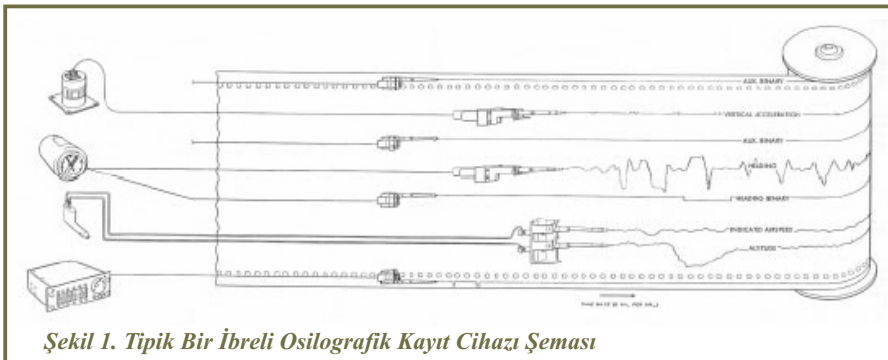
FAA, sürekli olarak önerileri uygulamamanın ana nedeninin maliyet olduğunu belirtti.

1980'lerin başında meydana gelen bir dizi kazanın ardından, FAA 1987 ve 1988 yıllarında uçuş kayıt cihazı kural değişikliklerini yayınladı. Bu kural değişiklikleri şöyleydi:

1. 26 Mayıs 1989 tarihi itibarıyla osilografik ibre tip FDR'yi, sayısal kayıt cihazlarıyla değiştirin.
2. Ekim 1969 tarihinden önceki tip onaylı uçaklar için zorunlu parametre sayısını, yunuslama ve yuvarlanma davranışı, boylamsal ivme, her bir motor için itme kuvveti ve kontrol sütunu veya kontrol yüzeyi konumunu ekleyerek artırın. (İlk yürürlük tarihi olan 26 Mayıs 1994, 26 Mayıs 1996'ya ötelendi.)
3. 11 Ekim 1991 tarihinden sonra üretilen yolcu uçaklarının (20 veya daha fazla yolcu), sayısal formatta 28 parametreyi kaydetmeleri gereklidir.
4. Var olan yolcu uçaklarının (20 veya daha fazla yolcu), sayısal formatta 28 parametreyi kaydedecek bir sayısal veriyolu (bus) ile donatılmaları gereklidir.
5. 10-19 yolcu taşıma kapasitesinde ve Ekim 1991 tarihinden sonra üretilen tüm çok motorlu türbinli hava taksilerinin, 17 parametrelili FDR'ye sahip olmaları gereklidir.
6. CVR gereksinimlerini, iki veya daha fazla yolcu taşıma kapasitesinde ve iki pilot gerektiren çok motorlu türbinli uçakları içine alacak şekilde genişletin.
7. Uçuş ekiplerinin, 18,000 feet altında var olan sıcak mikrofon sistemlerini kullanmaları gereklidir.

1997 Uçuş Veri Kaydedicisi Kural Değişiklikleri

İki ölümcül Boeing 737 kazasının (United uçuş 585, Colorado Springs, Temmuz 1989 ve USAir uçuş 427,



Şekil 1. Tipik Bir İbrelili Osilografik Kayıt Cihazı Şeması

Pittsburg, Eylül 1994) ardından, Güvenlik Dairesi, FDR parametre gereksinimlerini tekrar inceledi ve sonuç olarak FAA'dan aşağıdaki güvenlik önerilerini talep etti:

1. Ekip uçuş kontrol girdi kayıtlarına ve kontrol yüzeyi hareketlerinin sonuçlarına odaklanan yolcu uçaklarının çoğu için ek parametreler gereklidir ve gerekli uyarlamalar 1 Ocak 1998 tarihi itibarıyla tamamlanmalıdır.
2. 1 Ocak 1996 tarihinden sonra üretilen ulaşım uçaklarında, parametre gereksinimleri artırılmalıdır.
3. Tüm Boeing uçakları, 1995 sonu itibarıyla, yanıl ivme, ekip uçuş kontrol girdileri ve oluşan kontrol yüzeyi hareketlerini kaydedecek FDR parametreleriyle acil olarak donatılmalıdır.

FAA buna, Ağustos 1996'da bir önerilen kurallar tebliği ve 18 Ağustos 1997'de son kuralı yayınlamakla yanıt verdi. Son kural genel olarak güvenlik önerileriyle ilgili gereksinimleri karşılamasına rağmen, yürürlük tarihleri Güvenlik Dairesi'ninkine göre oldukça gevşekti. Ek olarak, FAA; Boeing 737'lerin, 1995 yılı sonuna kadar acilen uyarlanması önerisi konusunda aynı görüşte değildi. Bununla birlikte, son kural; hava ulaşımında uçuş kontrol girdilerinin ve kontrol yüzeyi konumunun kaydını gerekli kıldı. Son kural şunları gerektirmekteydi:

1. Ekim 1969'dan önce tip onaylı ve 11 Ekim 1991 tarihinden sonra

üretilmiş yolcu uçakları, 18 Ağustos 2001 tarihli kuralda listelenen ilk 18-22 parametreyi kaydetmelidir.

2. 11 Ekim 1991'den sonra ve 18 Ağustos 2001'den önce üretilen yolcu uçakları, 18 Ağustos 2001 tarihli kuralda listelenen parametrelerden en az ilk 34 tanesini kaydetmelidir.
3. 18 Ağustos 2000 tarihinden sonra üretilen yolcu uçakları, kuralda listelenen en az ilk 57 FDR parametresini kaydetmelidir.
4. 18 Ağustos 2002 tarihinden sonra üretilen yolcu uçakları, kuralda listelenen parametrelerden en az ilk 88 tanesini kaydetmelidir.

Spesifik parametre gereksinimleri Tablo 1'deki gibidir.

9 Mart 1999

NTSB ve TSB Uçuş Kayıt Cihazı

Önerileri

Kanada Ulaşım Güvenlik Kurulu (TSB) ve Güvenlik Dairesi, 2 Eylül 1998'de meydana gelen İsviçre Havayoluna ait MD-11 kazasının ardından, 9 Mart 1999 önerilerini geliştirmek için birlikte çalıştılar. New York'tan Cenevre'ye düzenli olarak yapılan uçuş, ekibin kokpitte duman olduğunu bildirmesinin ardından Halifax'a çevrildi. Uçak; Peeg's Cove, Nova Scotia yakınlarında denize düşerek, 229 yolcu ve mürettebatın ölümüne neden oldu. Uçak suya düşmeden yaklaşık 6 dakika önce bilgilerin kesilmesinden dolayı, CVR ve FDR'daki verilerin olmayışı araştırmalara engel oldu.

İsviçre Havayolları kazası, uçuş kayıt cihazlarına güç sağlayan elektriğin kesilmesi nedeniyle, uçuş kayıt cihazı bilgilerinin kaybı ve sonucunda kaza ile olayların araştırılmasının yapılamaması da başka bir hikayenin konusudur. Bununla birlikte, kayıt cihazı ve güç kaynağı teknolojilerindeki yenilikler, uçuş kayıt cihazının 10 dakika daha çalışmasına yetecek kadar güç sağlayan bağımsız güç kaynaklarının gelişimine yol açtı. Ek olarak, kombine ses ve veri kayıt cihazlarının bulunması, yeni üretilen uçaklarda iki kombine kayıt cihazının takılmasını olanaklı hale getirdi. Bunlardan biri; sinyallerin ve güç kaynağının mekanik ve elektrik kesintisi olasılığına karşı kokpitin yakınına, ikinci kayıt cihazı ise kaza sonrasında sağlam kalma şansını artırmak için pratik olarak uçağın en kış tarafına yerleştiriliyor. Yakınlarda tanıtılan bölgesel jet (RJ), Embraer-170, baş ve kış tarafına "kombi" kayıt cihazları takılan ilk uçak.

İsviçre Havayollarının yaptığı kazanın sonucu olarak, Güvenlik Dairesi ve TSB; 9 Mart 1999 tarihinde aşağıdaki güvenlik önerilerini yayınladı:

1. 1 Ocak 2005 tarihinden itibaren, uçakların CVR ve bölge mikrofonunu, güç kesintisinden sonra 10 dakika süreyle çalıştırabilecek bağımsız güç kaynağı donanımlı 2 saatlik bir katı durum CVR takılmalıdır.
2. 1 Ocak 2003 tarihinden itibaren, yeni üretilmiş tüm uçaklar; biri pratik olarak olabildiğince kokpite

Tablo 1. Uçak Karakutuları İçin Parametre Gereksinimleri

SON KURAL- Bölüm 121.344
Yolcu Uçakları için Kara Kutular

11 Ekim 1991 ve Öncesinde üretilenler		11 Ekim 1991 ve 18 Ağustos 2000 tarihleri arasında üretilenler		Yeni üretilenler	
Yürürlük Tarihleri: Bir sonraki ağır bakım 18 Ağustos 1999'dan sonra ama 20 Ağustos 2001 tarihini geçmeyecek		Yürürlük Tarihi: 20 Ağustos 2001		18 Ağustos 2000'den sonra üretilenler	19 Ağustos 2002'den sonra üretilenler

FDAU Olmayan FDAU*

1. Zaman
2. Basınç Yüksekliği
3. Ölçülen Hava hızı
4. Uçuş Başı (Heading)
5. Yunuslama
6. Yuvarlanma
7. Mik. Şifreleme
8. İtme (her bir motor)
9. Otomatik Pilot statüleri
11. Yatay İvme
12. Yunuslama Dalış Kontrol Girdisi
13. Yatay Kontrol Girdisi
14. Direksiyon Pedal Konumu
15. Yunuslama Kontrol yüzeyi
16. Yatay Kontrol Yüzeyi
17. Sapma Yüzeyi
- 18 Yatay İvme**

1 Temmuz 1997 tarihi itibarıyla, 30 koltuktan daha fazla 929 uçak: 727, 737, DC-8, DC-9, F-28

- 20.
- 21.
- 22.

1 Temmuz 1997 tarihi itibarıyla, 30 veya daha fazla koltuklu 1950 uçak, 704 turbo pervaneli A-320, 747, 757, 767, DC-10, F-25, MD-50, ATR -42, EMB-120, SAAB-340, DHC-8

yakın, diğeri pratik olarak olabildiğince kış tarafında iki kombine ses ve veri kayıt cihazı olan CVR ve FDR ile donatılmış olmalıdır.

3. U.S. Federal Düzenlemeler Kodunun 14 numaralı başlığını; CVR'ler, FDR'ler ve kombine uçuş kayıt cihazlarının, “en yüksek güvenilirliğe sahip bağımsız

jeneratörlerden güç alması gerektiği” şeklinde değiştirin.

19 Mart 1999 tarihli bir mektupta FAA; önerileri değişiklik yapmadan kabul etti ve yaz sonuna kadar bir önerilen kurallar tebliği yayımlayacağına (NPRM) söz verdi. Bununla birlikte, söz verilen tebliğ Şubat 2005 tarihinde yayımlanmadı ve

Güvenlik Dairesi bu zaman aralığında ek uçuş kayıt cihazları önerileri hazırladı. Bu öneriler; uçakların da dahil olduğu, bir kayıt cihazı zorunluluğu bulunmayan bazı hava taksisi kazalarında kayıtlı verinin olmayışı, bir dizi uçak kazasında kokpit resimlerine ihtiyaç duyulması ve bazı FDR parametreleri için örnek oranlarının artırılması ihtiyacı sonucunda hazırladı.

Bu öneriler şu koşulları gerektiriyordu:

1. Bir resim kayıt cihazı teknik standardı (TSO) yayınlanarak, şu anda bir uçuş kayıt cihazı gerektirmeyen, 121, 135 ve 91.bölümlerde yer alan, var olan ve yeni üretilen türbinli motorlarda bir resim kayıt cihazı kurulmasını zorunlu hale getirilmelidir.
2. Bölüm 121, 135 veya 91'de yer alan altı veya daha fazla yolcu taşıma kapasitesindeki tüm türbinli uçaklar, 2 saatlik CVR ile donatılmalıdır.
3. Bölüm 121, 125 ve 135 'te, var olan ve yeni üretilen uçaklar, tüm kokpitin renkli görüntüsünü 2 saat süreyle kaydetme kapasitesinde, çarpmaya karşı korumalı bir görüntü kaydedicili CVR ve FDR ile donatılmalıdır.
4. Tüm yolcu uçağı FDR'lerinin, her bir parametrenin tüm dinamik aralığı içerisinde, parametrenin tam ve anlaşılabilir zaman tarihçesini belirlemeye yetecek bir frekans ta, hassaslık gereksinimlerini karşılayan değerleri kaydetme kapasitesinde olması gereklidir.

Şubat 2005 NPRM'si; Güvenlik Dairesi'nin uçuş kayıt cihazlarıyla ilgili, CVR süresinin 2 saate çıkarılması, FDR parametreleri için örneklem oranının artırılması, CVR ve FDR'lerin fiziksel olarak ayrılması gerektiğini belirten önerilerine hitap etmekteydi. NPRM ayrıca bazı helikopterlerde, 10 dakikalık bağımsız güç kaynağı içeren, artırılmış

güç kaynağı güvenilirliği ve donatıldığında, veri hattı iletişimlerini sağlayan bir kombine CVR/FDR'ye de olanak tanımaktaydı. NPRM; yeni üretilen yolcu uçaklarında, kokpit görüntü kayıt cihazları veya ön ve arkaya monte edilen FDR/CVR kayıt cihazlarına yönelik değildi.

UÇUŞ KAYIT CIHAZLARININ GELİŞİMİ

Uçuş kayıt cihazlarının izleri, motorlu uçuşların başlangıcına kadar gidiyor. Wilbur ve Orville Wright kardeşlerin tarihi ilk uçuşları, ilk uçuş veri kayıt cihazı tarafından belgelendi. Bu gelişmemiş cihaz; kanat devrini, havada alınan mesafeyi ve uçuş süresini kaydediyordu. Charles Lindbergh'in uçağı 'Spirit of St.Louis'de de bir uçuş kayıt cihazı bulunuyordu. Lindbergh'in kayıt cihazı bir parça daha karmaşıktı. Barometrik basınçtaki veya yükseklikteki değişiklikleri, dönen bir kağıt silindir üzerine işaretleyen bir barograf çalıştırıyordu. (bakınız Şekil 2).



Bu ilk kayıt cihazlarının yaşamasının nedeni; kazaları değil, tarihi olayları kaydetmek için

tasarlanmış olmalarıydı. İlk pratik kara kutu, 1953 yılına dek ortaya çıkmamıştı. Bu cihaz; metalik tabaka üzerine her bir parametre için ayrı osilografik izler üretmek için STYLİ kullanmıştı. Zaman; tabakanın hareketleriyle belirleniyordu ki bu, tipik olarak saatte 6 inç'lik bir oranda ilerliyordu. Araştırmacılar; kayıtlı bilgiyi bir mikroskop aracılığıyla çizgileri optik olarak okuyarak ve sonra çizgilerin mühendislik birimlerindeki referans hattına olan uzaklığını dönüştürerek takip ediyorlardı. Bu işlem çok zaman alıcıydı ve önemli miktarda okuyucu yorumu gerektiriyordu.

FDR'lerin kurulumlarını, Temmuz 1958 yılı itibarıyla zorunlu kılan 1957 düzenlemeleri, metal tabakalı osilograf tekniğini (bakınız şekil 3 ve 4) kullanan diğer üreticileri de harekete geçiren bir FDR pazarı yarattı. Düzenlemeler, TSO C-51 ile uyumlu olma zorunluluğunu da getirdi. Bu TSO menzil hassasiyetini, örneklem aralığını tanımlamakta, kaydedilecek parametreleri (yükseklik,

havahızı, uçağın baş hareketi, dikey ivme ve zaman) yazmakta ve 100 g'lik çarpma şokuna ve 1100°C alev kuşatmasında 30 dakika dayanması için gereklilikleri belirtmekteydi. TSO ayrıca uçuş kayıt cihazlarının üç ana tipini de tanımlıyordu.

Tip 1: Çıkarılmayan bir kayıt cihazı, her yere konabilir

Tip 2: Çıkarılmayan bir kayıt

cihazı, minimum 15 dakika yanma testine tabi tutulur, gövde ana kanat yapısından ve yakıt tanklarından 1/2 kanat dip kirişinden daha uzak alanlara konulamaz

Tip 3: Çıkarılabilen bir kayıt cihazı, minimum 15 dakika yanma testi, her yere konabilir.



Şekil 3. Erken Lockheed Model 109

İlk kayıt cihazlarının tümü Tip 1 tasarımıydı ve çoğu kokpit bölgesine veya ana dışı çarka monte edilmişti. Maalesef bu yerleşimler; kayıt cihazlarını, kayıt ortamının bozulmasına veya kısmen zarar görmesine yol açan yanma ve darbe kuvvetlerine maruz bıraktı. Tip 2 ve Tip 3 kayıt cihazları, hiçbir zaman ticari hava taşıtlarına takılmazlar; bununla birlikte, Tip 3 çıkarılabilir kayıt cihazları, bazı askeri uçaklarda kullanılıyor.

1960'ların başında CAB, FAA'ya; FDR'lerin darbe kuvvetlerine ve yangına karşı, ek korumalar gerektiren bir dizi öneri sundu ve ayrıca kayıt ortamına maksimum koruma sağlamak için kayıt cihazlarının, gövdenin kış kısmına yerleştirilmelerini önerdi.

Sonuç olarak; FAA, kayıt cihazlarının pratik olarak olabildiğince kış tarafta yerleştirilmelerini belirten bir kural değişikliği yayınladı ve TSO C-51 performans standartlarını C-51a olarak güncelledi. Güncellenen TSO şartnameleri, darbe şok testini 100 g'den 1.000 g'ye çıkardı ve statik ezilme, darbe nüfuziyeti ve uçak akışkanını daldırma testlerini de başlattı. Yangın testinde değişiklik yapılmadı. Ne yazık ki, her iki TSO da bir örnek ve tekrarlanabilir test koşullarını sağlayacak, yeterli bir test protokolüne sahip değildi.

Birleşik Devletlerde tabakalı kayıt cihazları geliştirildiği sırada, İngiltere'de kayıt ortamı olarak manyetik çelik telin kullanıldığı kayıt cihazları geliştiriliyordu. Telli kayıt cihazları, kayıt yöntemi olarak sayısal darbe kodlamayı kullanan ilk cihazlardı. Telli kayıt cihazının sağlam tasarımı, ilk zamanlarda onu oldukça güvenilir kıldı. Telli kayıt ortamı darbe sonrası yangınlardan etkilenmemesine rağmen, darbe şokuna karşı dayanıklı değildir. Tel çoğunlukla birkaç parçaya bölünmekte ve karışmaktadır. Bu da onu, uygun düzende tekrar bir araya getirmeyi zor ve sıkıcı bir iş yapmaktadır.

1940'ların sonunda Fransızlar; veriyi, ışığa duyarlı bir kağıt üzerine kaydeden, fotografik sistemin kullanıldığı bir FDR geliştirmişlerdi. Bunun dezavantajları; yanabilir ve ışığa maruz kaldığında kayıtların silinme eğiliminde olmasıydı.

Kokpit Ses Kayıt Cihazı (CVR)

CAB'nin önerilerine yanıt olarak, FAA; 1960 yılında uçuş ekibinin konuşmalarının kaza incelemelerinde kullanılmak üzere kaydedilmesine yönelik bir fizibilite çalışması yürüttü. Kokpit ortamının gürültü düzeyi, 1960'lı yılların kayıt teknolojisine oldukça büyük sorunlar çıkarmasına rağmen, çalışma ekip konuşmalarının kaydının yapılabilir olduğunu gösterdi. Başlangıçta aşağıdaki ekipman kapasiteleri önerildi:

1. Uçuş ekibinin yer hizmetleri ve uçak içi iletişim sistemindeki konuşmaları, hem iletileni hem alınanı kaydedin. Ayrıca, kokpit içinde, bu iletişim araçlarıyla yapılmayan diğer konuşmaları da kaydedin. Bir seferde, bir kanal üstünde, birden fazla mürettebatın kaydına olanak sağlamak için yeterli kanal bulundurun.
2. Ekibin son 30 dakikadaki konuşmalarını elinizde bulundurun.
3. Bir kaza durumunda, kayıt cihazının durdurulmasını sağlayın. Böylece son 30 dakikalık konuşma silinmez veya üstüne kayıt yapılmaz.
4. Kayıt cihazının, TSO-C51'de gereken çarpma koşullarına dayanıklı olduğunu garanti edin.
5. Kaydın kokpitin gürültülü ortamında anlaşılabilir olmasını ve istenmeyen gürültülerin uygun ekipmanla filtrelenebilmesini sağlayın.
6. Kayıt cihazının, diğer iletişim ve dahili haberleşme sistemlerinden farklı olarak, ekibin seslerini

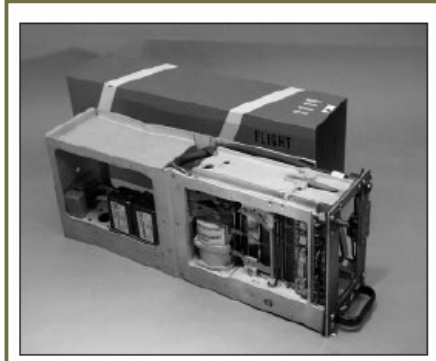
mikrofonsuz olarak kaydetmesini sağlayın.

7. Kayıt cihazının düzgün çalıştığını ekibe bildirin.

Sonuç olarak FAA; CVR'lerin tüm yolcu uçaklarında kullanımının zorunlu olduğu kurallar ve kaza sonrası çıkan yangına dayanıklılık ve ekipman onay standartlarını içeren TSO C-84 standardını yayınlamıştır.

Manyetik Bant Uçuş Kayıt Cihazları

1960'ların sonunda CVR'lerin ve 1970'lerin başında DFDR'lerin (Sayısal Uçuş Veri Kayıt Cihazları) ortaya çıkması; manyetik bantın, 1980'lerin sonunda katı durum uçuş kayıt cihazları çıkarana kadar, kayıt ortamı olarak seçilmesine yol açtı. Cihaz üreticileri, çok çeşitli bant ve bant aktarıcılar kullandılar. En yaygın kullanılanlar; Mylar, kapton (alüminyum tozu kaplı polyamid folyo) ve metalik bantlar oldu. Bant aktarıcılarının çeşidi ise daha

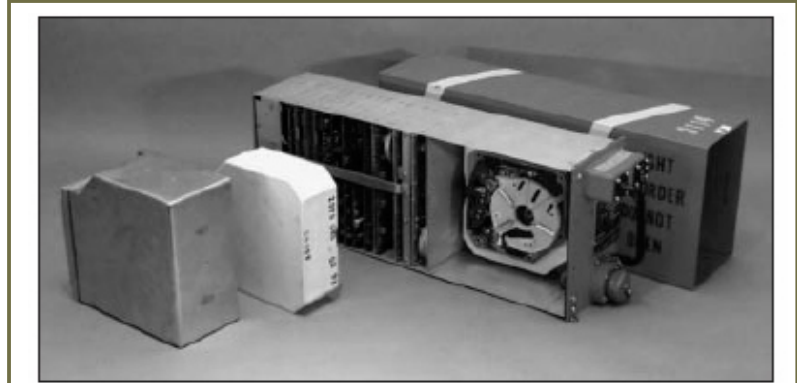


Şekil 4. Sunstrand Model 542 FDR, 1/2 ATR Uzun Format

fazlaydı; düzlemedeş makaralı, eşeksensli makaralı, sonsuz döngü makara paketleri ve sonsuz döngü rasgele depolama gibi tasarımlar kullanılmaktaydı.

Bant CVR'ler; 30 dakika boyunca dört kanaldan ses ve DFDR 25 saatlik veri kaydı yapmaktaydı. CVR'ler ve FDR'ler, sonsuz döngülü kayıt paterninde en eski veri üstüne en yeni veriyi kaydetmekteydi. Şekil 5'te gösterilen DFDR bant aktarıcı ve koruyucu kabı, 1960'ların CVR'lerinden uyarlanan, sonsuz döngülü bir gerçek takım tasarımı.

Manyetik bant uçuş kayıt cihazlarının tümü, metalik bant kullananlar da dahil, kaza sonrası oluşan yangın sırasında ısıl hasara karşı hassas bulundular. TSO'lar yüksek şiddette yangın testleri



Şekil 5. Fairchild Model F800 DFDR, 1/2 ATR Uzun Format

Tablo 2. İlk Uçuş Kayıt Cihazları Çarpma/Yangın Dayanıklılık Standartları

	TSO C84 CVR Gereksinimleri	TSO C-51 FDR Gereksinimleri	TSO C-51a FDR Gereksinimleri
Yangın	30 dakika süreyle kayıt cihazının %50'sini 1100°C aleve tutma	30 dakika süreyle kayıt cihazının %50'sini 1100°C aleve tutma	30 dakika süreyle kayıt cihazının %50'sini 1100°C aleve tutma
Darbe Şoku	100 g	100 g	5 ms için 1000 g
Statik Ezme	Yok	Yok	Her ekseninde 5 dakika için 5.000 pound
Akışkana Daldırma	Yok	Yok	24 saat süreyle uçak akışkanlarına (yakıt, yağ vb) daldırma
Suya Daldırma	48 saat süreyle deniz suyuna daldırma	36 saat süreyle deniz suyuna daldırma	30 gün süreyle deniz suyuna daldırma
Nüfuziyet Direnci	Yok	Yok	¼ inç çaplı temas noktasıyla 10 feet yükseklikten 500 pound damlatma

•1 pound 4,45 N, 1 inç ≈ 25,4 mm, 1 feet ≈ 0,3m

gerektirmelerine rağmen, ayrıntılı bir test protokolünün olmayışı, yeterli bir tasarımdan daha düşük olanların da onaylanmasına olanak verdi. Ek olarak; yaşanan deneyimler, manyetik bantlı uçuş kayıt cihazlarının uzun süreli yangına maruz kaldığında en dayanıksız olduğunu gösterdi. Ayrıca; metalik bantlar, darbe şokuna karşı dayanıksız bulundu. Şok sırasında, yay gerilimi serbest kalıyor, bant gevşeyerek kopma eğilimine giriyor ve bantın daha fazla zarar görmesiyle veri kaybına neden oluyor.

Sayısal Kayıt Yöntemi

DFDR ve onun türdeş kayıt cihazları, hızlı erişimli kayıt cihazları, (QAR Quick Access Recorder) hemen hemen aynı zamanda ortaya çıktı. DFDR'ler ve QAR'ler, aynı kayıt tekniklerini kullanıyor; ama adından da anlaşılacağı üzere, HEK hızlı erişilebilir ve yüklenebilir. İlk QAR sistemleri, modelinin çoğu zorunlu DFDR sistemlerinden çok daha fazla parametre kaydediyor. Zorunlu olmayan kayıt cihazları gibi QAR'ler, bazıları oldukça büyük kazalardan sonra sağlam kalsa da çarpma ve darbe sonrası yangında sağlam kalabilecek şekilde tasarlanmamışlardı.

DFDR ve QAR'lerin çoğu, değişik sensörler ve DFDR arasında bir arayüz sağlamak için uçuş verisi sağlama birimine (FDAU- Flight Data Acquisition Unit) ihtiyaç duymaktadır. FDAU sensörlerden aldığı analog sinyalleri, DFDR tarafından kaydedilecek uygun bir seri veri akışına çoklatılacağı sayısal sinyallere dönüştürüyor. Endüstri standartları; veri akışının formatını, bant bazlı DFDR'lerin büyük çoğunluğu için saniyede 64-12 bit veri sözcüğü olarak kabul ediyor. Bant DFDR'lerin kayıt kapasitesi, bantın uzunluğuyla sınırlı. İlk jenerasyon büyük gövdeli uçaklar için bant DFDR'lerin kapasitesi yeterli iken, Boeing 767 ve Airbus A320 gibi sayısal uçakların kullanılmaya başlamasıyla kapasitesi yetersiz hale geldi.

Sayısal Havacılık Sistemleri

1980'lerin başında sayısal havacılık sistemlerinin ticari olarak kullanılmaya başlanması, DFDR ve QAR'lerde bulunacak bilgi miktarında da önemli artışlar sağladı. Sayısal havacılık; aynı zamanda sistemler arasında sayısal veriyi taşıyan sayısal veriyollarını da (bus) gündeme getirdi. Bu, çok büyük miktarda

kritik uçuş ve sistem bilgisinin basitçe veriyollarına girilerek, DFDR ve QAR'ler tarafından kullanılmasını sağladı. Sayısal veriyollarının ortaya çıkması, aynı zamanda sayısal FDAU'ları (DFDAU) da gündeme getirdi. FDAU ve DFDAU aynı fonksiyonu yerine getiriyor. Aradaki tek fark; DFDAU'nun, veriyolları ile analog sensörler arasında arayüz kurabilmesidir.

Katı Durum (Solid-State) Uçuş Kayıt Cihazları

1980'lerin sonunda katı durum uçuş kayıt cihazlarının ortaya çıkması, uçuş kayıt cihazlarının evriminde çok önemli ilerlemelere yol açtı. Uçuş kayıt cihazlarında katı durum bellek araçlarının kullanımı, kayıt kapasitesini genişletti, çarpma/yanığına karşı dayanıklılığı artırdı ve cihazın güvenilirliğini geliştirdi. Şimdi; saniyede 25612 bit veri sözcüğüne veya manyetik bantlı DFDR'lerin dört katı kapasitede, 2 saatlik CVR'ler ve DFDR'lere sahip olmak mümkün. Dayanıklılık konuları; yıllardır kaza araştırmacıları ve kayıt cihazı endüstrisi arasındaki yakın işbirliği sonucu geliştirilen yeni çarpma/yanığın

Tablo 3. Günümüzde Geçerli Olan Uçuş Kayıt Cihazları Çarpma/Yanığın Dayanıklılık Standartları

	TSO C 123a (CVR) ve C 124a (DFDR)
Yangın (Yüksek Şiddetli)	Cihazın tamamı 30 dakika süreyle 1110 °C aleve tutulmakta (ED56 test protokolü kullanıldığında 60 dakika)
Yangın (Düşük Şiddetli)	10 saat süreyle 260 °C fırın testi
Darbe Şoku	6.5 ms için 3400 g
Statik Basma	Her eksende 5 dakika 5,000 pound
Akışkana Daldırma	24 saat süreyle uçak akışkanlarına daldırma (yakıt, yağ vb)
Suya Daldırma	30 gün deniz suyuna daldırma
Nufuziyet Direnci	¼ inç çaplı temas noktasıyla 10 feet mesafeden 500 pound damlatma
Hidrostatik Basınç	20,000 feet derinliğine eşdeğer basınç uygulama

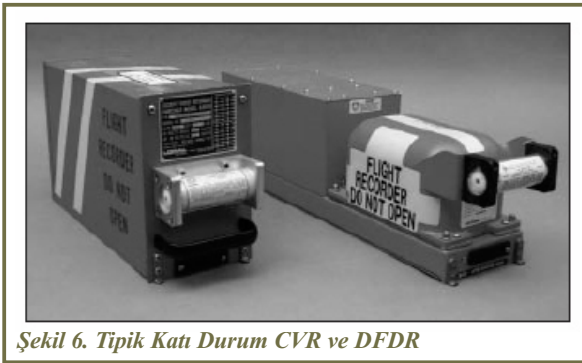
• 1 pound 4,45 N, 1 inç ≈ 25,4 mm, 1 feet ≈ 0,3m

dayanılabilirlik standartlarıyla tanımlandı (bakınız tablo 3). Katı durum kayıt cihazlarında hareketli parçaların olmayışı, cihaz güvenilirliğini önemli ölçüde artırmıştı.

Gelecekte Uçuş Kayıt Cihazı

Kapasiteleri Gereksinimleri

Güvenlik Kurulu'nun; FAA'ya, 9 Mart 1999 tarihli öneri mektubunda belirtildiği gibi, TSO C123a ve C124a



Şekil 6. Tipik Katı Durum CVR ve DFDR

standartlarına konan iki kombinasyonlu ses-veri kayıt cihazları, ayrı CVR ve DFDR'lerin yapamayacağından daha fazla bilgi sağlayacak. Bir kayıt cihazının, uçağın burnuna ve diğerinin kuyruğa yerleştirilmesi; faciaların yakalanma olasılığını artıracaktır. Ön tarafa monte edilen cihaz, kokpite ve elektronik bölüme yakın olacaktır ki; bu da sinyal kaybı olasılığını azaltmaktadır. Kayıt cihazına bitişik bağımsız güç kaynağı ile 10 dakikalık bir ek, uçuş sonuna kadar kayıt cihazının çalışma ve kritik veriyi kaydetme olasılığını büyük ölçüde artıracaktır.

Bir sonraki nesil kombinasyon uçuş kayıt cihazlarının, klasik ses ve veri parametrelerinden çok daha fazlasını kaydetmesi gerekecektir. FAA'nın, Şubat 2005 uçuş kayıt cihazı ile ilgili önerilen kurallar tebliği (NPRM), eğer

uçak veri bağlantı iletişimlerini kullanacak şekilde donatılmışsa Pilot Veri Bağlayıcı Kontrolörünün (CPDL-Controller Pilot Data Link) kaydını da gerektiriyor. Video teknolojisindeki son ilerlemeler, video kaydının da çok uzak olmayan bir gelecekte ayrı bir olasılık olarak değerlendirileceğini gösteriyor. Uluslararası Sivil Havacılık Organizasyonu (ICAO) Uçuş Kayıt Cihazları Paneli, video teknolojisinin spesifik teknik durumunun saptanacağı noktaya eriştiğini beliriyor. Sivil Havacılık Ekipmanı Avrupa Organizasyonu (EUROCAE), yakın zamanda önerilen teknik standart düzeni C176 tebliğini içine alan, görüntü kayıt cihazı standardı, Uçak Görüntü Kayıt Sistemlerini çok önceden yayındı.

HAVA TRAFİK KONTROL RADAR VE SES KAYITLARI

Hava trafik kontrolün (ATC) yer bazlı radar ve telsiz iletim kayıtları, uçak iletişimi ve konum zaman tarih bilgisini sağlamaktadır. FAA; kontrolörler ile pilotlar arasındaki tüm radyo iletişimlerini ayrıca kontrolörler arasındaki sabit hat iletişimlerini, kaydediyor. Havayolu Trafik Kontrol Merkezleri (ARTCC); Birleşik Devletler, Kanada ve Meksika kısımlarının bütün radar takibini sağlamaktadır. Ek olarak, çoğu ATC havaalanı radar tesisleri de kayıt yapmaktadır.

ATC İletişim Kayıtları

Kontrolörler ile pilot arasındaki 2 yönlü telsiz iletişimlerinin ve kontrolörler arasında sabit hattan yapılan

iletişimlerin kaydı, 30 gün süreyle saklanıyor. Herhangi bir kaza veya olay olduğunda, olayın orijinal kayıtları alınarak, inceleme için alıkonulabilir; aksi takdirde, kayıt ortamı tekrar kullanılacak ve bilgiler kaybolacak.

ATC iletişim kayıtları, araştırmacılara çok önemli bilgiler sağladı. CVR donanımı bulunmayan uçak örneklerinde, bu kayıtlar; uçuş ekibiyle kurulan bağlantının tek kaydını sağlıyorlar ve araştırmacılar için çok önemli olan geri plan seslerine de (örneğin rüzgar sesi, rotor hızı, kokpit uyarı sesleri) sahipler. Ayrıca; kayıt anormalliklerinden bağımsız bir zaman referansı sağlamak için ses iletişimleriyle bir zaman kodu da kaydediliyor.

ATC ve Diğer Radar Kayıtları

Radar dönüşlerinin konum koordinatlarını, zamanı ile varsa uçağın ilettiği yükseklik ve kimlik bilgisinin kaydedilmesiyle elde edilen radar verisi, uçak konum zaman tarihi bilgisini sağlayabiliyor. Yükseklik ve kimlik bilgisi, radar dönüşlerini de kuvvetlendiren, uçağa takılı bir transpondör (radyo sinyallerine otomatik cevap veren radyo alıcısı/vericisi) tarafından üretiliyor.

Radar antenin dönüş hızı, dönüşler arasındaki örneklem aralıklarını belirleyecektir. Havaalanı yaklaşma radar antenleri, bir tam dönüşü 4.8 saniyede yaparken; ARTCC dakikada 5-6 devir arasında dönüyor. (bu 10-12 saniyede radar dönüşü üretmektedir). Yaklaşma radarı, konum koordinatlarını aralık ve azimut (yan açı) değerlerde kaydederken, ARTCC tarafından kaydedilen en hassas konum koordinatları enlem ve boylamlardadır.

Her ikisi de transpondörün ürettiği yükseklik değerlerini kaydediyor.

Askeri ve özel radar tesisleri, benzer konum zaman tarih bilgisi sağlayabiliyor. Askeri Havadan Uyarı ve Kontrol Sistemleri (AWACS) ile donanma gemisi radar veri bilgisi de kaydedilmektedir ve istendiğinde araştırmacılara veriliyor.

ATC Kayıtlarının Kaza Araştırmacıları Tarafından Kullanımı

ATC kayıtlı verilerin önemi bir kaza veya olay durumunda belirlenmektedir. Aerodinamik yalpalama ve kontrol kaybı gibi çok dinamik koşulları içeren kaza ve olaylarda, sadece ATC verisi ile değerlendirme yapmak zordur. ATC verisi araziye kontrollü iniş gibi daha az dinamik kazalarda, veya FDR ve CVR verisiyle birlikte kullanıldığında daha anlamlıdır.

ATC, FDR ve CVR kayıtlarının ortak bağlantısı çok hassas bir yerel zaman referansı sağlayabilmektedir. Bu, kritik olabilir çünkü FDR ve CVR'nin sadece görel zamanı kaydetmesi gereklidir ve yerel zaman referansı bir ATC tesisinden diğerine farklılık gösterebilmektedir. ATC radarı ve FDR verisi yükseklik zaman tarihçelerini karşılaştırarak ve ATC iletişim kayıtları çeşitli ATC tesisleri ve CVR ve FDR tarafından kaydedilen telsiz transmisyonu zaman tarihçeleriyle bağlantılandırılabilir.

Bir zaman referansına ek olarak, ATC kayıtlı bilgisi ayrıca, özellikle performansla ilgili kazalarda önemli olan bir yer iz referansı da sağlamaktadır. Radar uçuş rota verisi, yükseklik, hava

hızı ve uçuş yönü gibi FDR parametreleri ve uçak ivme parametreleriyle birleştirildiğinde bir rüzgar modeli geliştirilebilir. Bu, özellikle rüzgar makası, türbülans, yandan esen rüzgar gibi dinamik meteorolojik koşulları içeren kaza ve olaylarda yararlı olmaktadır. ATC radar verisi özellikle birden fazla uçak olduğunda, uçağın görel konumunu değerlendirmede yararlı olmaktadır. Havada meydana gelen çarpışmalar ve zayıf türbülans çarpışmaları ile ilgili araştırmalar bu bilgiye bel bağlamaktadır.

Kayıtlı radar verisi kullanıldığında, önemli doğruluk ve çözünürlük sınırları göz önüne alınmalıdır. Doğruluk sınırları bilinmektedir ve yer izi hesaplarında etkisi göz önüne alınmalıdır. 4.7-12 saniye arası örneklem aralıkları, kaydedilmiş radar verisinin kullanımını önemli ölçüde sınırlamaktadır.

KALICI BELLEK ARAÇLARI

Modern uçak işletim ve bakım için gittikçe artan sayıda mikroişlemci, tabanlı elektronik aletler kullanıyor. Sonuç olarak; uçak mürettebatının sefer veritabanı kayıtları, elektronik kontrol aletlerinin ürettiği sistem hata mesajları ve sistem statü mesajları gibi bilgileri depolamak için kalıcı bellek (NVM) ile donatılıyor. Genelde elektronik olarak silinebilir, salt okunur bellek (EEROM) olarak bilinen bu aletler; güç kesintileri süresince geçici bilgiyi geçici süreyle depolamayı sağlıyorlar. 'Kalıcı' terimi; sisteme güç verilsin ya da verilmesin, depolanan bilginin ulaşılabilir olduğu anlamına geliyor

Kaza araştırmacıları için NVM önemli bir bilgi kaynağıdır. Bununla birlikte; NVM, çarpma ve yangına karşı korumalı olmadığından, bir kaza sonrasında sağlam kalıp kalmayacağına bir garantisi yoktur. NVM'lerin; önemli sayıda olaydan, çarpma ve çarpma sonrası yangından sağlam kurtulduğu görülmüştür.

Hasar görmemiş NVM sistemlerinden bilginin alınması, sisteme güç verip bilginin okunması veya yüklenmesi kadar basittir. Hasarlı birimler; birimin uzmanlar tarafından sökülerek, özel ekipman ve yazılımlar yardımıyla bilginin alınmasını gerektirebiliyor.

NVM'den bilginin alınması için gerekli olan teknik uzmanlık ve çaba miktarı, genel olarak hasarın miktarı ve sistemin karmaşıklığı tarafından saptanıyor. Bilgiyi alma prosesindeki ilk adım; hasarın miktarını saptamak için sökülmiş birimin görsel muayenesidir. Bilgiyi kurtarma; basitçe hasarlı konnektörü değiştirerek veya işe yarar durumdaki birime bellek aleti içeren bir devre kartı yerleştirerek mümkün olabilir. Bununla birlikte, normal tasarım gereksinimlerinin üstünde darbe şoku aldığından şüphelenilen birimlere güç uygularken, aşırı dikkat gösterilmelidir. Fark edilmeyen bir kısa veya açık devre, depolanan verinin kaybına yol açabiliyor.

Örnek: Lauda Air, Uçuş Ng004, 26 Mayıs 1991

26 Mayıs 1991'de, Lauda Havayolları'nın NG004 sefer sayısı

uçuşunda, Boeing 767 tipi bir uçağın, Suphan-Buri Bölgesinde (Tayland) düştüğü ölümcül kaza, NVM'nin önemini gösterdi. Uçak; 24,000 feet yüksekliğe tırmanırken, manevra yaptığı sırada bir aksaklık olmuş ve sonrasında uçak ormanlık alana düşmüştü. FDR manyetik bant kayıt ortamı, çarpma sonrası çıkan yangında bozulmuş ve hiçbir bilgiye ulaşamamıştı. Bununla birlikte; CVR tarafından kaydedilen mürettebat komutlarından, kontrolün kaybedilmesinden hemen önce, motorun itme gücünü ters çeviren kapaklarda bir problem olduğu anlaşıldı.

NVM'de depolanan hata mesajlarının alınması için, her iki motorun elektronik motor kontrol (EEC) birimleri, uçak enkazından alınarak; üretici firmanın Windsor Locks'daki fabrikasına getirildi. EEC'ler, çeşitli darbe şok işaretleri göstermiştir. Sonuç olarak; NVM içeren EEROM'ler devre kartından söküldü ve eş bir laboratuvar test birimine takıldı. Normal bir hata mesajı yüklemesi gerçekleştirildi ve daha sonra veri üreticinin uygun bir yazılımıyla işlemden geçirildi.

Her EEC hata mesajı üretildiğinde, aşağıdaki bilgiler elde edildi ve NVM'de depolandı:

- Tanımlayıcı hata mesaj kodları
- N1 (yüksek basınçlı kompresör dönme hızı), P2 (fan girişindeki toplam basınç), Mach sayısı, sıcaklık (soğuk bağlantı dengelemesi) değerleri
- Geçen saatler içerisinde hata zamanı
- Uçuş ve rota kayıtları

Alınan veriler, 95 uçuşa yayılan son 390 saatlik operasyondan hata bulucu mesajlar içermekteydi. İtme gücünü ters çeviren kapakların kumandasız açılmasına maruz kalan sol motordaki EEC'ler; hatalı itme kapakları, yardımcı yükseklik, hava hızı ve FDR verisinin kaybıyla önem kazanan, ana referans değerlerini sağlayan motor itme değerleriyle ilgili önemli miktarda bilgi sağladı. Kaza uçuşu sırasında hiçbir hata kaydetmeyen sağdaki EEC; az miktarda ek bilgi sağladı.

SONUÇ

Havacılık topluluğu; 1940'lı yılların başından beri, ticari havacılığın gelişiminin; halkın güveninin kazanılmasına ve bu güvenin sürdürülmesine, her havacılık kazasının olası nedeninin, hızlı ve doğru bir şekilde saptanmasına bağlı olduğu inancındaydı. Ayrıca; havacılık kazalarının doğasının, araştırmacılara kaza nedeninin belirlenmesinde ve benzer kazaların olmasını önlemede gerekli olan bilgiyi verecek kayıt cihazlarına gereksinim duyduğu açıktır.

Kaza araştırmacıları; ilk uçuş kayıt cihazlarının üretildiği 40 yılı aşkın süre önce, cihazların güvenlik potansiyeline hayran kalmışlardı. Bununla birlikte; bu ilk cihazlar tarafından sağlanan bilgi sınırlıydı ve çoğunlukla da kötü kalitedeydi. Araştırmacılar ne olduğu konusunda en iyi saptamayı yapabilirlerdi; ama çok yüksek bir kesinlikle neden olduğunu belirleyemezlerdi.

Uçuş kayıt teknolojisi, gelişen ticari havacılık endüstrisine ve buna bağlı olarak kaza araştırmacılarının ihtiyaçlarına çok hızlı bir şekilde uyarlanmalıydı. Kayıt cihazı teknolojisindeki en önemli değişiklikler, 1970'lerin başında; sayısal veri cihazlarının ortaya çıkmasıyla oldu. DFDR'ler, CVR'ler ve ATC radarları gibi diğer kaydedilmiş veriler tarafından sağlanan bilginin miktarı ve kalitesi, kaza araştırmacılarına gerçeklerin, koşulların ve bir olayı çevreleyen ayrıntıların peşine düşme fırsatını verdi. Sayısal cihazların ortaya çıkışı, kaydedilen verilen kullanımını da kolaylaştırdı.

1980'lerde tanıtılan sayısal havacılık ve kumandanın kontrol yüzeyine mekanik bağlantı yerine elektrikle iletildiği teknolojiler (fly+bywire), araştırmacılara yeni fırsatlar sağladı. Daha önce elde edilemeyen pek çok bilginin kaydına ve kurtarılmasına fırsat veren bu yeni teknoloji, bazı yerleşik araştırma tekniklerini ortadan kaldırdı. Elde edilebilen bilginin miktarı, ilk DFDR'leri boğdu. Bununla birlikte; katı durum kayıt cihazlarının gelişimi, dayanıklılık ve güvenilirliği artırırken, kayıt cihazının kapasite sorununu da çözdü.

Uçuş kayıt cihazlarının geleceği umut vaat ediyor. Kayıt cihazı ve uçak sistemlerindeki gelişmeler, kazaları önlemede uçuş verisinin kullanımı için daha fazla fırsat sunmalarının yanı sıra, kokpit ve veri bağlantı mesajlarının video görüntülerini kaydeden tekniklerin ortaya çıkmasına da olanak verecektir.