

MODERN YOLCU UÇAKLARINDA
UÇUŞ YÖNETİM SİSTEMİNE (FMS) GİRİLEN
MALİYET KATSAYISI (COST INDEX) ANALİZİ

Erdoğan DELİPİNAR
Yüksek Lisans Tezi

Anadolu Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Sivil Havacılık Anabilim Dalı
2001

**MODERN YOLCU UÇAKLARINDA
UÇUŞ YÖNETİM SİSTEMİNE (FMS) GİRİLEN
MALİYET KATSAYISI (COST INDEX) ANALİZİ**

Erdoğan DELİPİNAR
Yüksek Lisans Tezi

Anadolu Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Sivil Havacılık Anabilim Dalı
2001

**MODERN YOLCU UÇAKLARINDA
UÇUŞ YÖNETİM SİSTEMİNE (FMS) GİRİLEN
MALİYET KATSAYISI (COST INDEX) ANALİZİ**

Erdoğan DELİPİNAR
Yüksek Lisans Tezi

Anadolu Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Sivil Havacılık Anabilim Dalı

Haziran – 2001

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Can ÖZDEMİR

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

Erdoğan DELİPİNAR'ın Yüksek Lisans Tezi olarak hazırladığı "Modern Yolcu Uçaklarında Uçuş Yönetim Sistemi'ne (FMS) Girilen Maliyet Katsayısı (Cost Index) Analizi" başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

Üye (Danışman): Yrd. Doç. Dr. Can ÖZDEMİR

Üye: Prof Dr. Abdurrahman KARAMANCIOĞLU

Üye: Yrd. Doç. Dr. Ergün KAYA

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 08.08.2001 tarih ve
25/6 sayılı kararıyla onaylanmıştır.

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

**MODERN YOLCU UÇAKLARINDA
UÇUŞ YÖNETİM SİSTEMİNE (FMS) GİRİLEN
MALİYET KATSAYISI (COST INDEX) ANALİZİ**

Erdoğan DELİPİNAR

**Anadolu Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Sivil Havacılık Anabilim Dalı**

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Can ÖZDEMİR

2001, 91 sayfa

Büyük bir rekabet ortamının yaşandığı havayolu taşımacılığında karlılığın arttırılmasında en büyük etkenlerden birisi de giderlerin azaltılmasıdır. Uzun bir süre bu giderlerin büyük oranda harcanan yakıtla bağlı olduğu düşünülmüş, fakat daha sonra, uçuş süresinin de bu giderleri büyük ölçüde etkilediği görülmüştür. Bu sebeple, sadece yakıt maliyetini ele alarak bir uçuşun maliyetini hesaplamak hatalı bir yaklaşım olur. Uçuş süresine bağlı bu giderlerin de hesaplamalara katılması gerekir. Bununla birlikte uçuş süresine bağlı maliyetlerin analizi, yakıt maliyetinin hesaplanmasına göre çok daha karmaşıktır.

Saatlik uçuş maliyetini minimum seviyede tutmak için “Maliyet Katsayısı (Cost Index)” kavramı geliştirilmiştir. Her havayolu şirketinin maliyet politikası farklı olduğu için kullanılan maliyet katsayısı değeri de şirketler, uçak tipleri ve hatta uçuş hatları arasında farklılık göstermektedir. Türk hava taşımacılığı sektöründe

yapılan ön araştırmada görölmüştür ki, havayolu şirketleri böyle bir analiz yapıp, kendi şirketlerinin maliyet yapısına ve kendi uçuş hatlarına uygulamak yerine, uçak tiplerine göre belirlenmiş hazır katsayıları kullanmaktadırlar. Bunun sebeplerinden bir tanesi de konuyla ilgili olarak detaylı bir çalışma yapılmamış olması ve Türkçe kaynak bulunmamasıdır.

Bu çalışmada maliyet katsayısının nasıl hesaplandığı ve etki eden faktörlerin neler olduğu incelenmiştir.

Anahtar kelimler: Maliyet katsayısı, Uçuş Yönetim Sistemi, Uçuş maliyeti, Uçuş saatine bağlı maliyet, Yakıt maliyeti.

ABSTRACT

Master of Science Thesis

COST INDEX ANALYSIS

ERDOĞAN DELİPİNAR

Anadolu University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Civil Aviation Program

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Can ÖZDEMİR

2001, 91 pages

One of the factors to increase the profits of an airline is to decrease direct operating costs (DOC). For many years it was assumed that the main factor effecting the direct operating costs was fuel cost, but now it is proven that flight time is an important factor on direct operating costs. By that reason, it is not a correct approach to take into account only fuel cost to calculate direct operating cost. Time related costs should be taken into account too. On the other hand, time related cost analysis are very complex compared to fuel cost analysis.

A “Cost Index” coefficient is now being used to find the best compromise between fuel cost and time related cost. As every airline has its own cost policy, the cost index used can be altering between airlines and also between different aircraft types and flight routes. It is noticed during first study of this thesis that, airlines use a constant cost index related to an aircraft type rather than they analyse their cost structure and apply the results to their own company policy.

One of the other reason for this thesis is that there is no document in Turkish concerning cost index analysis.

In this thesis, the cost index and main factors effecting it, are being analysed.

Keywords: Cost index, Flight Management System, Direct flight cost, Time related cost, Fuel cost.

TEŞEKKÜR

Çalıőmalarım süresince beni yönlendiren ve bana yardımcı olan danışmanım Sayın Yrd. Doç. Dr. Can ÖZDEMİR'e, gerekli bilgilere ulaşmamda bana yardım eden, sürekli yanımda olan ve beni destekleyen sevgili arkadaşlarıma sonsuz saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xii
SİMGELER DİZİNİ	xiii
1. GİRİŞ	1
2. UÇUŞ YÖNETİM SİSTEMİ	5
2.1 Giriş	5
2.2. AREANAV (R.NAV) Sistemi	6
2.2.1. Prensip yapısı	6
2.2.2. Atalet sistemleriyle pozisyon belirleme (Tahmini seyrüsefer)	11
2.2.3. Radyo sistemleriyle pozisyon belirleme (Bağımlı seyrüsefer)	11
2.2.4. R.NAV'ın Kullanılması	13
2.3. Performans Yönetim Sistemi	15
2.3.1. Genel tanımlar	15
2.3.2. PMS'in yapısı	17
2.4. Otomatik Uçuş Sistemi (Auto Flight System – AFS)	21
2.4.1. Otomatik Uçuş Sisteminin yapısı	22
2.5. FMS'in Amacı	27
2.6 FMS Yapısı ve Sistem Elemanları	30
2.6.1. Uçuş planı	32
2.6.2. Yatay düzlem fonksiyonları (Lateral Functions)	33
2.6.3. Dikey düzlem fonksiyonları (Vertical Functions)	35
2.6.4. Performanslar	35
2.6.5. FM göstergeleri	36
2.6.6. Veri saklama veya veri tabanı	36

2.6.7. Sistemin yeniden yapılandırılması (System configuration)	37
2.7. FM Bilgilerinin Gösterilmesi	38
2.7.1. PFD üzerinde FM bilgileri	38
2.7.2. ND üzerinde FM bilgileri	38
2.7.3. ND üzerinde veri tabanı bilgileri	42
3. UÇUŞ MALİYETİ	44
3.1. Giriş	44
3.2. Sabit Giderler	46
3.3. Uçuş Süresine Bağlı (Değişken) Giderler	46
3.3.1. Uçuş ekibi giderleri	47
3.3.2. Kabin ekibi giderleri	49
3.3.3. Bakım giderleri	50
3.3.4. Uçak amortismanı	53
3.3.5. Diğer etkenler	53
3.4. Yakıt Maliyeti	54
3.4.1. Yakıtın kalkış meydanından alınması	58
3.4.2. Yakıtın kalkış ve varış meydanından alınması	60
3.4.3. Sonuç	62
4. MALİYET KATSAYISI	64
4.1. Giriş	64
4.2. Maliyet Katsayısının Hesaplanması	66
4.3. Optimum İrtifanın Maliyet Katsayısına Etkisi	75
4.4. Maliyet Katsayısının Tırmanma Fazındaki Etkisi	78
4.5. Maliyet Katsayısının Alçalma Fazındaki Etkisi	81
4.6. Rüzgar ve Sıcaklığın Maliyet Katsayısına Etkisi	83
4.7. CI Değerinin FMS'e Girilmesi	88
SONUÇ	90
KAYNAKLAR DİZİNİ	91

ŞEKİLLER DİZİNİ

1.1. Değişik Mach değerleri için toplam maliyetler	3
2.1. İstasyonun polar koordinatları	7
2.2. R.NAV ile geometrik hesaplama	7
2.3. R.NAV blok diagramı	10
2.4. Modern uçaklarda PMS'in yapısı	17
2.5. Cost Index – Speed grafiği	18
2.6. A340 AFS yapısı	21
2.7. A340 Otopilot Sistemi	24
2.8. Uçuş safhaları	28
2.9. Sistem bağlantıları	31
2.10. FM yapısı	34
2.11. PFD üzerinde FM bilgileri	40
2.12. ND üzerinde FM bilgileri	41
2.13. ND üzerinde FM Database bilgileri	43
3.1. Maliyetler	45
3.2. Bakım maliyetinin dağılımı	50
3.3. Alınacak ek yakıt miktarının bulunması	63
4.1. Değişik Mach değerleri için toplam maliyetler	65
4.2. MRC, LRC ve ECON hızın değişimi	70
4.3. ECON hızın bulunması	74
4.4. Optimum irtifa eğrisi	76
4.5. Optimum irtifanın sıcaklıkla değişimi	76
4.6. Toplam maliyetin irtifa ile değişimi	78
4.7. Değişik CI'ler için tırmanma profilleri	79
4.8. Değişik CI'ler için alçalma profilleri	81
4.9. ECON hızın rüzgar ile değişimi	84
4.10. Uçuş hattının veri tabanından yüklenmesi	88
4.11. CI'nin FMS'e girilmesi	89

ÇİZELGELER DİZİNİ

2.1. A340 için EPE değerleri	13
3.1. İş gücü ve malzeme maliyeti	52
3.2. Yakıt sarfiyatındaki değişim değerleri	56
4.1. B767-200 için değişik Mach değerlerine karşılık gelen maliyetler	65
4.2. Değişik irtifa ve CI değerleri için zaman ve yakıttaki değişim	77
4.3. Değişik CI'ler için tırmanma fazında yakıt, zaman ve mesafe değerleri	80
4.4. Zaman, yakıt ve uçuş maliyetindeki değişimler (tırmanma fazı)	81
4.5. Değişik CI'ler için alçalma fazında yakıt, zaman ve mesafe değerleri	82
4.6. Zaman, yakıt ve uçuş maliyetindeki değişimler (alçalma fazı)	83
4.7. Uçuş maliyetinin rüzgar hızı ile değişimi	85
4.8. Uçuş maliyetinin sıcaklıkla değişimi	87

SİMGELER DİZİNİ

- β Uçağın varış noktası ve yer istasyonu ile yaptığı açı
- α Varış noktasının uçak ve yer istasyonu ile yaptığı açı
- ρ Havanın özgül kütlesi
- δ Yer istasyonunun uçak ve varış noktası ile yaptığı açı
- θ Bearing açısı (uçağın kuzeye göre açısı)
- ΔF Uçuşta kullanılan yakıt miktarı
- ΔT Uçuş süresi
- a Ses hızı
- A Uçak – yer istasyonu arasındaki mesafe
- B Yer istasyonu – varış noktası arasındaki mesafe
- C Varış noktası – uçak arasındaki mesafe
- C Toplam maliyet
- C/INm 1 Nm’lik mesafenin değişken maliyeti
- C_C Zamandan bağımsız sabit giderler
- C_F Yakıt birim fiyatı
- CF Yakıt giderleri
- CI Cost Index
- $CI_{REF A(B)}$ Ek yakıt almadan A veya B meydanındaki yakıt fiyatına göre maliyet katsayısı
- $CI_{T A(B)}$ Ek yakıt alındığı takdirde elde edilen maliyet katsayısı
- C_T Uçuş süresine bağlı birim maliyet
- CT Uçuş süresine bağlı giderler
- C_x Sürüklenme katsayısı
- C_z Taşıma katsayısı
- D Mesafe
- $f_{PA(B)}$ A veya B meydanındaki görünür yakıt fiyatı
- FP_A A meydanındaki yakıt fiyatı
- FP_B B meydanındaki yakıt fiyatı
- FPR Yakıt fiyatı oranı (FP_A/FP_B)
- G_s Yer hızı

GW	Uçak toplam ağırlığı (Gross Weight)
LTF	Ek yük taşıma faktörü
m	Kütle
M	Mach sayısı
n	Load factor
P	Motorların sağladığı güç
Q	Alınan ek yakıt miktarı
r	Yer istasyonu – uçak arasındaki mesafe
S	Taşıma yüzeylerinin alanı
SR	Özgül menzil (Nm/1000lb)
TF_{AB}	A'dan B'ye uçuş için gerekli yakıt
TF_{BA}	B'den A'ya uçuş için gerekli yakıt
V	Gerçek hız
V_e	İzafi hız
W	Rüzgar hız bileşkeni
x	Saatlik bakım maliyeti yüzdesi
y	Periyodik bakım maliyeti yüzdesi

1. GİRİŞ

20. yüzyılın ortalarına kadar geliştirilen uçaklar, düşük hızlarda ve alçak irtifalarda uçan, düşük performanslı uçaklardı. Bunun yanında, hava taşımacılığı yavaş yavaş ortaya çıkmaya başladığı için büyük bir rekabet ortamından bahsetmek mümkün değildi. Jet motorlarının uçaklarda kullanılmaya başlanmasıyla uçakların performansları, uçuş hızları ve uçtukları irtifalar da arttı. Bu durum ise, uçak üzerinde izlenmesi gereken uçuş parametrelerinin ve dolayısıyla pilotun iş yükünün artmasına sebep oldu. Uçak üzerinde otomatizasyonun gerekliliğinden birisi pilotun iş yükünün azaltılmak istenmesidir. Bu ihtiyaç, 1960'li yıllarda açık döngü kontrol sistemlerinin doğmasına sebep oldu. Elektronik ve bilgisayar alanındaki hızlı gelişmeler, uçuş otomatizasyonunun da hızlı bir şekilde artmasına sebep oldu. İlk zamanlarda uçak sadece sabit bir irtifa ve uçuş başı değerini izleyebiliyordu. 1970'li yılların başında kapalı döngü otopilot sistemlerinin kullanılmaya başlanmasıyla yatay düzlemdeki uçuş tamamen otomatik olarak yapılmaya başlandı. Bu gelişmelere 70'li yılların sonunda geliştirilen performans yönetim sistemleri eklendi ve böylece uçuş, dikey düzlemde de otomatik olarak kontrol edilebilir duruma geldi.

Yatay düzlemde uçuşun yönlendirilmesi ve optimizasyonu AREANAV (R.NAV) denilen sistem ile yapılırken, dikey düzlemde kontrol ve optimizasyon, Performance Management System (PMS) denilen bir sistem ile yapılır. Flight Management System (FMS) ise bu iki sistemden oluşur ve uçağı 3 boyutlu ekseninde kontrol ederek bir uçuş optimizasyonu sağlar.

$$FMS = R.NAV + PMS$$

FMS'in en önemli kısımlarından birisi gerçek zamanlı (real time) çalışan yüksek kapasiteli hesaplama ünitesidir. Bu ünite uçuştan önce pilot tarafından girilen uçuş planını uygular. Kalkıştan hemen sonra FMS, uçağın her üç ekseninde de

yönlendirilmesini sağlayan sistemlerle (Autopilot ve Autothrust) bağlantı kurarak pilotun müdahalesi olmadan uçağın belirlenen uçuşu gerçekleştirmesini sağlar. Bunu şu şekilde yapar:

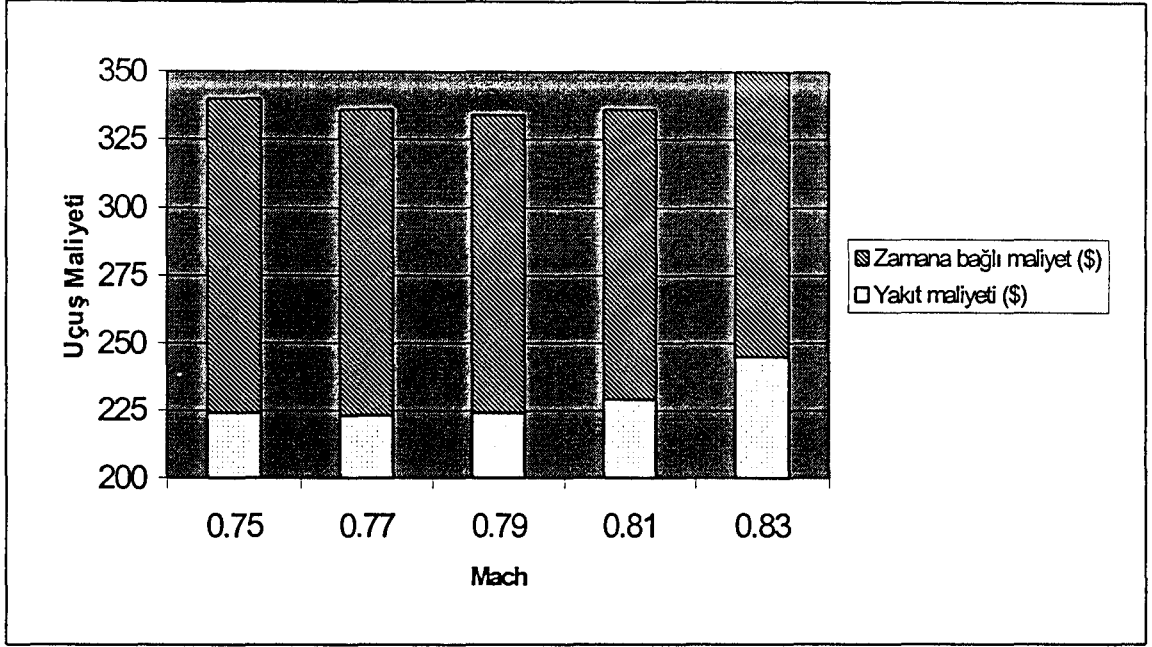
- çok hassas bir şekilde yatay düzlemdeki uçuş rotasını takip eder,
- o anki uçuş şartlarına göre yapılan uçuşu dikey düzlemde optimize eder. Bu uçuş şartları uçağın durumu (sürekli değişen uçak ağırlığı) ve meteorolojik durumlardır (ölçülen rüzgar, sıcaklık).

FMS temelde R.NAV ve PMS sistemlerinin bir bütünü olduğundan bu sistemler ikinci bölümde ayrı ayrı incelenecektir.

1970’li yıllarda yaşanan petrol krizi, uçak yapım firmaları ve havayolu şirketlerinin dikkatini yakıt maliyetinin, toplam maliyetler içindeki önemine çekti. %45’lerde olan bu oran daha sonraki yıllarda %20’lere kadar düşürüldü. Bu çalışmalar beraberinde yeni kavramları da getirdi. Bunlardan bir tanesi de uçuş optimizasyonunu sağlayan ve toplam uçuş maliyetini minimuma indiren “Maliyet Katsayısı (Cost Index –CI-)“ dir. Maliyet Katsayısı uçuştan önce FMS’e girilir ve gerekiyorsa uçuş sırasında değiştirilebilir. Bu katsayı yakıt maliyeti ve uçuş süresine bağlı uçuş maliyeti arasındaki en iyi dengenin bulunmasını sağlar. Dördüncü bölümde geniş bir şekilde ele alınacak bu katsayının hesaplanması aşağıda verilen basit bir oranlama ile yapılır.

$$\text{Maliyet Katsayısı} = \frac{\text{Zamana bağlı maliyetler}}{\text{Yakıt maliyeti}}$$

Değişik hızlarda yapılan bir uçuşun maliyeti hesaplandığında Şekil 1.1.’e benzer bir grafik ortaya çıkar.



Şekil 1.1. Değişik Mach değerleri için toplam maliyetler

Bu grafik büyük bir ölçekte incelendiğinde 0.77 Mach'a karşılık gelen yakıt maliyeti minimum olurken, toplam uçuş maliyetleri dikkate alındığında buna karşılık gelen uçuş hızınının 0.79 Mach olduğu görülmektedir. Buradan çıkartılacak sonuç; en az yakıt harcayarak yapılan uçuş en karlı uçuş değildir. Uçuşun karlılığını görebilmek için toplam uçuş maliyetlerini dikkate almak gerekir ki, bazı durumlarda buna, gecikmelerin sebep olduğu müşteri tatminsizliği bile eklenebilir. Minimum uçuş maliyetini veren bu hız "ekonomik hız" olarak tanımlanır ve bu hızın bulunmasındaki temel parametre "maliyet katsayısı" dır.

Maliyet katsayısının hesaplanması matematiksel olarak basit olsa bile, gerekli olan maliyet analizleri oldukça karmaşık olabilir ve şirketten şirkete değişir. Bu sebeple, şirketlerin sürekli olarak sabit bir maliyet katsayısı kullanmak yerine, kendi durumlarını yansıtan maliyet katsayılarını hesaplamaları ve kullanmaları, uçuş maliyetlerini düşürmek için daha olumlu sonuçlar verir.

Bu konuyla ilgili kaynaklar uçak yapım firmalarının yaptığı çalışmalarla sınırlıdır ve bulunan değerler her havayolu şirketinin durumunu yansıtmaz. Uçuş maliyetlerinin düşürülmesinde önemli olan bu katsayının hesaplanmasıyla ilgili kaynakların az olması ve Türkçe kaynak bulunmaması bu çalışmanın temelini oluşturmaktadır.

2. UÇUS YÖNETİM SİSTEMİ

- FLIGHT MANAGEMENT SYSTEM (FMS) -

2.1 Giriş

Uçağın 3 boyutlu uzayda kontrol edilerek seyrüsefer yapılması ilk zamanlarda tamamen pilot tarafından yapılıyordu. İzlenecek rotalar belirleniyor ve uçuş boyunca pilot bu rotaya mümkün olduğu kadar yaklaşmaya ve bu rotada kalmaya çalışıyordu. Ayrıca ara irtifalar belirlenerek uçuş mümkün olduğu kadar optimize edilmeye çalışılıyordu. Geçtiğimiz on-yıllarda yerdeki seyrüsefer yardımcı sistemleriyle birlikte kullanılan sistemlerde de büyük bir teknolojik gelişme sağlandı ve uçuşun yönlendirilmesi için pilota yardımcı olan otomatik sistemler geliştirildi.

Tarihsel gelişime bakıldığında her biri yeni nesil sistemlerden oluşan 3 aşama kaydedildiği görülür:

- a- İlk zamanlarda sadece yatay düzlemdeki uçuş (seyrüsefer) otomatik olarak sistemler tarafından gerçekleştiriliyordu. 60'lı yıllarda ataletli seyrüsefer sistemleri (Inertial Navigation Systems (INS)) kullanılmaya başlandı; ancak bu sistemler açık döngü, yani zaman içinde pozisyonunda hiçbir düzeltme yapmayan sistemlerdi. Bu sistemlerle, belirlenmiş bir rota, çok hassas olmasa da izlenebiliyordu. 70'li yılların başında daha gelişmiş bir sistem olan AREA NAVIGATION (R.NAV) sistemi kullanılmaya başlandı.
- b- Daha sonraları uçuşun dikey düzlemde de otomatik olarak yapılabilmesi için sistemler geliştirilmeye başlandı. Ancak uçuşun dikey ekseninde, sistemler tarafından kontrolü çok daha karmaşıktır. Uçağın performansının, o anki kütlelerinin de içine katıldığı karmaşık işlemlerle hesaplanması gerekir. Eğer uçuş otomatik olarak yapılıyorsa, otopilot uçağı sadece enlemesine (lateral) ekseninde değil, boylamasına (longitudinal) ekseninde de kontrol etmelidir. Bu tür sistemler daha önce üretilmiş uçaklarda da kullanılmaya başlanmış ve 70'li

yılların sonunda ise PMS (Performance Management System) ortaya çıkmıştır.

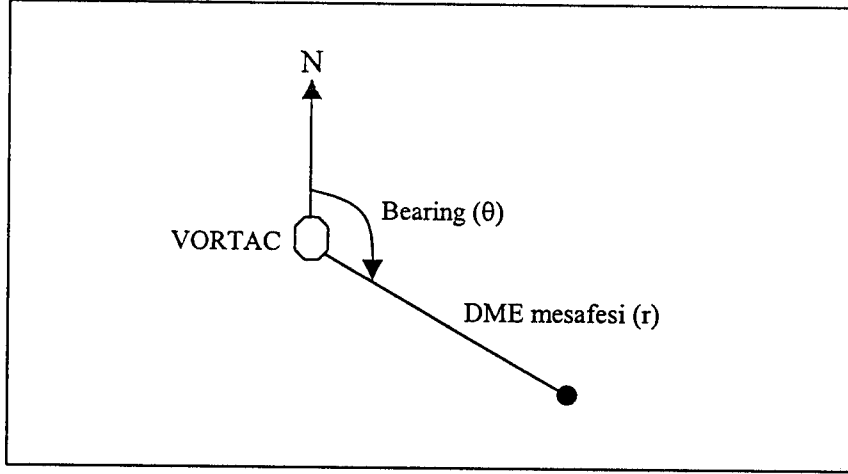
c- Son olarak 80'li yılların başında, uçağı her 3 eksen boyunca kontrol edebilme kabiliyetine sahip FMS (Flight Management System) geliştirilmiştir.

Önceki bölümde FMS'in temelde R.NAV ve PMS sistemlerinin bir bütünü olduğu belirtilmişti. Bu bölümde R.NAV ve PMS sistemleri kısaca inceledikten sonra izleyen bölümlerde FMS sistemine daha detaylı olarak değinilecektir.

2.2. AREANAV (R.NAV) Sistemi

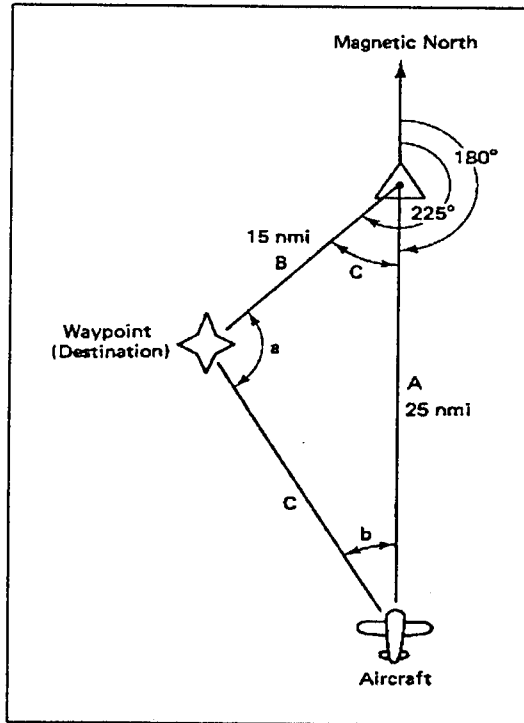
2.2.1. Prensip yapısı

VOR (VHF Omni Range) ve ADF (Automatic Direction Finder) gibi çok kullanılan seyrüsefer sistemlerinde ana amaç uçağı direkt olarak yayın yapıldığı istasyona doğru yönlendirmektir. Bu teknik, uygulama açısından çok kolaydır ve rüzgar gibi dış etkenlerden dolayı meydana gelen sapmalar kolay bir şekilde düzeltilir. Eğer uçuşun yapıldığı bölgede yeteri sayıda VOR istasyonu varsa kalkış noktasından iniş noktasına hemen hemen düz bir uçuş yapmak mümkündür. Bir çok büyük havaalanında VOR istasyonu vardır ve bu da uçakların direkt olarak o havaalanına doğru uçmasına imkan verir. Bunun yanında birçok küçük havaalanında VOR istasyonu yoktur. Bu tür alanlara uçuş yapmak, diğer alanlara göre daha fazla zaman harcanmasına sebep olur. Şüphesiz ideal olan, her havaalanının VOR istasyonuna sahip olması ve direkt uçuş yapılmasına imkan vermesidir. Aşağıda anlatılanlarda ana hedef bu olacaktır. VORTAC (VOR-TACAN) genelde askeri meydanlarda kullanılan bir sistemdir. VOR ve DME (Distance Measuring Equipment) bilgilerini iletir. VOR ile kuzeye göre yapılan açı ölçülürken, DME ile yer istasyonuna olan mesafe ölçülür. Her VORTAC istasyonunun çevresinde, VORTAC merkezde olacak şekilde, polar koordinatlarla tanımlanabilecek bir hayali alan vardır. VOR, bearing polar açısına, DME uzaklığı ise radyal uzunluğuna karşılık gelmektedir.



Şekil 2.1. İstasyonun polar koordinatları

Şekil 2.2.'de görüldüğü gibi eğer ulaşmak istediğimiz havaalanı bir VORTAC istasyonunun kaplama alanı içindeyse, bu havaalanının yeri, VORTAC'dan olan mesafesi ve aynı VORTAC ile yaptığı bearing açısı cinsinden verilebilir.



Şekil 2.2. R-NAV ile geometrik hesaplama [1]

Uçağın konumu ise, uçak üzerindeki VOR ve DME'den alınan bearing ve mesafe bilgileriyle belirlenebilir. Buradan elde edilen vektör problemi çözülmüşse uçağı direkt olarak havaalanına ulaştırabilmek için gerekli bilgiler elde edilir. Bu problem değişik tekniklerle çözülebilir. Bunlardan bir tanesi ise eşitlik 2.1.'de verilen "Kosinüs" kuralını uygulamaktır.

$$C^2 = A^2 + B^2 - 2AB\cos\delta \quad (2.1.)$$

Şekil 2.2.'de verilen sayısal değerleri kullanarak;

$A = 25 \text{ Nm}$ (uçaktaki DME ile ölçülür)

$B = 15 \text{ Nm}$ (havaalanının VORTAC'a olan mesafesi. Bu değer sürekli sabittir)

$C = 45^\circ$ (δ açısı uçağın ve havaalanının bearing'leri arasındaki farkıdır.)

$$C = [(25^2 + 15^2) - 2*25*15*0,707]^2$$

$$C = 17,9 \text{ Nm}$$

Bu şekilde uçağın havaalanına olan uzaklığı bulunmuş olur ve eksik olan tek şey β açısıdır. Bunu bulmak için "Sinüs" kuralı uygulanabilir.

$$\sin \frac{\alpha}{A} = \sin \frac{\beta}{B} \quad (2.2.)$$

$$\sin \frac{\beta}{B} = \sin \frac{\delta}{C} \quad (2.3.)$$

Burada α ve β olmak üzere iki bilinmeyen ve 2 tane denklem vardır.

$$\beta = \arcsin\left(\frac{B}{C} \sin\delta\right) \quad (2.4.)$$

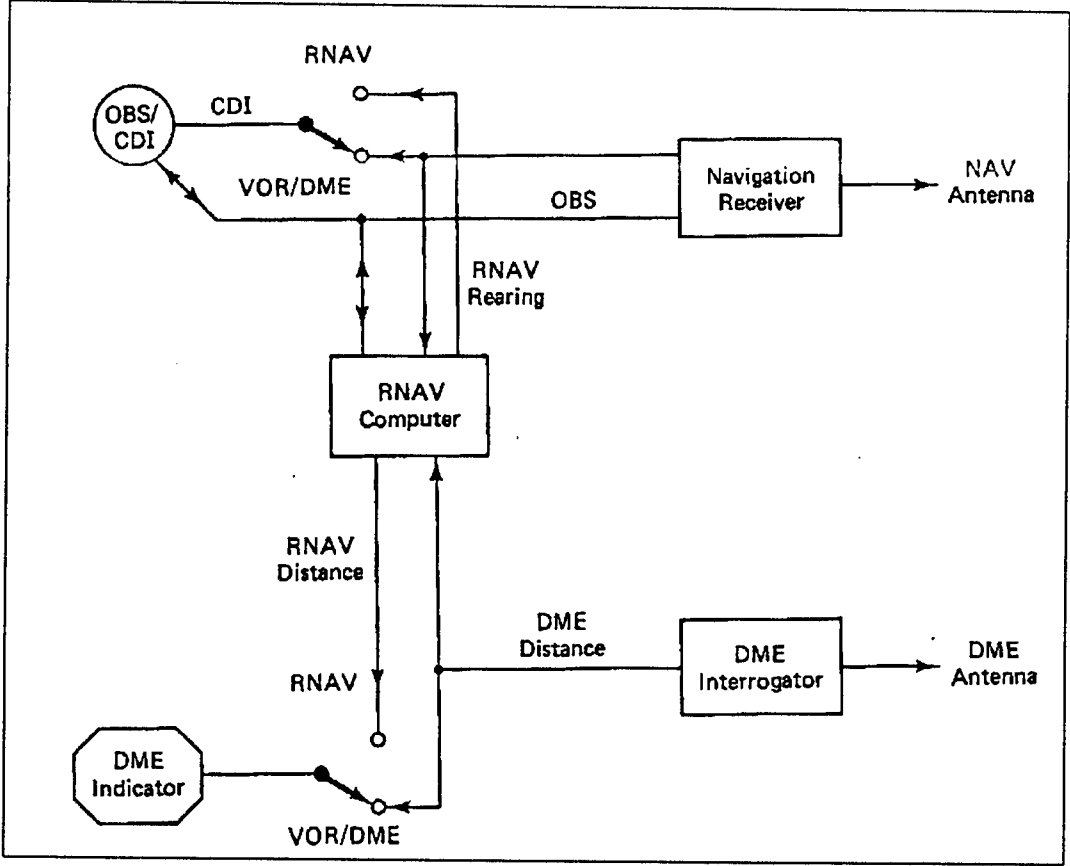
Bütün bu matematiksel çözümler göstergelerde belirtilmez. Her R.NAV hesaplama ünitesi değişik bir metod kullanarak bu problemi çözebilir.

Yukarıdaki hesaplamalardan da görüldüğü gibi problemin çözümü için 4 değişkene ihtiyaç vardır:

- Varış noktasının bearing'i
- Varış noktasının VORTAC'a olan uzaklığı,
- Uçağın bearing'i
- Uçağın VORTAC'a olan uzaklığı

İlk iki değişken pilot tarafından düğmeler veya tuş takımı yardımıyla girilir (waypoint). Son iki değişken ise uçaktaki VOR ve DME tarafından sağlanır. Bu değerler girildikten sonra hesaplama ünitesi sürekli olarak eksik değerleri (uçak - varış noktası arasındaki mesafe ve açı) hesaplayarak ilgili göstergelere iletir. Bu aşamadan sonra uçak, varış noktasında (waypoint) bir VOR ve DME varmış gibi seyrüsefer yapabilir. Ayrıca kontrol ünitesi çok sayıda waypoint bilgilerini kayıt edebildiği için kullanım açısından büyük kolaylık sağlar.

Sekil 2.3.'de bir DME, NAV alıcısı ve R.NAV hesaplama ünitesi arasındaki bağlantı görülmektedir.

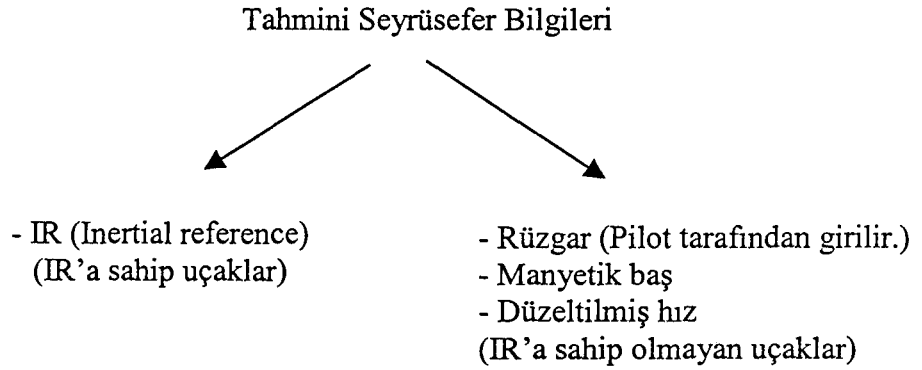


Şekil 2.3. R-NAV blok diyagramı [1]

R-NAV konumundan klasik VOR konumuna geçildiğinde çok sayıda bağlantı değişikliği yapılması gerektiği görülmektedir. Bu aktarımı gerçekleştirme yöntemlerinden birisi; waypoint, bearing ve mesafe değerleri için 0 girmektir. Buna “zero-zero waypoint” denilir. Bu durumda R-NAV’dan bilgi alınmasına rağmen waypoint ve VORTAC aynı konumlardadır.

2.2.2. Atalet sistemleriyle pozisyon belirleme (Tahmini seyrüsefer)

Bu yöntemde uçak, pozisyonunu yerdeki sistemlerden bağımsız olarak hesaplar. Bu şekilde yapılan seyrüsefere tahmini seyrüsefer de denilir. Büyük uçakların hepsi atalet sistemlerine sahiptirler ve R.NAV'ın hesaplamalarında kullanılan "tahmini seyrüsefer" bilgilerini sağlayan sistemler atalet sistemleridir. Atalet sistemlerinin bulunmadığı küçük uçaklarda ise "tahmini seyrüsefer" bilgileri pilot tarafından girilen tahmini rüzgar ve uçak üzerinde hesaplanan manyetik baş ile düzeltilmiş hız (Corrected Airspeed)'dan oluşur.



Büyük uçaklarda genelde 3 IR platformu bulunur. Bu 3 platformun da arızalanması durumunda yukarıdaki şemanın sağ tarafındaki veriler (rüzgar, baş ve hız) R.NAV için gerekli tahmini seyrüsefer bilgilerini oluştururlar, ancak bu mod, "Degraded Mode"dur.

2.2.3. Radyo sistemleriyle pozisyon belirleme (Bağımlı seyrüsefer)

Bu yöntemde pozisyon belirlenmesi uçak dışındaki sistemler yardımıyla yapılır. Bunlar VOR, DME, OMEGA, GPS gibi sistemlerdir.

GPS, hemen hemen bütün bölgelerde kullanılabilen bir sistemdir. Şu anda yaklaşık 100-300 m kararlılığa izin verilmektedir, fakat kararlılığın artırılmasıyla bir çok sistemin yerine kullanılabilir durumdadır. OMEGA, dünyanın her

yerinde kullanılabilecek özelliğe sahiptir, fakat hassasiyeti çok iyi değildir.

VOR/DME son derece iyi bir kararlılığa sahiptir ancak diğer sistemlere göre daha kısa mesafeler için kullanılır. Bu sistemler genelde terminal sahalarında kullanılır.

Yukarıda anlatılan “Tahmini Seyrüsefer” ve “Bağımlı Seyrüsefer” prensipleri R.NAV tarafından pozisyon hesaplanmasında ve uçuş rotasının izlenmesinde kullanılır. Sadece atalet sistemlerine bağımlı kalarak pozisyon belirlemek sağlıklı sonuçlar vermeyebilir, çünkü atalet sistemlerinde zaman içinde sapmalar meydana gelir. Bu nedenle atalet sistemlerinden alınan bilgiler, radyo sistemlerinden alınan bilgilere göre değiştirilerek daha hassas değerler elde edilir. A340 uçaklarında “Tahmini Seyrüsefer”le bulunan pozisyona “MIX IRS Position”, “Bağımlı Seyrüsefer”le bulunan pozisyona ise “Radio Position” denilir. FM (Flight Management) pozisyonu, bunların bileşiminden elde edilir. Kalkıştan önce girilen pozisyon (MIX IR Position) FM pozisyonu olarak alınır ve bu değer sürekli olarak Radio Position’a göre yenilenir. Radyo istasyonlarından bilgi alınmadığı durumlarda MIX IR pozisyonu FM pozisyonu olarak kabul edilir. Fakat uzun süreli uçuşlarda IR’deki sapmalardan dolayı FM pozisyon değerleri de gerçek değerlerden uzaklaşır. A340 uçakları FM pozisyonunu hesaplamak için aşağıdaki seyrüsefer modlarını kullanırlar. Sıralama en öncelikli olandan en düşük önceliğe sahip olana doğrudur.[8]

- GPS (eğer kurulmuş ise) /Inertial (X IRS)
- DME /DME /Inertial
- DME /VOR /Inertial
- Inertial

FM, kullanılan seyrüsefer moduna göre sürekli olarak tahmini pozisyon hatasını (Estimated Position Error – EPE-) hesaplar. Bu değerler aşağıdaki gibidir (A340 için): [2]

Çizelge 2.1. A340 için EPE değerleri

Seyrüsefer Modu	EPE
X IRS /DME / DME	EPE 0.28 Nm'ye yaklaşır.
X IRS / VOR / DME	$EPE=0.1+0.050 \times \text{Ground Distance(A/C-DME)}$ Minimum değer = 0.28 Nm
X IRS	EPE 1. Saat için 3.5 Nm/saat oranıyla artar. 1. Saatten sonra 2 Nm/saat oranıyla artar.

Diğer taraftan resmi otoriteler aşağıdaki tolerans değerlerini tanımlamışlardır. Bunlar uçuş alanına göre değişir.

Uçuş Alanı	Doğruluk Sınırı
EN Route	3.41Nm
Terminal	2.07Nm
Yaklaşma	0.5

Eğer radyo pozisyonu ile MIX IR pozisyonu arasında 12 Nm'den daha fazla fark var ise MCDU (Multipurpose Control and Display Unit) son satırı üzerinde "CHECK A/C POSITION" mesajı görülür. [2]

2.2.4. R.NAV'ın Kullanılması

R.NAV uçuşun yatay düzlemde yönlendirilmesi için kullanılır. Dolayısıyla otopilotun "lateral" kısmı ile bağlantılıdır. Bu bağlantı kalkıştan hemen sonra (örneğin 1500ft'de) sağlanır ve ILS sinyalinin alınmasına veya inişe karar verildiği ana kadar sürer.

Kalkış anında; pilot, kontrol ve gösterge ünitesi üzerinden uçuş numarası, kalkış ve iniş yerleri, saat ve kalkılacak pist bilgilerini girer. Girilen bu değerlerden sonra ekrana uçağın pozisyonu getirilir ve bunun IR'a iletilmesi istenir. Pilot bunu

IR'a ileterek atalet platformların kendi kendilerini ayarlamalarını sağlar.

Taxi sırasında; kumandalara sahip pilot, ATC tarafından kendine atanan SID (Standard Instrument Departure) prosedürlerini girer. Bu aşamadan sonra sadece düz uçuş seviyesinin girilmesi kalır.

Kalkış sırasında; frenleri bırakınca, bulunan pist başı pozisyonu bilindiği için (Data Base'den alınır) R.NAV'ın hesaplama ünitesi birkaç metre hata ile pozisyonu hesaplayabilir. Aynı anda uçuş başlamış olur ve o ana kadar CDU (Control and Display Unit) "Flight Plan" sayfasında relatif olarak ifade edilen saat değerleri (kalkış anı 00:00) GMT olarak ifade edilir (örneğin 17:29).

Düz uçuş sırasında; normal olarak pilotun hiçbir müdahalesi gerekmez. Verilmiş olan uçuş planı uygulanır. Pilot sadece HSI, CDU gibi ara birimlerden uçuşun seyrini izler. Ancak genelde uçuş sırasında uçuş planında değişiklikler yapabilir. Bu değişiklikler, hava durumundan veya trafik yoğunluğundan kaynaklanır. Bu durumda R.NAV, otopilotu devre dışı bırakmadan yeni waypoint'lerin girilmesine imkan verebilmelidir.

Varış anında; kumandalara sahip pilot, ATC tarafından kendisine verilen varış prosedürlerini (STAR) girer.

2.3. Performans Yönetim Sistemi - Performance Management System (PMS) -

2.3.1. Genel tanımlar

R.NAV sistemi yatay düzlemde uçuşu optimize ederken, dikey düzlemde uçuşu optimize etmek için sistemler geliştirilmiştir. Bu sistemler Performance Management System (PMS) olarak isimlendirilir. Bu sistemin temel fonksiyonu, tırmanma, düz uçuş ve iniş olarak isimlendirilen 3 temel uçuş safhasında uçuşu optimize etmek için gerekli parametreleri hesaplamaktır. Bu hesaplamalar için aşağıdaki parametrelerin bilinmesi gerekir:

- Uçak parametreleri (aerodinamik katsayı, motorların tepkisiyle ve yakıt sarfıyatı ile ilgili parametreler),
- Uçağın değişen parametreleri (ağırlığı ve ağırlık merkezi),
- Meteorolojik şartlar (sıcaklık, rüzgar).

Elde edilen bu verilerle aşağıdaki denklemler çözülür:

$$nmg = \frac{1}{2} \rho S V_e^2 C_z \quad (2.5.)$$

$$P = \frac{1}{2} \rho S V_e^2 C_x \quad (2.6.)$$

$$t = D/V \quad (2.7.)$$

Burada;

n : Load factor

m : Kütle

ρ : Havanın özgül kütlesi

S : Taşıma yüzeylerinin alanı

V_e : İzafi hız

C_z, C_x : Taşıma ve sürüklenme katsayıları

P : Motorların sağladığı güç

V : Gerçek hız

D : Mesafe

t : Zaman

Optimizasyon kriterleri uçuş fazına göre değişebilir ve pilotun seçimine bırakılmıştır:

- minimum süre
- minimum yakıt sarfiyatı
- minimum maliyet

Ancak “minimum maliyet” kriterinin hesaplanması oldukça güçtür, çünkü bunun içine yakıt harcama miktarı, yakıt birim fiyatı, uçuş süresi (bunun içine periyodik revizyonlar dahil olmak üzere uçuş saatinin maliyeti de katılır), seferlerin karlılığı (optimum doluluk elde edecek sayıda sefer planlamak) gibi faktörler girer.

Bu maliyet kavramı “Cost Index” katsayısının doğmasına sebep olmuştur.

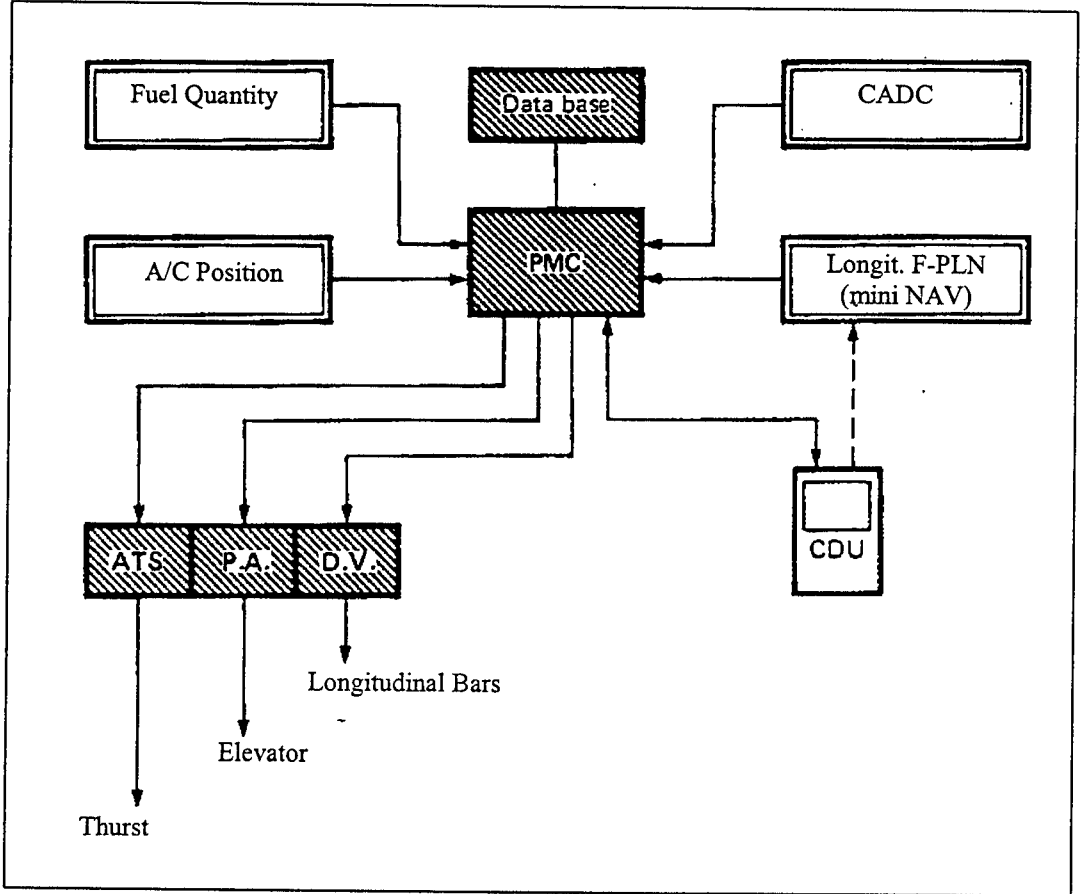
$$\text{Cost index} = \frac{\text{uçanın saat başına işletim maliyeti}}{\text{birim yakıt maliyeti}}$$

Her şirket zaman içinde değişen, her etap ve her uçak için farklı olabilen bir “Cost Index” belirler. “Cost Index”, yakıt sarfiyatının değişmesine, mevsime ve uçuş sıklığına bağlı olarak değişir.

PMS, 70’li yıllarda, daha önceden imal edilmiş uçaklara takılmaya başlandı ve ilk zamanlarda sadece pilota öneride bulunuyordu. Daha sonraları otomatik pilota ve autothrust’a bağlanarak FMS’in doğmasına neden olmuştur.

2.3.2. PMS'in Yapısı

Bir PMS'in yapısı şekil 2.4'de görüldüğü gibidir. Bu şekilde çift çizgili bloklar sensörler'i, taralı bloklar kontrol ünitelerini ve ilgili elemanları, basit çizimli bloklar ise arabirimleri (interface) ifade etmektedir.



Şekil 2.4. Modern uçaklarda PMS'in yapısı [3]

2.3.2.1. Sensörler

Uçuş planı, uçuştan önce girilir ve uçuş sırasında Control and Display Unit'den değerler girilerek değiştirilebilir.

Uçak pozisyonunu veren sensörlerden veya sistemlerden alınan bilgilerle uçağın x

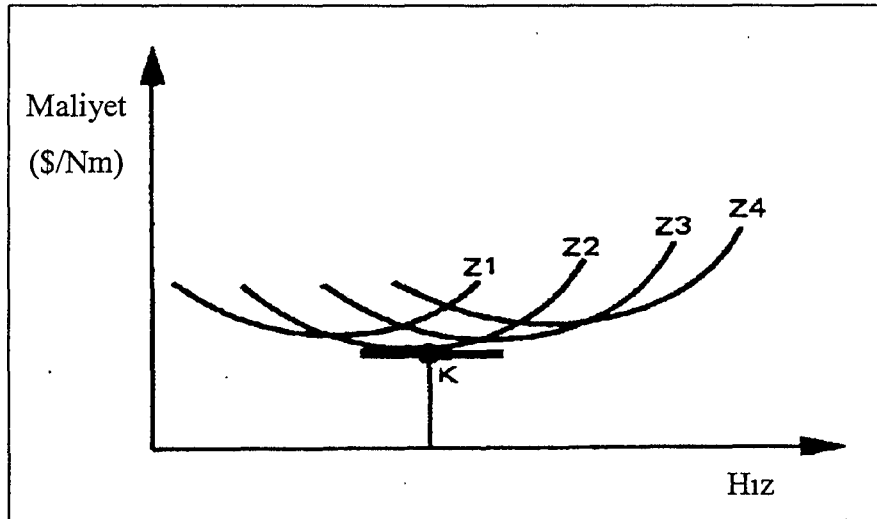
(uzunlama) eksenindeki pozisyonu bulunur ve değerler PMS tarafından kullanılır.

Kalan yakıt miktarı debimetrelerden gelen bilgilerden veya yakıt tanklarındaki sensörlerden alınan bilgilerle hesaplanır. Hesaplanan yakıt miktarı, kalkıştan önce pilotun MCDU'dan girdiği uçak ağırlığının son değerini bulmak için gereklidir. Central Air Data Computer (CADC)'dan gelen statik basınca bağlı özgül ağırlık (ρ), Equivalent Speed gibi bilgiler uçuş denklemlerinin çözümü için kullanılır.

2.3.2.2. Hesaplama Ünitesi (Performance Management Computer)

Hesaplama ünitesi daha önce belirtilen aerodinamik denklemleri çözer ve pilot tarafından belirlenen amaç doğrultusunda (zaman, sarfiyat, maliyet) optimizasyonunu sağlar.

Temel optimizasyon hesapları kalkıştan önce, uçak ağırlığına, etapların uzunluğuna ve girilen "Cost index"e göre değişik hız ve irtifa (z) değerleri için hesaplanır ve aşağıdaki grafiğe benzer sonuçlar çıkartır.



Şekil 2.5. Cost Index – Speed grafiği

Bu sonuçlar optimum değeri (minimum maliyet) ifade eden K noktasının bulunmasına imkan verir. Gerçekte yapılan optimizasyon hesapları her ara uçuş safhası için (kalkış, düz uçuş, iniş) farklıdır. Hesaplama ünitesi, her safha için hesaplamalar yapar ve bunları birleştirerek uçuşun bütünü oluşturmuş olur.

Uçuş başladıktan hemen sonra, daha önce yapılmış optimizasyon hesapları, o anki gerçek atmosfer şartlarına göre veya hava trafik kontrolörünün talimatlarıyla rotada veya irtifada meydana gelen küçük değişikliklere bağlı olarak güncellenir.

2.3.2.3. Veri tabanı (Data base)

Veri tabanı, gerekli hesaplamalar için bir çok bilgiler içerir. Bunlardan bazıları şunlardır:

- uçağın aerodinamik katsayıları,
- tepki ve yakıt sarfiyatı gibi motor parametreleri,
- standart atmosfer değerleri.

2.3.2.4. Arabirim elemanları

Arabirim elemanları arasında, “Profil Mode” denilen modu gerçekleştirmek için otopilota ve autothrust’a yapılan bağlantı ve değişik parametrelerin girildiği MCDU bulunur.

MCDU aracılığıyla pilot, kalkıştan önce, PMS için gerekli olan waypoint’lerin kodlarını veya koordinatlarını, bu noktalar için tahmini rüzgar değerlerini ve sıcaklıkları (sıcaklıklar bilinmediği için standart atmosfer değerleri alınır), “Cost Index”i (eğer ECON mod’da uçulmak isteniyorsa bu değer girilmesi zorunludur), kalkıştaki uçak ağırlığını, uçulacak etabın toplam uzunluğunu girer.

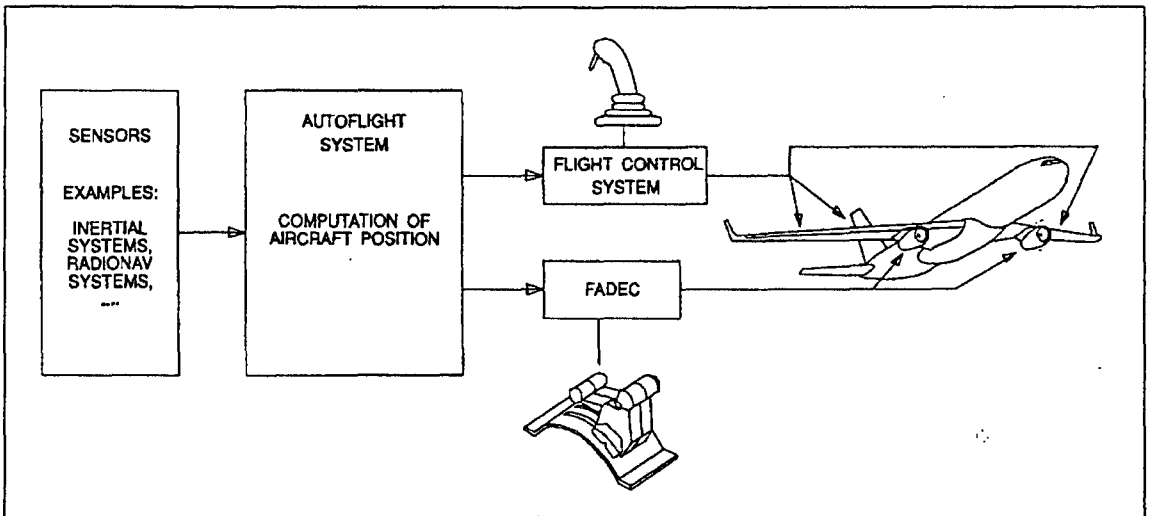
PMS’in ticari amaç için kullanılan bir uçağa getirdiği kazancı sayılara dökmek

oldukça zordur. Yapımcı firmalar bu oranın % 3'lük bir yakıt tasarrufu olduğunu söylemektedirler ki bu değer oldukça yüksek bir değerdir ancak, bu ideal bir kullanım için geçerlidir. Pratikte ATC tarafından verilen ve önceden bilinmeyen değişiklikler özellikle kalkış ve iniş gibi kritik uçuş fazlarını olumsuz yönde etkilemektedir. Bir havayolu şirketinin, kısa mesafeli hattında PMS'li olan bir uçak ile PMS'siz bir uçak arasında yaptığı karşılaştırmaya göre 1 yıllık süre sonunda %1'lik bir kazanç sağladığı görülmüştür. Bu oran, filodaki uçak sayıları, her uçuşta yakılan yakıt miktarı düşünüldüğünde parasal olarak yüksek değerler verir.

2.4. Otomatik Uçuş Sistemi (Auto Flight System – AFS)

Önceki bölümlerde en genel anlamıyla Flight Management System, R.NAV ve PMS olmak üzere iki başlık altında incelenmişti. Eski nesil uçaklarda FMS ile ilgili hesaplamalar tek bir hesaplama ünitesi tarafından yapılırken, yeni nesil uçaklarda diğer sistemlerle birleştirilmiştir. Örneğin, A320 için Flight Management and Guidance Computer (FMGC), A340 ailesi için Flight Management Guidance and Envelope Computer (FMGEC) tarafından FM hesaplamaları yapılır.

FM hesaplamalarının yapıldığı FMGEC otopilot sisteminin bir parçasıdır ve ATA 22 chapter'ı içinde yer alır. Otopilot sistemi uçuş kumandalarına ve motorlara iletilecek kumandaları otomatik olarak hesaplar. Ancak bu komutları yerine getiren yani, kumanda yüzeylerini veya değişik motor kontrollerini hareket ettiren hareket elemanları (actuator) bu sistemin bir parçası değildirler. Bu arabirimler otopilot (Automatic Flight System -AFS-) devre dışıyken verilen kumandaları yerine getiren arabirimlerdir ve farklı sistemlere aittirler. Örneğin; yan kumanda kolu (side stick) uçuş kontrol konusuna ve gaz kolları (thrust levers) motor konusuna dahildirler.



Şekil 2.6. A340 AFS yapısı [4]

2.4.1. Otomatik Uçuş Sisteminin Yapısı

Bu bölümde FM'in yapısına girmeden önce otomatik uçuş sisteminin (Auto Flight System -AFS-) yapısı kısaca incelenecektir.

Otopilot sistemi şekil 2.7.'de gösterildiği gibi bir çok sistemlerle bağlantılıdır. Değişik sistemlerden aldığı bilgileri işler ve bir çok sistemin kullanımı için sinyaller üretir.

2.4.1.1. "Air Data Inertial and Reference" bilgileri

FMGEC'e bağlı 3 adet ADIRU (Air Data Inertial Reference Unit)'ın sağladığı bilgilerin başında, Flight Guidance (FG) için hız, baş açısı gibi bilgiler ve FM için uçak pozisyonu bilgisi gelir.

2.4.1.2. Radyo Seyrüsefer (Radio Navigation) bilgileri

FMGEC, Radio Management Panel (RMP)'yi kullanarak VOR, DME, ILS, ADF gibi alıcı sistemlerin frekanslarını ayarlar. Daha sonra ayarlanan bu sistemler aldıkları bilgileri FMGEC'lere gönderirler.

- VOR/DME, IR tarafından verilen pozisyonun hassas ve daha kesin bir şekilde ayarlanması için kullanılır.
- Eğer herhangi bir istasyon waypoint olarak kullanılıyorsa, o ADF istasyonunun frekansı otomatik olarak ayarlanır.
- FM'in LOC ve Glide bilgilerini bulduğunda devreden çıkması için ILS frekansı ayarlanır.

2.4.1.3. Yakıt sistemi (Fuel system)

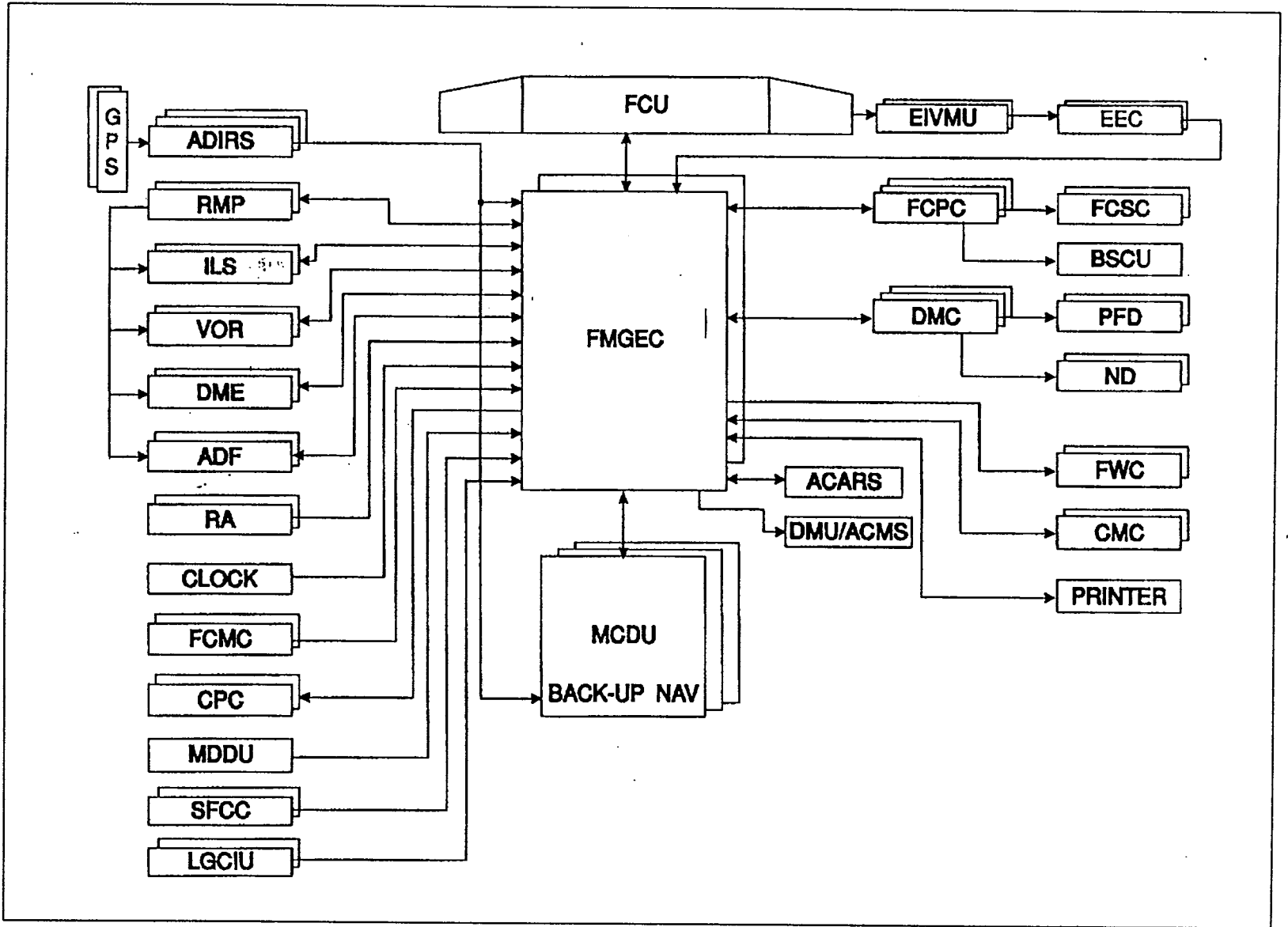
Yakıt sistemi, yakıtla ilgili bilgileri FMGEC'e iletir. Ayrıca iki adet olan Fuel Control and Monitoring Computers (FCMC), performans hesaplarının yapılabilmesi için gerekli olan uçak ağırlığı ve uçak ağırlık merkezi bilgilerini sağlar.

2.4.1.4. Uçuş Planının Yüklenmesi

Seyrüsefer veri tabanı, Multipurpose Disk Drive Unit (MDDU) kullanılarak FMGEC'e yüklenir.

2.4.1.5. Uçak konfigürasyonu

İki adet olan Slat/Flap Control Computer (SFCC) ve Landing Gear Control Interface Unit (LGCIU), o anda uçağın bulunduğu konfigürasyonu belirleyebilmek için FMGEC'lere gerekli bilgileri gönderirler.



Sekel 2.7. A340 Otopilot Sistem [4]

2.4.1.6. Motor kontrol bağlantıları

FMGEC, Flight Control Unit (FCU), Engine Interface Vibration Monitoring Units (EIVMU) ve Electronic Engine Control (EEC)'ler aracılığıyla gerekli olan motor kontrol bilgilerini gönderir. FCU, aktif edilmiş tarafa bağlı olarak FG 1 veya FG 2 bilgilerini seçer ve bunları EIVMU'ye, o da EEC'e gönderir. FMGEC, "Thrust target" denilen tepki miktarı bilgilerini EEC'e gönderir. EEC'den gelen bilgiler, back-up uçak ağırlığı hesaplamaları, dikey düzlemde uçuş planı yönetilmesi, A/THR fonksiyonu (thrust target feedback) için kullanılır.

2.4.1.7. Uçuş kumandaları ile bağlantılar

FMGEC, Electrical Flight Control System vasıtasıyla kumanda yüzeyleri için gerekli olan sapma bilgilerini gönderir. FMGEC, pitch, roll, yaw gibi otopilot bilgilerini Flight Control Primary Computer (FCPC)'e iletir. Bu kumandalar ya direkt olarak yada Flight Control Secondary Computer (FCSC) veya Brake and Steering Control Unit (BSCU) vasıtasıyla kontrol yüzeylerine iletilirler. FCPC ve FCSC'ler otopilot sistemi için önemli elemanlardır. Çalışır durumdaki bir FCPC ve FCSC otopilotun normal çalışması için yeterlidir. Her üç FCPC'nin de kaybedilmesi otopilot fonksiyonlarının kaybedilmesine sebep olur. Fakat yukarıda belirtilen durumların hepsinde Flight Director (FD) ve A/THR fonksiyonları yerine getirilir.

2.4.1.8. EIS (Electronic Instruments System) ile bağlantılar

Otopilot sisteminin pilota iletmesi gereken bütün değerler Display Management Computer (DMC) yardımıyla Primary Flight Display (PFD) ve Navigation Display (ND) üzerinde gösterilir.

PFD üzerinde;

- FD sembolleri,
- Flight Mode Annunciator (FMA),
- FCU/MCDU tarafından seçilen parametreler,
- Karakteristik hızlar,

ND üzerinde;

- Uçağın pozisyonu,
 - Uçuş planı
- gösterilir.

2.4.1.9. Alarmlar (Warnings)

Gerekli alarmların üretilebilmesi için FMGEC'ler sürekli olarak Flight Warning Computer (FWC)'ler tarafından izlenir.

2.4.1.10. Bakım

Centralized Maintenance Computer (CMC), otopilot sistemine ait bütün bakım bilgilerini alabilmek için FMGEC1'e bağlıdır. CMC, MCDU (genellikle MCDU3) yardımıyla bütün sistem BITE'larına girerek bakım bilgilerinin alınmasını ve sistemin test edilmesini sağlar. Ayrıca FMGEC, Data Management Unit (DMU) yardımıyla Aircraft Condition Monitoring System (ACMS)'e gerekli bilgileri iletir.

2.4.1.11. Diğer bağlantılar

Yukarıda açıklanan bağlantılar dışında otopilot diğer sistemlerle de bağlantılıdır. Bunlar; Radio Altimeter (RA), Clock, Aircraft Communication Addressing and Reporting System (ACARS), Cabine Pressure Controller (CPC) gibi sistemlerdir.

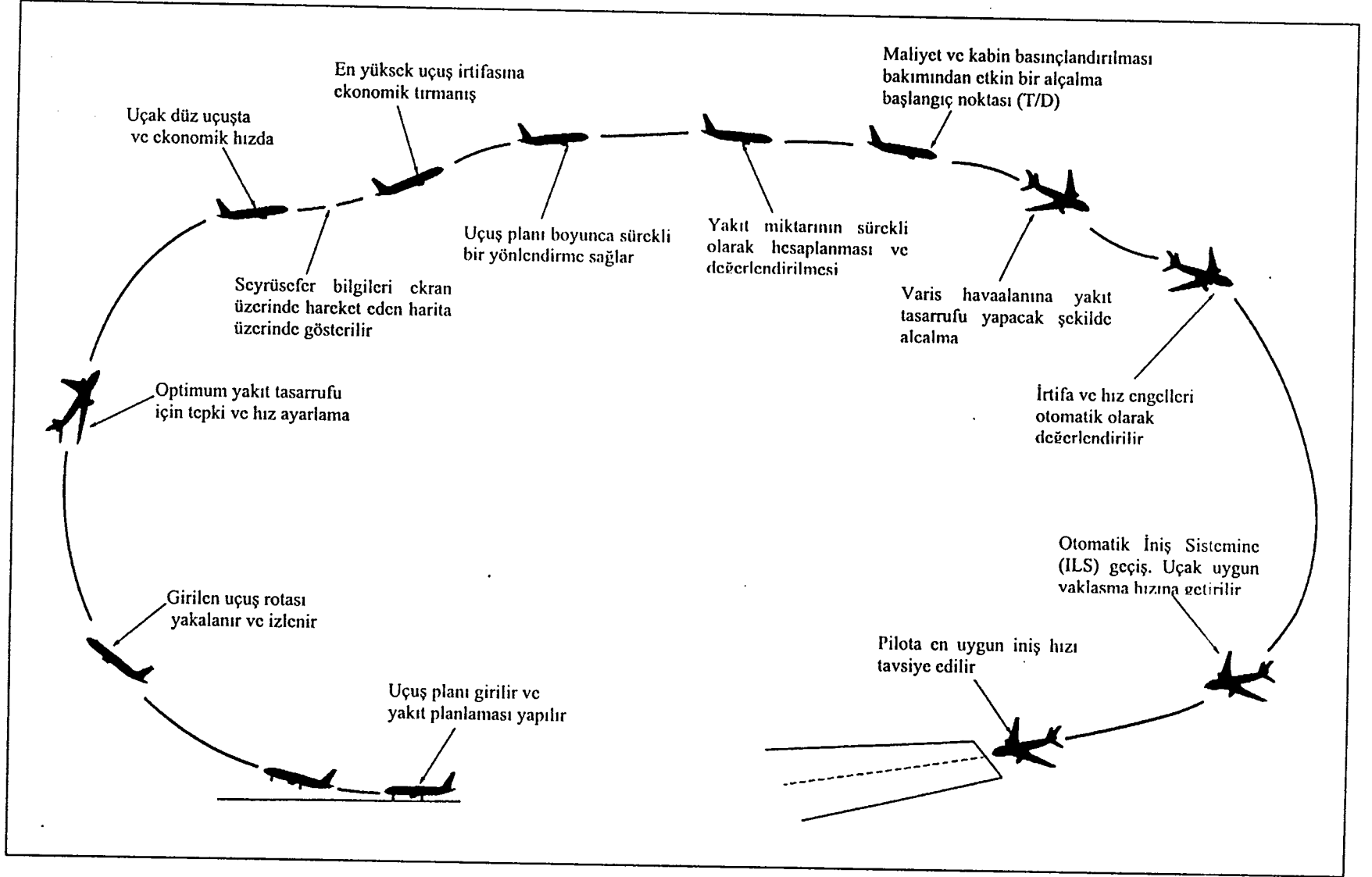
Pilot-uçak arasındaki iletişimi (Man-Machine Interface) sağlayan en önemli eleman Multipurpose Control and Display Unit (MCDU)'dir. FM için gerekli değerlerin girilmesi de bu birim tarafından yapılır.

2.5. FMS'in Amacı

FMS, pilot tarafından, uçuş planlaması, seyrüsefer, performans yönetimi, uçağın yönlendirilmesi (aircraft guidance) ve uçuş parametrelerinin izlenmesi için kullanılır. Pilot, ön panelde bulunan Uçuş Kontrol Ünitesi (Flight Control Unit – FCU) ve pedestal üzerinde bulunan MCDU'yu kullanarak uçuş planını ve uçuşla ilgili gerekli bilgileri girer. Uçuşla ilgili parametreler MCDU ve EIS üzerinden izlenir.

FMGC (veya FMGEC) sisteminin bir parçası olan FM'in asıl amacı, uçuş planlaması, seyrüsefer, performans yönetimi, uçağın yönlendirilmesi ve uçuş parametrelerinin izlenmesinde pilotun iş yükünü azaltarak maksimum bir uçuş verimliliği sağlamaktır.

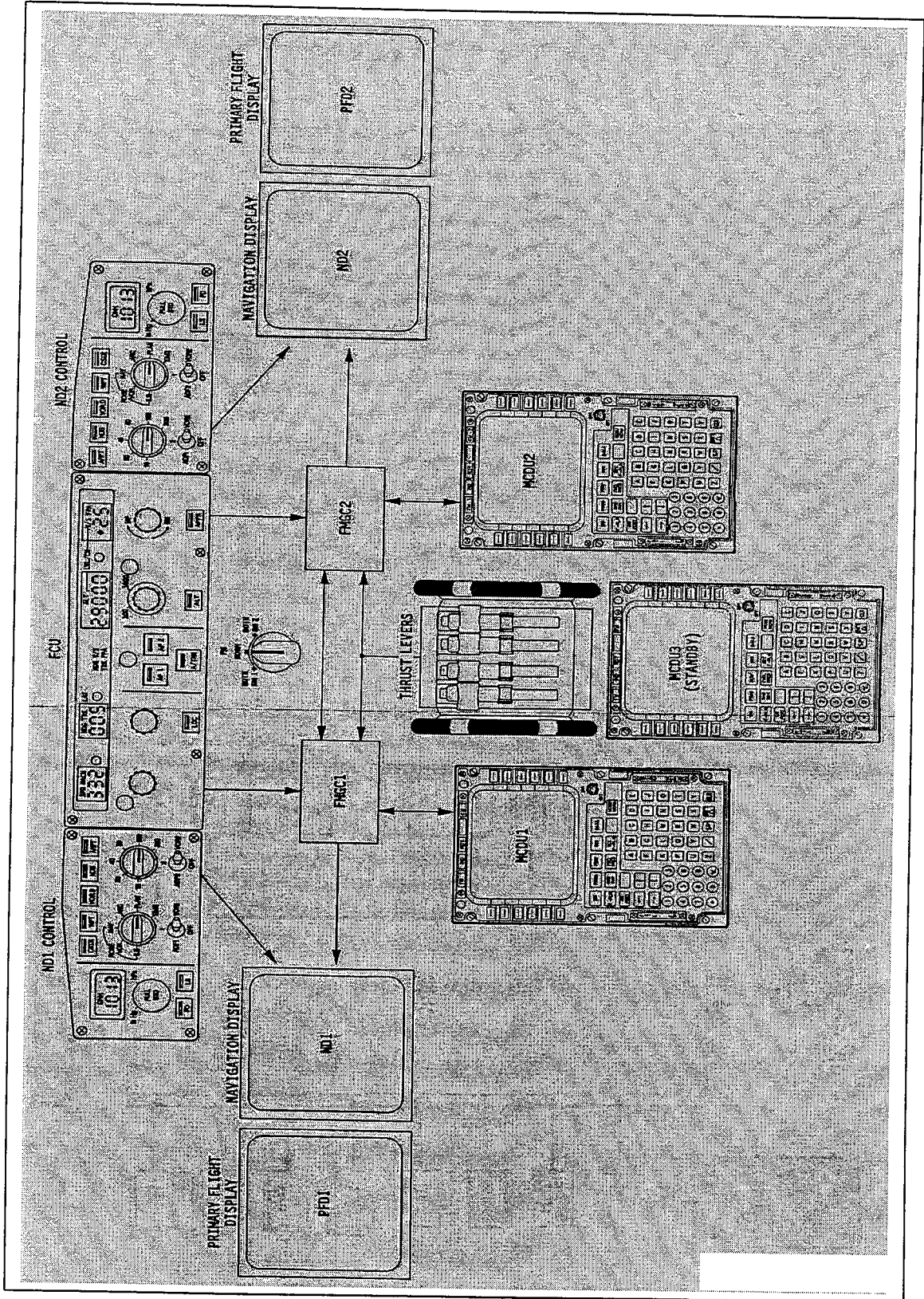
Sekil 2.8. Uçuş safhaları [5]



Sistem bilgilerinin girilmesinden sonra FMGC, kalkış noktasından varış noktasına kadar olan optimum uçuş profilini hesaplar ve uçağın bu uçuş profilini takip etmesini sağlar. Uçuş boyunca, o anki uçuş parametreleri ve hesaplanan tahmini değerler uçuş ekibine iletilir. Bütün bu fonksiyonların yerine getirilmesi için FMS, seyrüsefer frekanslarını ve radyal değerlerini otomatik olarak girer. Bu radyal değerleri girilirken hava trafik kontrolörü tarafından verilen hız ve irtifa tahditleri dikkate alınır.

2.6 FMS Yapısı ve Sistem Elemanları

A340 uçaklarında “uçuş yönetimi”, “uçağın yönlendirilmesi” ve “uçuş limitlerinin izlenmesi” fonksiyonları yüksek kapasiteli bir hesaplama ünitesi tarafından yerine getirilmektedir. Bu hesaplama ünitesi Flight Managment, Guidance and Envelope Computer (FMGEC) ismini alır ve redondan bir yapı oluşturmak için uçak üzerinde iki tane bulunur. Şekil 2.9.’da bu sistem ile uçuş ekibi arasındaki iletişimin nasıl yapıldığı gösterilmiştir. Pilot FMGEC’ye bilgileri FCU, MCDU ve değişik düğmeler yardımıyla girerken, uçuşla ve uçakla ilgili parametreleri PFD, ND ve MCDU yardımıyla izler.



Sekil 2.9. Sistem bağlantıları [5]

FM kısmı, MCDU ve FCU ile bağlantılı olarak şu gibi fonksiyonları yerine getirir:

- Uçak pozisyonunun hesaplanması,
- Radyo seyrüsefer ayarları,
- Uçuş planlama,
- Yatay düzlemde uçuş planlama ve uçuş fazı yönetimi,
- Hız yönetimi,
- Performans verileri,
- FM bilgilerinin MCDU, ND ve PFD üzerinde gösterilmesi,
- ACARS aracılığıyla bilgilerin yerdeki merkez ile değişimi.

FMGEC içindeki FM kısmı değişik bölümlerden oluşmuştur.

2.6.1. Uçuş planı

Tipik bir uçuş profili, kalkış havaalanında PREFLIGHT fazıyla başlar ve şu fazlarla devam eder: TAKE OFF, CLIMB, CRUISE, DESCENT, APPROACH, GO AROUND (gerektiği durumlarda) ve varış havaalanında DONE veya ROLL fazlarıyla biter. Uçuş planı, yatay (Lateral) veya dikey (Vertical) olmak üzere 2 bölümden oluşur. Lateral kısım takip edilecek yönleri verirken, Vertical kısım değişik irtifa değerlerini ve bunlarla ilgili hız ve zaman sınırlarını verir. Vertical yönlendirmenin yapılabilmesi için Lateral yönlendirmenin aktif olması gerekir.

4 değişik uçuş planı tanımlamak mümkündür, bunlar:

PRIMARY F-PLN: Belli bir havaalanından başlayıp, varış havaalanında biten uçuş planıdır.

ALTERNATE F-PLN: Aynı havaalanından başlayıp farklı bir varış havaalanı için yapılan uçuş planıdır.

SECONDARY F-PLN: Normalde Primary F-PLN'in kopyasıdır veya yakıt harcamasına bağılı olarak, Primary F-PLN'nin sonuna eklenebilecek bir uçuş planıdır.

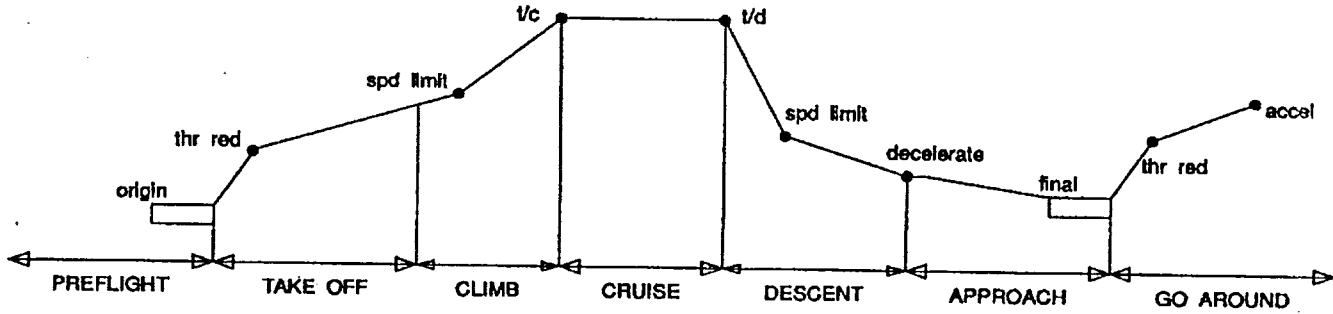
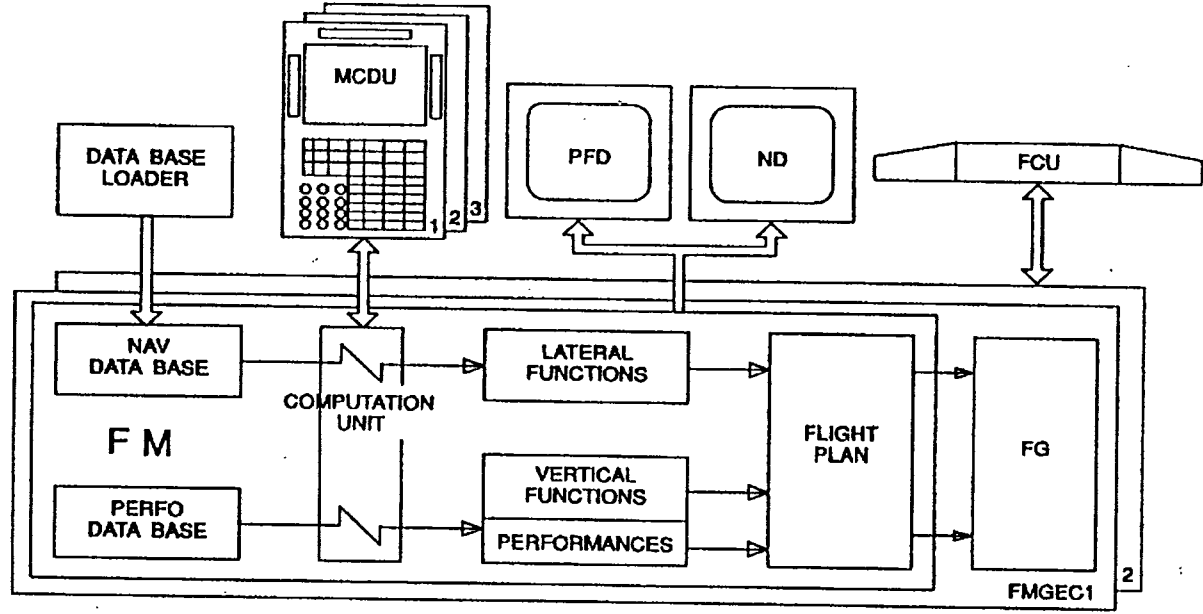
TEMPORARY F-PLN: Uçuş personeli aktif uçuş planını değiştirirken, geçici olarak aktif kılınan uçuş planıdır.

2.6.2. Yatay düzlem fonksiyonları (Lateral Functions)

FM, FCU ve MCDU ile bağlantılı olarak yatay düzlemde yapılan seyrüseferi gerçekleştirir. Bu kısmın yerine getirdiği fonksiyonları şu şekilde sıralayabiliriz:

- IRS'lerin başlatılması (initialization) ve bunların sağladıkları verilerin uçak pozisyonunu hesaplamak için kullanılması,

Şekil 2.10. FM yapısı [4]
34



- VOR, DME, ILS, ADF gibi seyrüsefer yardımcılarının seçilmesi ve frekanslarının ayarlanması,
- ND'lerde gösterilen uçak konumu ve uçuş planına göre uçağın durumu için gerekli verilerin hesaplanması,
- Yatay düzlemde yönlendirme için gerekli kumandaların hesaplanması. Bu komutlar NAV olarak isimlendirilen mod da, FG tarafından yerine getirilir.

2.6.3. Dikey düzlem fonksiyonları (Vertical Functions)

FM, yatay uçuş planı ve diğer verilerle uyumlu olarak uçağın dikey düzlemdeki kontrolünü de sağlar. Dikey düzlem fonksiyonlarının amacı; Top of Climb (T/C) ve Top of Descent (T/D) tarafından sınırlandırılan optimum düz uçuş seviyesini hesaplamak ve göstermektir. Bu hesaplamalar için Performance Data Base ve/veya pilotun girdiği bazı değerler kullanılır. Pilot tarafından girilen bu değerlere örnek olarak, Cost-index, uçak ağırlık merkezi ve uçak ağırlığını verebilir. Dikey düzlem fonksiyonları olarak şunlar sıralanabilir:

- İrtifa, hız ve zaman sınırlaması gibi verilere dayanarak dikey uçuş hattının çıkartılması,
- Dikey düzlemde yönlendirmeyi sağlayacak komutların hesaplanması.

2.6.4. Performanslar

FM, hız, tepki, optimum ve maksimum irtifa olarak uçuş planını optimize eder. Ayrıca uçuş hattı boyunca değişik tahminler yapılır. Performans fonksiyonları, hız, yakıt planlaması ve zaman gibi etkenleri optimize ederek uçuş maliyetini minimum seviyeye indirmeye çalışır. Bu bölüm ayrıca, uçuş planı boyunca değişik Waypoint'lerde performans ile ilgili tahminleri hesaplar. Bunlardan bazıları; optimum ve maksimum irtifa, yakıt tüketimi ve varış zamanıdır. FM ayrıca, her kontrol noktasını (waypoint) geçiş için yaptığı hız, zaman, irtifa ve

yakıt hesaplamaları için değişik sınırlamaları da dikkate alır.

2.6.5. FM Göstergeleri

FM, seyrüsefer, performans ve yönlendirme bilgilerini MCDU, ND veya PFD üzerinde gösterir.

- MCDU üzerinde, uçuş planı, sınırlamalar, uçak ağırlığı ve ağırlık merkezi, seyrüsefer ve performans verileri gösterilir.
- ND üzerinde, ROSE-NAV, ARC ve PLAN modları seçildiğinde uçuş planı gösterilir.
- PFD üzerinde, yönlendirme (guidance) ile ilgili bilgiler gösterilir.

ROSE-NAV ve ARC modlarında uçağın başını veren kadran, referans olarak uçağın başını (heading) değil izlenen yolu (track) alır.

2.6.6. Veri saklama veya veri tabanı

Veri tabanı 2 kısımdan oluşur:

a) Seyrüsefer veri tabanı (Navigation database): Yatay düzlem uçuş planının oluşturulması için gerekli seyrüsefer yardımcıları, havaalanları ve kontrol noktalarıyla ilgili bilgileri içerirler. Bu veri tabanında bütün dünyayı kapsayacak şekilde bilgiler kaydedilir ve MDDU (Multipurpose Disk Drive Unit) kullanılarak her 28 günde bir havayolu şirketi tarafından içerikleri değiştirilir ve güncellenir. Bunun yanında, bu kısımda ayrılan küçük bir hafıza bölgesi, pilotun elle gireceği yeni kontrol noktaları veya seyrüsefer yardımcıları için kullanılır. Seyrüsefer veri tabanı çapraz olarak iki FM arasında transfer edilebilir.

b) Performans veri tabanı (Performance database): Uçak aerodinamiği ve motor ile ilgili katsayıların saklandığı kısımdır. Buradaki bilgiler sabittir ve ancak üretici firma tarafından değiştirilebilir.

2.6.7. Sistemin yeniden yapılandırılması (System configuration)

Normal FM kısmı ikili (dual) modda çalışır. Herhangi birisine yapılan değer girişi diğerine de iletilir. Her taraf kendi hesaplamasını yaptıktan sonra elde ettikleri sonuçları değiştirirler ve karşılaştırırlar. MCDU'ların da yeniden yapılandırılmaları söz konusudur. Normal olarak MCDU3 yedek olarak kalır ve MCDU1 veya MCDU2'nin arızalanması durumunda onun yerini alır. MCDU1'in MCDU2'ye göre önceliği vardır. FM arızası durumunda bunların da yeniden yapılandırılması mümkündür. İkili modda da çalışırken aralarında bir uyumsuzluk tespit edildiği durumda, Switching Panel üzerinde bulunan FM Source Selector yardımıyla her iki MCDU'nunda tek bir FM tarafından sürülmesi sağlanabilir.

Her iki FM'in kaybedilmesi durumunda yalnızca MCDU1 ve MCDU2'de bulunan "Back-up Nav" fonksiyonu kullanılır. Bu durumda MCDU kendi kendine, basit hale indirgenmiş bir seyrüsefer yapar.

2.7. FM Bilgilerinin Gösterilmesi

2.7.1. PFD üzerinde FM bilgileri

PFD, FM ile ilgili olarak hesaplanan veya MCDU üzerinden girilen bilgilerin gösterildiği önemli bir arabirimdir. PFD üzerinde gösterilen bilgiler şu şekilde sıralanabilir:

- Ekonomik hedef hız,
- Ekonomik hedef irtifa,
- V1 ve V2 hızları,
- Karar verme yüksekliği (Decision Height -DH-) veya yaklaşımlarda minimum karar verme irtifası (Minimum Decision Altitude -MDA-). Bu değerler PFD'nin üst kısmında Flight Mode Annunciator (FMA) bölümünde DH ve MDA olarak belirtilirler,
- İrtifa skalası üzerinde irtifa engelleri (altitude constraints),
- FM teorik dikey uçuş planına göre, o an uçuş planındaki dikey lineer sapma,
- Landing Elevation değeri.

2.7.2. ND üzerinde FM bilgileri

ND, EFIS kontrol paneli üzerinden seçilen 6 moddan birinde çalışır. ROSE-NAV, ARC ve PLAN modlarında, ND, FM tarafından hesaplanmış uçuş planını menzil (Range) düğmesiyle seçilen mesafeye göre gösterir. Genel olarak ND, uçak pozisyonunu, FCU üzerinden seçilen menzil içinde uçuş planını ve otomatik olarak, ayarlanmış seyrüsefer yardımcılarında gelen bilgileri verir. PLAN modu hariç diğer modlarda uçak sembolü ortadadır ve sabitlenmiş olarak kalır. PLAN modda ise kuzey referans olarak alınır ve uçak uçuş planı boyunca hareket eder. Bir sonraki kontrol noktası ile ilgili bilgiler ekranın sağ üst kısmında gösterilir. Burada kontrol noktası ismi beyaz renkle, onun dışındaki bilgiler (uçak başı,

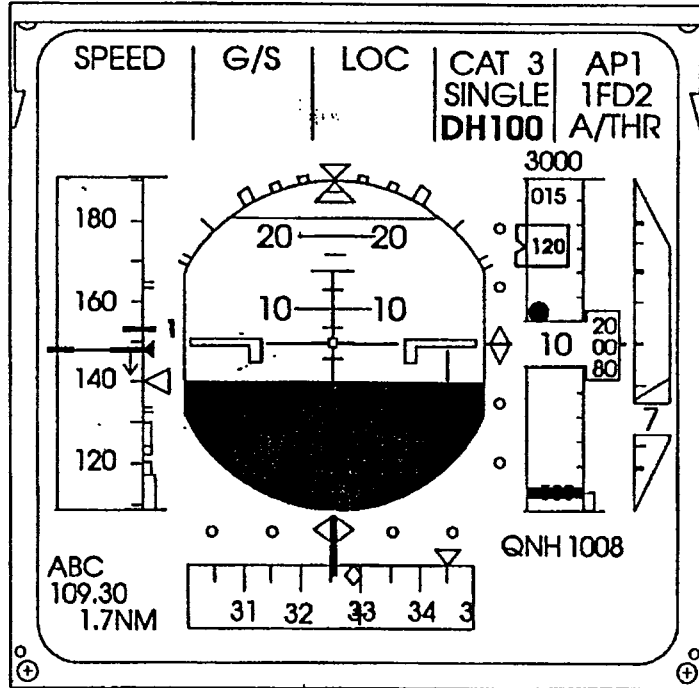
mesafe ve tahmini varış saati) ise yeşil renkle verilir. Ayrıca, eğer mevcut ise, NM cinsinden “crosstrack” sapması şeklin sağında veya solunda verilir.







Rüzgar hızı ve yönü, yer hızı ve izlenen yol gibi bilgiler FM tarafından hesaplanır ve DMC'lere iletilir. Bu bilgiler ADIRU (Air Data Inertial Reference Unit) tarafından gönderilen bilgilerden farklıdır.

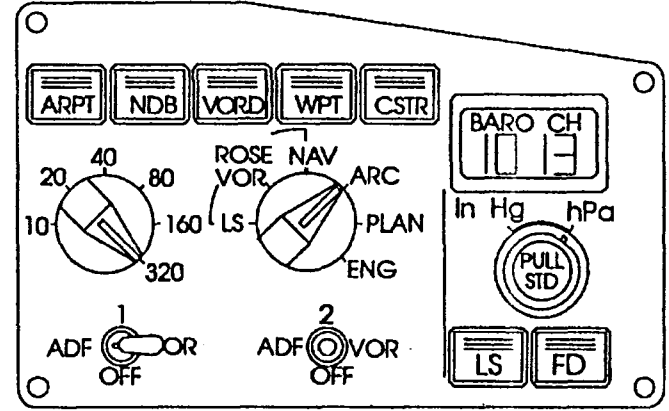
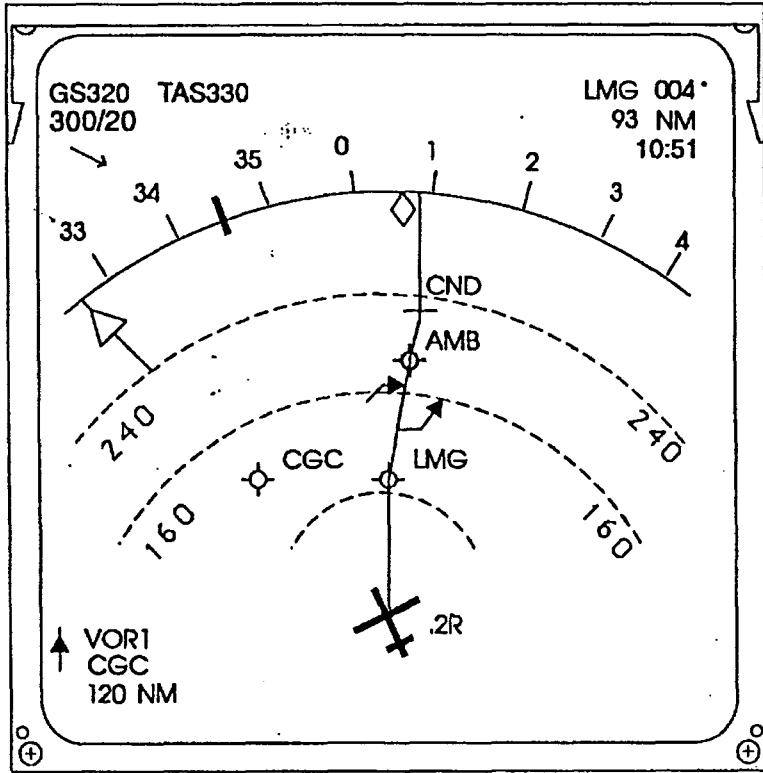
Radyo seyrüsefer yardımcı sistemleri FM tarafından ayarlandığı zaman “cyan” (turkuvaz) renkte gösterilir.

Uçuş planı boyunca, S/C (Start of Climb) , T/C, T/D, Holding Patern ve Turn Procedure gibi durumları bildiren özel semboller ekrana gelebilir. Aşağıdaki ND üzerinde LMG ve AMB kontrol noktaları arasında bulunan oklardan ilki S/C, ikincisi uçağın belirlenen bir irtifasını verir. S/C için beyaz renk aktif edilmemiş, mavi renk ise aktif edilmiş tırmanmayı verir. İkinci ok için ise, mavi renk FCU tarafından seçilen irtifayı, magenta (eflatun) renk ise sınırlandırılmış irtifayı verir.

Sekil 2.11. PFD üzerinde FM bilgileri [6]
40



-  DECISION HEIGHT (WHITE AND CYAN)
-  ECON TARGET SPEED (MAGENTA)
WITH HIGH AND LOW MARGINS
IN DESCENT MODE
-  V1 SPEED (CYAN)
-  ALTITUDE
CONSTRAINT
(MAGENTA)
-  LINEAR VERTICAL
DEVIATION
(MAGENTA)
-  LANDING FIELD
ELEVATION
(CYAN)



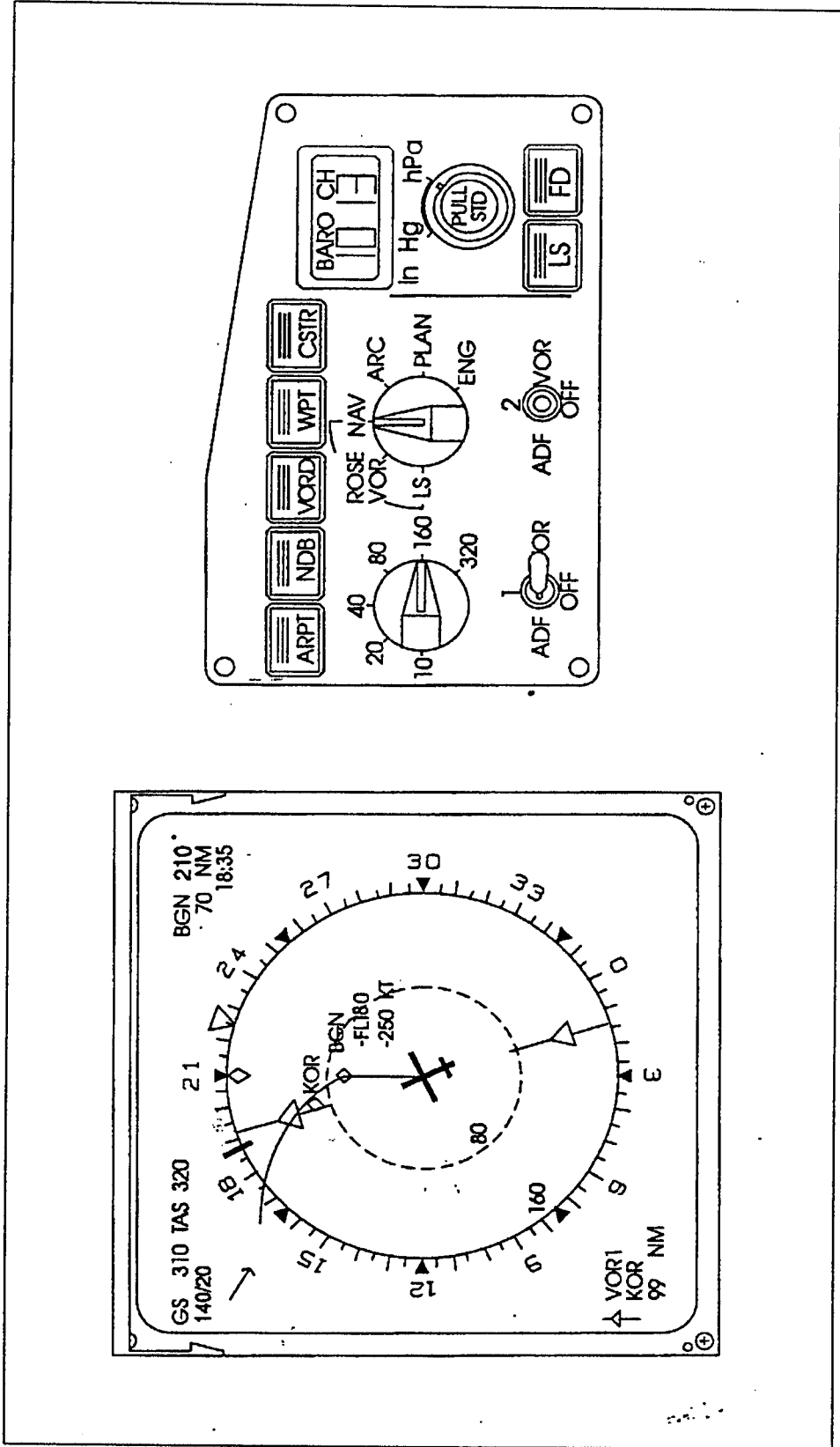
FROM	UTC	AEF101	SPD/ALT
LACOU	1039	BRG007	/ FL191
LMG	1051	TRK005	.79/ FL330
(S/C)	1051		.79/ FL330
(T/C)	1055		.79/ FL370
UR10			.68
AMB	1104		.80/
DEST	UTC	DIST	EFOB
EGLL27R	1147	392	6.5

Şekil 2.12. ND üzerinde FM bilgileri [6]

2.7.3. ND üzerinde Veri tabanı bilgileri

EFIS kontrol paneli üzerinde bulunan, ARPT, NDB, VOR.D, WPT ve CSTR tuşlarından birisine basılmasıyla bununla ilgili veri tabanındaki bilgiler ekrana aktarılır. Bu düğmeler şu bilgileri verir:

- ARPT, veri tabanında bulunan ve menzil içindeki bütün havaalanlarını yerleştirir,
- NDB, menzil içindeki Non Directional Beacon istasyonlarını yerleştirir,
- VOR.D, menzil içindeki bütün VOR ve/veya DME istasyonlarını yerleştirir,
- WPT, menzil içindeki kontrol noktalarını yerleştirir,
- CSTR, eğer varsa hız, irtifa ve zaman sınırlamalarını ekrana yerleştirir. Örneğin aşağıdaki şekile göre, BGN'de FL180 veya altında bir irtifa sınırlaması ve 250 Kt'ın altında bir hız sınırlaması vardır.



Şekil 2.13. ND Üzerinde FM Database bilgileri [6]

3. UÇUŞ MALİYETİ

3.1. Giriş

Uçuş maliyeti kavramına geçmeden önce maliyetin tanımını yapmak gerekmektedir.

Genellikle amaca, içinde bulunulan duruma ve bu kavramı kullanan kişiye göre farklı tanımlar yapılabilmektedir. En genel anlamıyla maliyet, belli bir amaca ulaşmak için katlanılan ve genellikle parayla ölçülebilen fedakarlıklardır. [7]

Maliyet katsayısı (Cost Index –CI-), uçuş performansını optimize etmek ve belli bir uçuş hattında uçuş maliyetini düşürmek için kullanılan ve uçuş yönetim bilgisayarına (Flight Managment Computer –FMC-) girilen bir katsayıdır.

$$CI = \frac{CT}{CF} \quad (3.1.)$$

formülüyle bulunur. Burada;

CT: uçuş süresine bağlı giderler

CF: yakıt giderleri'dir.

Maliyet katsayısının nasıl hesaplandığı ve kullanıldığı 4. Bölümde anlatılacaktır. Bu bölümde CI'nin bulunmasında kullanılan maliyetlerin nasıl hesaplandığı açıklanacaktır.

Verilen bir uçuş için toplam uçuş maliyeti, sabit ve değişken giderlerin bütününe eşittir.

$$C = (C_F \times \Delta F) + (C_T \times \Delta T) + C_c \quad (3.2.)$$

burada;

C : toplam maliyet

C_T : uçuş süresine bağlı birim maliyet

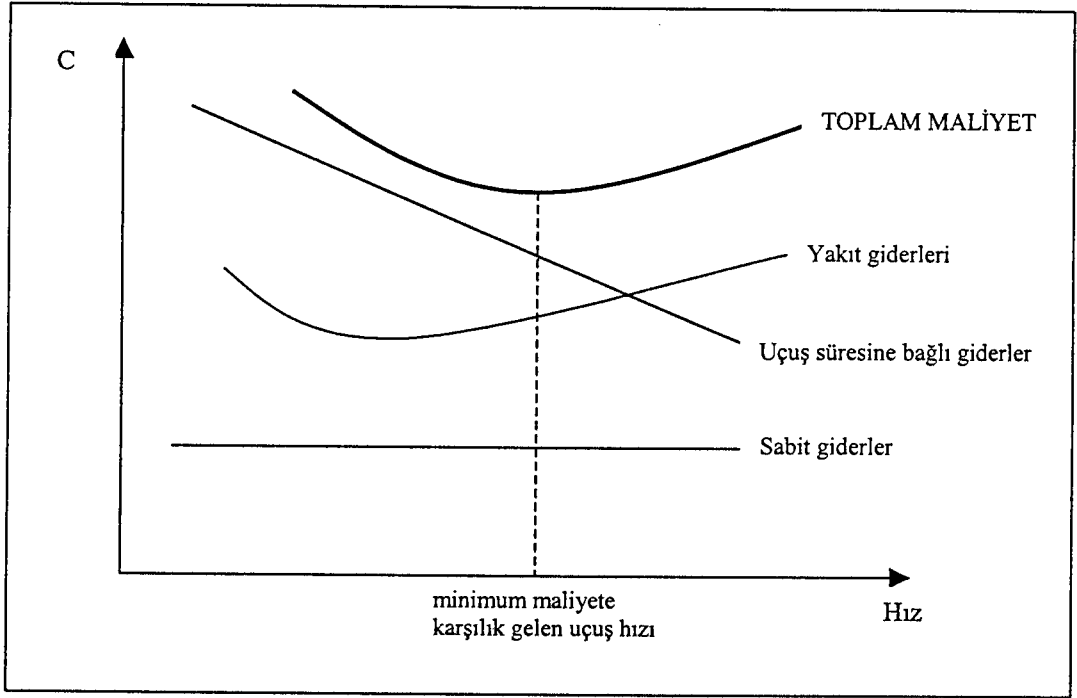
C_F : yakıt birim fiyatı

C_c : zamandan bağımsız sabit giderler

ΔF : uçuşta kullanılan yakıt miktarı

ΔT : uçuş süresi

Bu maliyetler (C , C_T , C_F , C_C) uçuş hızına bağlı olarak şekil 3.1.'deki gibi verilebilir. Bu şekil maliyet katsayısının açıklanmasında kullanılacak temel grafiklerdir.



Şekil 3.1. Toplam uçuş maliyetinin Mach sayısına göre değişimi [8]

3.2. Sabit Giderler

Sabit giderler C_c , uçuş süresi, yakıt ve yakıt maliyetinden bağımsızdır ve ihmal edilebilir. Bu giderler şunları içerir:

- periyodik bakım giderleri
- iniş ve havaalanı vergileri
- personele ödenen maaşlar
- yolcu ikram maliyeti
- uçuş süresinden bağımsız, uçuş süresine bağlı uçak amortismanı

3.3. Uçuş Süresine Bağlı (Değişken) Giderler

Bir uçuşun maliyetinin, yakıt maliyetinin yanında uçuş hızına yada o uçuş için harcanan süreye de bağlı olduğu uzun zamandır bilinmektedir. Bazı maliyetler direkt olarak uçuş süresiyle ilişkilidir. Örneğin uçuş süresinin %10 düşürülmesi bu maliyetlerin de %10 düşmesine sebep olacaktır. Bu maliyetlere “Uçuş Süresine Bağlı Maliyetler” veya “Marjinal Maliyetler” denir. Uçağın minimum maliyetle uçmasının hesaplanmasında temel parametrelerden birisidir. Bu maliyetlerin temelini şunlar oluşturmaktadır:

- Uçuş ekibi giderleri
- Kabin ekibi giderleri
- Bakım giderleri
- Uçuş süresine bağlı uçak amortisman ve leasing giderleri.

Bunlar dışında etki eden bazı giderler de ayrı bir başlık altında incelenebilir.

Her havayolunun maliyet yapısının farklı oluşu ve uçuş süresine bağlı maliyete

etki eden bir çok faktörün bulunması bu maliyetin analizini ve hesaplanmasını zor kılmaktadır.

3.3.1. Uçuş ekibi giderleri

Havayolu şirketinin uyguladığı politikaya göre uçuş ekibi giderleri sabit veya değişken giderler sınıfına sokulabilir. Eğer uçuş ekibine sabit olarak aylık belirli bir ücret ödeniyorsa bu giderler sabit giderler içine girer ve maliyet katsayısının hesaplanmasında yer almaz. Bugün genelde uygulanan politika, aylık bir uçuş saati belirleyip bu saate kadar sabit bir aylık vermektir. Bundan sonra, uçuş süresi uzadığında uçuş ekibi giderlerinin uçuş süresine bağlı giderlere etki ettiği de açıkça görülmektedir.

Uçuş ekibi giderlerinin hesaplanmasında izlenen politikalara örnek olarak iki havayolunu verebiliriz:

SWISS AIR uçuş ekibi giderlerini sabit giderler olarak alır ve maliyet katsayısının hesaplanmasında kullanmaz. Kullanılan tek faktör uçuş süresine bağlı bakım maliyetleridir. Bunun dışında, gecikmelerin ek bir maliyet getirmediği kabul edilir [9].

AIR France, uçuş ekibi maliyetini de uçuş süresine bağlı maliyetler içine katar ve bunu basit bir yöntemle hesaplar. Bu hesaplamada verilen bir hat için iki farklı durum ele alınır. Birinci durumda normal bir uçuş yapan uçuş ekibinin maliyeti hesaplanır. İkinci olarak bu ekibin aynı hatta 100 saat fazla uçuş yaptığı ön görülerek yeni bir maliyet hesaplanır. Bu iki değer arasındaki fark o uçuş ekibinin 100 saatlik maliyetini verir. Bu değer 100'e bölünerek uçuş ekibinin saatlik maliyeti bulunur [9].

Uçuş ekibinin saatlik maliyeti genelde aşağıdaki yöntemle hesaplanır. Bu yöntem Airbus Industrie Marketing bölümü tarafından Direkt İşletme Maliyeti'nin

hesaplanmasında kullanılmaktadır.

Örnek:

Ortalama sektör uzunluğu 4000 mil (yaklaşık 8,75 saat) olan ve uzun menzil uçuş sınıfına giren bir hat alınmıştır. Saat başına uçuş ekibi maliyeti aşağıdaki formülle hesaplanır.

$$\text{Uçuş ekibi maliyeti (saat başına)} = \text{anahat değeri} * \text{personel faktörü} * \text{ekstra personel faktörü} * \text{personel sayısı faktörü} * \text{görev faktörü} * \text{enflasyon} \quad (3.3.)$$

Anahat değeri: Her uçak için menzile karakteristiğine ve maksimum kalkış ağırlığına (maximum take-off weight – MTOW -) göre değişen bir anahat değeri vardır. Dolayısıyla bu değer ağırlığa bağlı ödeme ve menzile bağlı ödeme değerlerinin toplamına eşittir. Ağırlığa bağlı ödeme MTOW, menzile bağlı ödeme ise uçuş hattı menziline bağlı olarak belirlenir. Bu örnekte, bir A340 uçağı için 1992 yılı değerleriyle:

$$\begin{aligned} \text{Anahat değeri} &= \text{ağırlığa bağlı ödeme} + \text{menzile bağlı ödeme} \\ &= 123,8\$ + 16,95\$ \\ &= 140,75 \$/\text{saat} \end{aligned}$$

Personel faktörü: Personel faktörü de uçak ağırlığı ve menzile göre hesaplanır ve yardımcı pilot ve kaptan pilot personel faktörlerinin toplamına eşittir. Bu değer havayolu tarafından hesaplanan sabit bir katsayı olarak düşünülmelidir.

$$\text{Personel faktörü} = 2,259$$

Ekstra personel faktörü: Kritik bir uçuş saatini aşan duraksız (non-stop) uçuşlarda (burada bu değer 5.25 saattir) ekstra bir uçuş personeline ihtiyaç duyulur. Bu faktör ekstra bir maliyet getirir. 8.75 saatlik bir uçuş için bu değer 1.503'e eşittir.

Ekstra personel faktörü=1.503

Personel sayısı faktörü: 2 pilottan oluşan bir uçuş ekibi için bu değer 0.77'dir.

Personel sayısı faktörü=0.77

Görev faktörü: Bu faktör uçuş uzunluğuna ve uçuş ekibinin yüküne bağlıdır.

Görev faktörü: 1.41

Bu değerler havayolu tarafından hesaplanan katsayılarıdır.

Enflasyon değeri %11 olarak alınmıştır.

Sonuç olarak,

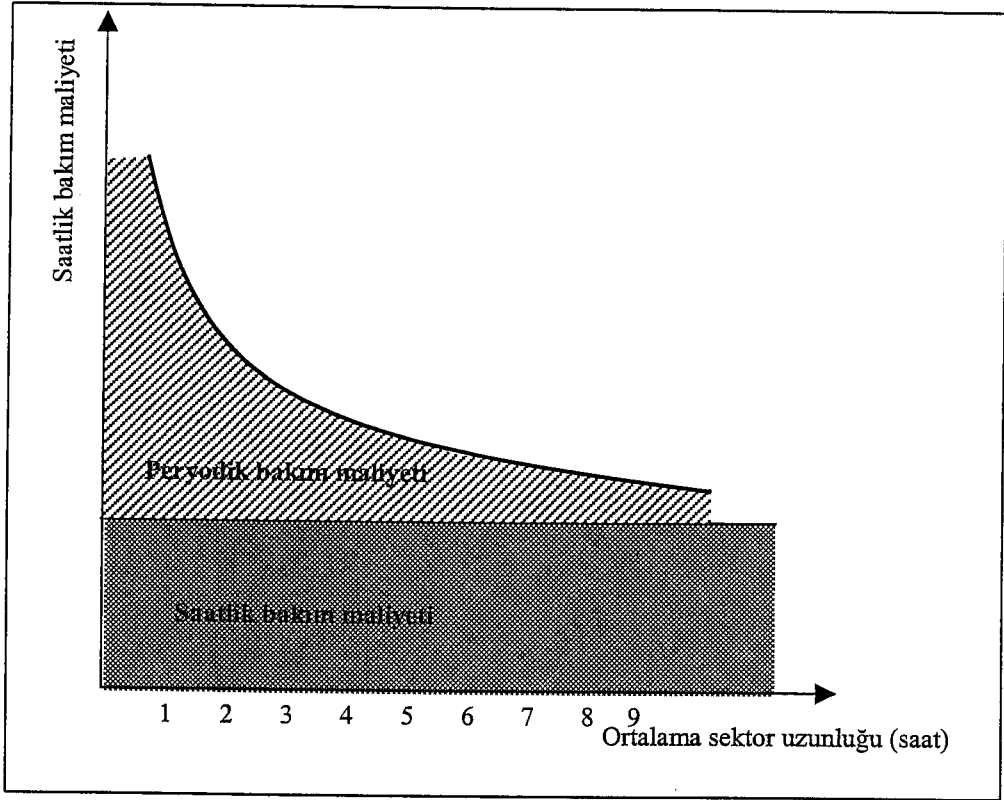
$$\begin{aligned} \text{Uçuş ekibi maliyeti (saat başına)} &= 140.75 * 2.259 * 1.503 * 0.77 * 1.41 * 1.11 \\ &= 575.9 \text{ \$/uçuş saati} \end{aligned}$$

3.3.2. Kabin ekibi giderleri

Kabin personeli giderleri de uçuş ekibi giderlerine benzer bir şekilde hesaplanmaktadır. Bu giderler uçuş saatine bağlı olabildiği gibi aylık süreye bağlı olarak da hesaplanabilir. Bunun yanında, aylık belli bir uçuş saatine kadar sabit ücret ödenip, bu süreden fazla uçuşlar için uçuş saatine bağlı olarak ücret ödemesi yapılabilir.

3.3.3. Bakım giderleri

Bakım maliyetleri, periyodik ve saatlik bakım maliyetleri olarak gruplandırılır. Bazı uçak elemanlarının bakımı uçuş saatinden çok yapılan uçuş sayısına bağlıdır. Örneğin iniş takımları için önemli olan yapılan iniş sayısıdır, çünkü uçuş boyunca iniş takımları kullanılmaz. Bazı durumlarda ise uçuş elemanlarının bakımı uçuş sayısından çok yapılan uçuş saatine bağlıdır, örneğin havalandırma sistemleri. Burada zor olan hangi bakımın ne oranda periyodik, ne oranda saatlik bakım kapsamına girdiğini belirlemektir. Uçuş saati başına bakım maliyetini bulmak için periyodik bakım ve saatlik bakım arasındaki ilişki şekil 3.2.'deki gibi ifade edilebilir.



Şekil 3.2. Bakım maliyetinin dağılımı

Saatlik bakım maliyetini bulma yöntemlerinden birisi şu şekildedir: Uçak gövde

ve motoru değişik ATA gruplarına bölünür, her ATA bölümünün alt başlıkları ayrıca incelenerek her iş için saatlik bakım yüzdesi belirlenir. Her iş için is gücü ve malzeme maliyetleri tespit edilir. Daha sonra bütün saatlik maliyetlere karşılık gelen terimler toplanarak her ATA bölümü için saatlik bakım maliyeti belirlenmiş olur.

İkinci yöntemde ise malzeme ve işçilik giderleri hesaplanarak iki farklı kullanım için direkt bakım maliyeti bulunur. Örneğin A340 uçaklarında 1 saatlik bir sektör uzunluğu için direkt bakım maliyeti (Direct Maintenance Cost –DMC-) 1160\$, 8,75 saatlik bir sektör uzunluğu için direkt bakım maliyeti 542\$ dır. 8,75 saatlik bu sektör uzunluğu 4000 mile karşılık gelir, bu ise A340 uçakları için ortalama sektör uzunluğudur. Buradan iki bilinmeyenli iki denklem elde edilir. Bu denklemlerin çözümünden saatlik bakım maliyeti şu şekilde bulunur:

$$1160 = 1160x + \frac{1160}{1} y \quad (3.4.)$$

$$542 = 1160x + \frac{1160}{8,75} y \quad (3.5.)$$

burada;

x : saatlik bakım maliyeti yüzdesi

y : periyodik bakım maliyeti yüzdesi

Burada unutmamak gerekir ki saatlik bakım maliyeti sektör uzunluğundan bağımsızdır. Şekil 3.2. incelendiğinde sektör uzunluğu artsa bile saatlik bakım maliyetinin sabit kaldığı görülür. Yukarıdaki denklemler çözüldüğünde

$$x = \%40$$

$$y = \%60$$

bulunur. Diğer bir ifadeyle

$$\text{saatlik bakım maliyeti} = 1160 * \%40 = 464\$$$

$$\text{periyodik bakım maliyeti} = 1160 * \%60 = 696\$ \text{ dir.}$$

Çizelge 3.1.'de A340-300 (motor CFM56) uçakları için saatlik ve periyodik bakım maliyetleri (saat başına) listelenmiştir [10]. Bu değerler yukarıda 1. yöntemde açıklandığı gibi her ATA bölümü için bulunan değerlerin toplamından elde edilmiştir.

Çizelge 3.1. İş gücü ve malzeme maliyeti

İş gücü / saat			
	Uçuş süresine bağlı maliyet	Periyodik maliyet	Toplam
<i>gövde</i>	2,834 saat	4,454 saat	7,288 saat
<i>Motor</i>	1,963 saat	2,158 saat	4,121 saat
Toplam	4,797 saat	6,612 saat	11,409 saat
Malzeme maliyeti (\$/saat)			
	Uçuş süresine bağlı maliyet	Periyodik maliyet	Toplam
<i>gövde</i>	55,70	210,85	266,55
<i>Motor</i>	172,88	190,83	363,71
Toplam	228,58	401,68	630,26

Örnek (Çizelge 3.1.'deki değerler alınarak saat başına, uçuş süresine bağlı maliyetlerin hesaplanması):

İşçilik maliyeti: 22 \$/saat

Hat bakımı ihmal edilmiştir.

$$\text{Gövde} = 2,834 * 22 + 55,70$$

$$\text{Motor} = 1,963 * 22 + 172,88$$

Uçuş süresine bağlı maliyet= $105,534 + 228,58 = 334,11$ \$/saat

burada:

105,534 : İşçilik maliyeti

228,58 : malzeme maliyetidir.

3.3.4. Uçak amortismanı

Uçağın ekonomik ömrü sınırlıdır ve değeri her geçen sürede düşer. Dolayısıyla Uçak ilk alınırken ödenen miktar bir işletme maliyeti olarak göz önünde tutulmalıdır. Bu maliyet, uçağın ekonomik ömrü göz önüne alınarak yıllara yayılır ve buradan uçağın amortisman değeri bulunmuş olur. Daha sonra bu amortisman değeri, uçuş sayısına, uçulan mesafeye, uçuş saatine veya normal süreye bağlı olarak işletme maliyetlerine dahil edilir. Eğer uçak amortismanı uçuş saati dikkate alınarak hesaplanıyorsa, bu durumda maliyet katsayısının hesaplanmasında uçak amortismanı da göz önüne alınır.

3.3.5. Diğer etkenler

Daha önce açıklanan uçuş süresine bağlı maliyetlerin yanında, gecikmelerin sebep olduğu ek maliyetler de vardır. Bunlar genelde; kaçırılan uçuş, yolculara verilen ikram ve bazı durumlarda yolcuların konaklama maliyetleridir. Bunlar havayolu şirketlerine göre değişmekle birlikte, sadece belli bir gecikme limitinden sonra geçerlidir.

Gecikmelerden dolayı uçuş personeli fazla uçuş yapmış olur ve bu fazla uçuş süresi ek bir maliyet getirir. Uçuş personelinin yapmış olduğu bu fazla uçuş saatini hesaplamak kolay olmakla birlikte, bunun uçuş personeli maliyetine yansıtılması karmaşıktır. Havayolu şirketleri genelde, belli bir periyot için ortalama bir değer olarak bu maliyeti uçuş personeli maliyetine dahil ederler.

Havayolu şirketleri, müşteri memnuniyetsizliğinden kaynaklanan müşteri kaybını ek bir maliyet olarak kabul etmelidirler. Kötü bir servis ve uçuşlardaki gecikmeler havayolu şirketinin imajını düşürür ve bu da müşteri kaybına sebep olur.

Amerika gibi uçuş hatlarının çok ve uçuşların yoğun olduğu yerlerde havayolu şirketleri, uçak doluluğunu optimize etmek için bağlantılı seferler yaparlar. Bu durumda herhangi bir uçuştaki gecikme diğer uçuşuda etkiler ve uçuşu kaçıran yolcunun başka bir uçuşa verilmesi gerekir. Ayrıca bu süre içinde yolcu için ek ikram ve bazı durumlarda da konaklama maliyeti söz konusudur.

3.4. Yakıt Maliyeti

Eşitlik 3.1.'de verildiği gibi maliyet katsayısının hesaplanmasında kullanılan diğer parametre yakıt maliyetidir. \$/kg olarak alınan bu değer hesaplanması saatlik uçuş maliyetin hesaplanması kadar karmaşık değildir. Değişik meydanlardaki yakıt fiyatlarının farklı oluşu, dönüş uçuşu için yakıt depolanmasını gerekli kılar. Diğer bir ifadeyle, yakıt maliyetini minimumda tutabilmek için yakıt fiyatının daha düşük olduğu meydana daha fazla yakıt alınır. Bu durumda ortalama yakıt fiyatı bulunarak bu değer maliyet katsayısının hesaplanmasında kullanılır.

Yakıt maliyeti şu etkenlere bağlıdır:

- kalkış havaalanındaki yakıt fiyatı,
- varış havaalanındaki yakıt fiyatı,
- yolculuk için gerekli olan yakıt (A meydanından B meydanına veya tersi),
- alınan yakıt miktarı,
- ek yük taşıma faktörü,
- A ve B meydanları arasındaki yakıt fiyat oranı.

Verilen şartlarda (uçak ağırlığı, uçuş mesafesi, uçuş seviyesi, hava şartları) uçağa

alınan her ek yükü (kargo veya yakıt) taşımak için ek bir yakıt harcanır. Bu da yük taşıma faktörü (Load Transportation Factor –LTF-) olarak verilir. LTF, FCOM (Flight Crew Operating Manual)'de verilen yakıt sarfiyatındaki değişim (Δ Fuel Consumption - Δ FC-)’e göre hesaplanır.

Örnek:

Uçuş seviyesi (Flight Level –FL-) FL350 (35000 feet) olan, 1600 nm’lik bir uçuş için çizelge 3.2.’den Δ FC değeri bulunur [11].

$$\Delta\text{FC} = 70\text{kg} / 1000\text{kg}$$

Bu değer her 1000 kg’lık fazla yük için 70kg ek yakıt gerektiğini belirtir. Buradan,

$$\text{LTF} = 70/1000$$

$$\text{LTF} = 0.07 \text{ kg/kg} \quad \text{olarak bulunur.}$$

Cizelge 3.2. Yakıt sarfiyatındaki değişim değerleri

FLIGHT PLANNING FROM BRAKE RELEASE TO LANDING
 REF. LANDING WEIGHT = 100000 KG
 ECONOMIC AIR CONDITIONING
 ANTI-icing OFF
 ISA
 CG = 37.5 %

AIR DIST. (NM)	FLIGHT LEVEL										CORRECTION ON FUEL CONSUMPTION (KG/1000KG)	
	290	310	330	350	370	390	410	FL290 FL310	FL330 FL350	FL370 FL390	FL410	FL430 FL450
1480	18550 3.22	14773 3.24	14992 3.25	13551 3.27	13209 3.28	13094 3.28	13718 3.29	47	64	101	108	
1500	18751 3.25	14962 3.27	15171 3.28	13723 3.30	13377 3.30	13261 3.30	13900 3.30	49	65	103	109	
1520	18952 3.28	15152 3.29	15361 3.31	13905 3.32	13559 3.32	13443 3.33	14082 3.33	48	66	104	111	
1540	19153 3.30	15342 3.32	15551 3.33	14087 3.35	13741 3.35	13625 3.36	14264 3.36	49	67	105	113	
1560	19354 3.33	15532 3.34	15741 3.35	14270 3.38	13924 3.38	13808 3.38	14447 3.38	60	68	107	114	
1580	19555 3.35	15723 3.37	15932 3.39	14452 3.40	14106 3.40	13990 3.41	14626 3.41	50	69	108	116	
1600	19757 3.38	15912 3.39	16121 3.41	14635 3.43	14289 3.43	14173 3.44	14805 3.44	51	70	110	118	
1620	19959 3.40	16102 3.42	16311 3.44	14817 3.45	14472 3.45	14356 3.46	14988 3.46	52	71	111	120	
1640	20161 3.43	16293 3.45	16502 3.47	15000 3.48	14656 3.48	14540 3.49	15171 3.49	53	72	112	121	
1660	20363 3.46	16484 3.47	16703 3.50	15183 3.51	14839 3.51	14723 3.52	15354 3.52	53	73	114	122	
	20565 3.47	16675 3.50	16922 3.52	15366 3.52	15022 3.52	14906 3.53	15537 3.53	54	74	115		
2000	21117 4.32	17217 4.34	17426 4.37	16038 4.38	15696 4.39	15580 4.39	16219 4.39	65	71	143	156	
2020	21319 4.34	17419 4.37	17628 4.39	16230 4.41	15828 4.41	15712 4.42	16357 4.42	66	72	144	161	
2040	21521 4.37	17621 4.41	17830 4.44	16362 4.44	15966 4.45	15850 4.45	16496 4.45	67	73	146	163	
2060	21723 4.40	17823 4.44	18039 4.47	16494 4.46	16104 4.47	15988 4.47	16635 4.47	67	73	146	165	
2080	21925 4.42	18025 4.47	18244 4.49	16626 4.49	16246 4.50	16130 4.50	16774 4.50	67	73	147	167	
2100	22127 4.45	18227 4.49	18446 4.51	16758 4.51	16388 4.52	16272 4.52	16913 4.52	68	74	149	169	
2120	22329 4.45	18429 4.51	18665 4.53	16890 4.53	16529 4.53	16456 4.53	17054 4.53					

FLIP20G-A310-304 CF-6-80C2A2-3224031251000001 07250300 0.3900 0.000000 368 030300 100 0.500300 60 60 185.00

Mod. : 4801 + 4B63
 GE Eng. : 80C2

Ek yakıt taşımanın asıl sebebi varış meydanındaki yakıt fiyatının kalkış meydanındaki yakıt fiyatından daha fazla olmasıdır. Bu durumda toplam yakıt maliyetini minimumda tutabilmek için kalkış meydanından mümkün olduğu kadar fazla yakıt almak gerekir. Bu miktar belirlenirken aşağıdaki kriterler göz önünde tutulmalıdır:

- maksimum kalkış ağırlığı,
- maksimum iniş ağırlığı,
- yakıt kapasitesi,
- LTF'nin yakıt maliyetine etkisi.

Buradan açıkça görülmektedir ki bu yolculuk için kullanılan yakıt fiyatı A veya B meydanındaki yakıt fiyatlarından farklıdır ve buna “Görünür Yakıt Fiyatı” denir. Dolayısıyla maliyet katsayısını hesaplarken A veya B meydanındaki yakıt fiyatı değil, görünür yakıt fiyatı referans olarak alınmalıdır.

Minimum yakıt maliyetini elde etmek için alınacak optimum yakıt miktarının ve görünür yakıt fiyatının hesaplanmasında kullanılacak terimler şunlardır:

A : Kalkış meydanı

B : Varış meydanı

TF_{AB} : A'dan B'ye uçuş için gerekli yakıt

TF_{BA} : B'den A'ya uçuş için gerekli yakıt

Q : Alınan ek yakıt miktarı

FP_A : A meydanındaki yakıt fiyatı

FP_B : B meydanındaki yakıt fiyatı

FPR : yakıt fiyatı oranı (FP_A / FP_B)

$f_{PA(B)}$: A veya B meydanındaki görünür yakıt fiyatı

LTF : Ek yük taşıma faktörü

$CI_{REF A(B)}$: Ek yakıt almadan A veya B meydanındaki yakıt fiyatına göre maliyet katsayısı

$CI_{T A(B)}$: Ek yakıt alındığı takdirde elde edilen maliyet katsayısı (bu durumda görünür yakıt fiyatı $f_{P A(B)}$ baz alınır).

3.4.1. Yakıtın kalkış meydanından alınması

A meydanından alınan yakıtın ekonomik olabilmesi, yani toplam yakıt maliyetinin minimumda tutulabilmesi için şu kriterin sağlanması gerekir:

$$TF_{BA} * (1 + LTF) * FP_A < TF_{BA} * FP_B \quad (3.6.)$$

$$\frac{FP_A}{FP_B} < \frac{TF_{BA}}{TF_{BA} * (1 + LTF)}$$

$$FPR = \frac{FP_A}{FP_B} < \frac{1}{1 + LTF}$$

$$\Rightarrow FPR < \frac{1}{1 + LTF} \quad (3.7.)$$

$$\text{veya } LTF < \frac{1}{FPR} - 1 \quad (3.8.)$$

unutmamak gerekir ki LTF uçuş seviyesine ve uçuş uzunluğuna göre değişir.

Maksimum kalkış ağırlığı, maksimum iniş ağırlığı ve yakıt kapasitesi aşılmıyorsa ve eşitlik 3.7. (veya eşitlik 3.8.) sağlanıyorsa dönüş yolculuğu için gerekli yakıtın hepsi (TF_{BA}) A meydanından alınabilir. Bu yakıt, taşınacak olan ek yakıttır (Q).

$$Q = TF_{BA} * (1 + LTF) \quad (3.9.)$$

Eşitlik 3.9.'da bulunan ek yakıt miktarını (Q) taşımak yakıt maliyetini arttırır ve bu durumda A meydanındaki yakıt fiyatından (FP_A) farklı bir yakıt fiyatı elde edilir. “Görünür Yakıt Fiyatı” olarak tanımlanan bu yakıt fiyatı su şekilde bulunur:

$$\begin{aligned}
 A \text{ meydanından alınan toplam yakıt maliyeti} &= TF_{AB} * FP_A + TF_{BA} * (1 + LTF) * FP_A \\
 &= (TF_{AB} * FP_A) + (TF_{BA} * FP_A) + (TF_{BA} * LTF * FP_A) \quad (3.10.)
 \end{aligned}$$

burada;

$TF_{AB} * FP_A$ = gidiş için gerekli yakıt maliyeti

$TF_{BA} * FP_A$ = dönüş için gerekli yakıt maliyeti

$TF_{BA} * LTF * FP_A$ = taşınan ek yakıtın (Q) maliyeti

Gidiş yolculuğu için kullanılan görünür yakıt maliyeti:

$$(TF_{AB} * FP_A) + (TF_{BA} * LTF * FP_A) \quad (3.11.)$$

$$TF_{AB} * FP_A * \left(1 + LTF * \frac{TF_{BA}}{TF_{AB}} \right)$$

$$f_{PA} = FP_A * \left(1 + LTF * \frac{TF_{BA}}{TF_{AB}} \right) \quad (3.12.)$$

Görünür yakıt fiyatı ile elde edilen yakıt maliyeti, gidiş yolculuğunda kullanılacak maliyet katsayısının farklı bir değer olmasına sebep olur. Aradaki ilişki şu şekilde ifade edilebilir:

$$CI_{REF_A} = \frac{C_T}{FP_A}$$

$$CI_{TA} = \frac{C_T}{f_{PA}} = \frac{C_T}{FP_A} * \frac{FP_A}{f_{PA}}$$

$$CI_{TA} = CI_{REF_A} * \frac{FP_A}{f_{PA}} \quad (3.13.)$$

$$\Rightarrow CI_{TA} < CI_{REF_A} \quad (\text{çünkü } f_{PA} > FP_A)$$

Ek yakıt taşınması dönüş yolculuğu için kullanılacak maliyet katsayısının da değişmesine sebep olur. Aradaki ilişki şu şekilde ifade edilir:

$$CI_{REF_A} = \frac{C_T}{FP_A}$$

$$CI_{TB} = \frac{C_T}{FP_A} = \frac{C_T}{FP_B} * \frac{FP_B}{FP_A} = \frac{C_T}{FP_B} * \frac{1}{FPR}$$

$$CI_{TB} = CI_{REF_B} * \frac{1}{FPR} \quad (3.14.)$$

$$\Rightarrow CI_{TB} > CI_{REF_B} \quad (\text{çünkü } FP_A < FP_B \Rightarrow FPR < 1)$$

3.4.2. Yakıtın kalkış ve varış meydanından alınması

Buraya kadar yapılan hesaplamalarda gerekli şartların sağlandığı ve dönüş yolculuğu için gerekli yakıtın hepsinin A meydanından alındığı kabul edilmişti.

Bu şartların sağlanmadığı durumda dönüş yolculuğu için gerekli yakıtın sadece bir kısmı A meydanından alınır ve diğer kısmı ise B meydanında tamamlanır. Bu durum “kısmi ek yakıt alımın”ı gerekli kılar. Bu durumda B meydanındaki görünen yakıt fiyatı (f_{PB}) şu şekilde bulunur:

$$\text{donus yolculugu icin toplam yakit maliyeti} = TF_{BA} * f_{PB}$$

$$= Q * FP_A + (TF_{BA} - Q) * FP_B \quad (3.15.)$$

$$f_{PB} = \frac{Q * FP_A + (TF_{BA} - Q) * FP_B}{TF_{BA}} \quad (3.16.)$$

Sonuç olarak B meydanındaki görünür yakıt fiyatına göre dönüş yolculuğu için kullanılacak maliyet katsayısı şu şekilde bulunur:

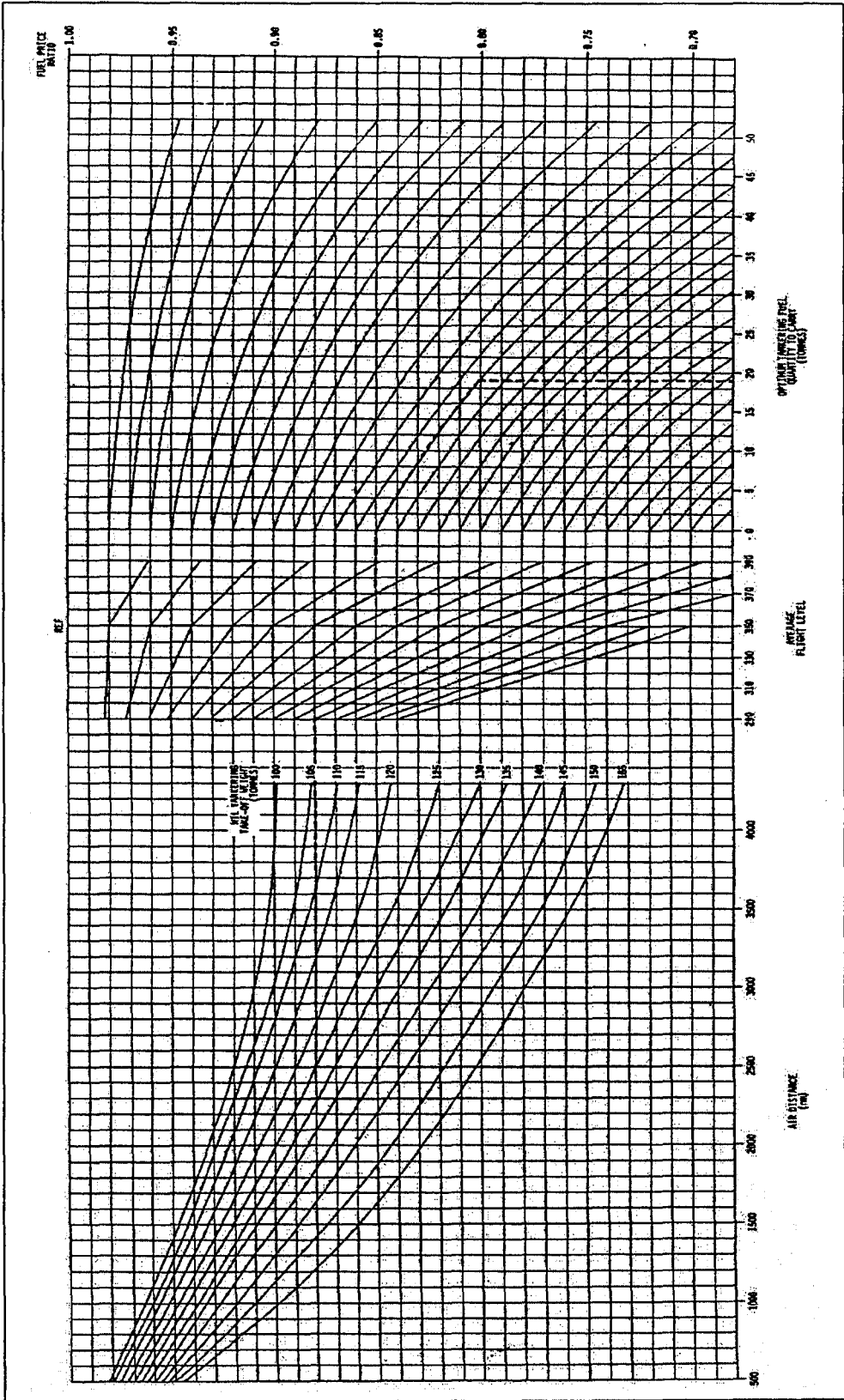
$$CI_{TB} = \frac{C_T}{f_{PB}} = C_T * \frac{TF_{BA}}{(Q * FP_A) + (TF_{BA} - Q) * FP_B}$$

$$= \frac{TF_{BA}}{\frac{(Q * FP_A)}{C_T} + \frac{(TF_{BA} - Q) * FP_B}{C_T}}$$

$$CI_{TB} = \frac{TF_{BA}}{\frac{Q}{CI_{REF_A}} + \frac{TF_{BA} - Q}{CI_{REF_B}}} \quad (3.17.)$$

3.4.3. Sonuç

Bir gidiş–dönüş yolculuğu için, bölüm 3.4.1 ve 3.4.2.'de anlatılanlar dikkate alınarak, alınması gereken yakıt miktarını veren grafikler hazırlanmıştır. Bir uçuş için kalkış ağırlığı, uçuş seviyesi, uçulacak mesafe ve yakıt fiyat oranı bilindiği için alınacak ek yakıt miktarı bu grafiklerden kolaylıkla bulunabilir. Şekil 3.3.'de alınacak yakıt miktarını veren böyle bir grafik görölmektedir.



Sekil 3.3. Alınacak ek yakıt miktarının bulunması [9]

4. MALİYET KATSAYISI

4.1. Giriş

1970'li yılların başlarında petrol krizinin ortaya çıkması havayolu şirketlerini ve uçak yapım firmalarını bu konuda yeni çözümler bulmaya ve yakıt maliyetini düşürmeye zorladı. Bazı şirketler için yakıt maliyeti toplam maliyetin %45'ini oluştururken, sonraki yıllarda bu değer %20'lere kadar düşürüldü. 1980'li yıllarda FMS'in kullanılmaya başlanmasıyla uçuş profilleri, diğer maliyetleri de düşürecek şekilde geliştirildi. FMS sadece gelişmiş seyrüsefer kolaylıkları getirmedi, bunun yanında, gerçek zamanlı (real time) performans hesaplarının yapılmasını da mümkün kıldı. Bu şekilde tırmanma, düz uçuş, alçalma hızları, irtifa ve hız engelleri veya varış saati dikkate alınarak seçilmeye başlandı. Ayrıca maliyet katsayısı (CI) kavramının kullanılmaya başlanmasıyla uçuş, minimum uçuş süresi veya minimum yakıt maliyeti arasında optimize edilmeye başlanmıştır.

Maliyet katsayısı genel anlamda, bir uçuş maliyetini minimumda tutmaya yarayan bir katsayıdır. Uçuş süresine bağlı maliyet ve yakıt maliyeti arasındaki en iyi dengeyi verir. Bu şekilde elde edilen uçuş hızı "ECON Speed" (Ekonomik Hız) olarak geçer. Uçağın bu hızda uçması demek, o uçuşun minimum maliyette gerçekleşmesi demektir.

Boeing tarafından yapılan bir çalışmada 100 Nm'lik bir uçuş mesafesi için yakıt ve uçuş süresine bağlı maliyetler, değişik Mach değerleri için (0.75, 0.77, 0.79 ...) hesaplanmış ve aşağıdaki değerler bulunmuştur [12]:

Uçak: B767-200

Uçuş seviyesi: FL350

GW: 310000 lb

Uçuş süresine bağlı maliyet: 500 \$/saat

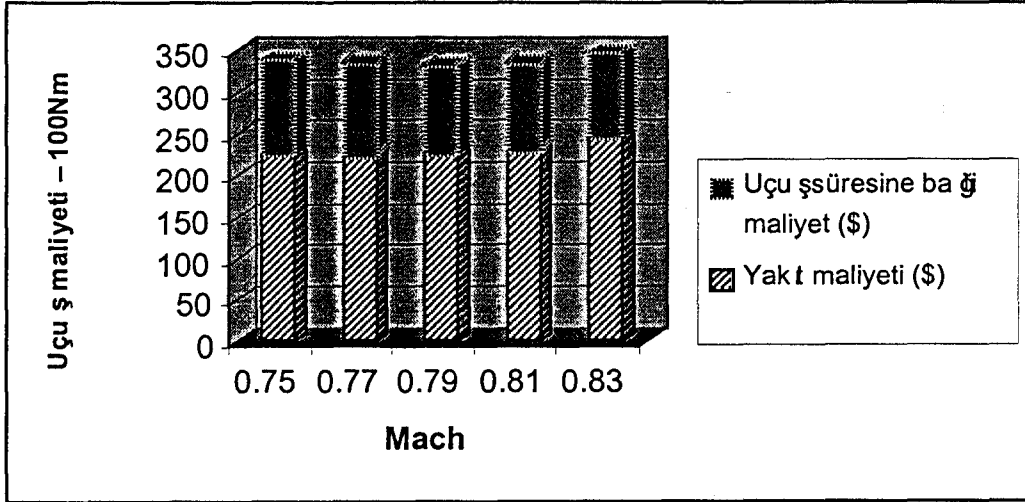
Yakıt maliyeti: 0.10 \$/lb

Uçuş mesafesi: 100 Nm

Çizelge 4.1. B767-200 için değişik Mach değerlerine karşılık gelen maliyetler

Mach	0.75	0.77	0.79	0.81	0.83
Süre (saat)	0.231	0.225	0.220	0.214	0.209
Yakıt (lb)	2242	2230	2235	2294	2451
Zamana bağlı maliyet (\$)	116	113	110	107	105
Yakıt maliyeti (\$)	224	223	224	229	245
TOPLAM (\$)	340	336	334	336	350

Burada elde edilen maliyet değerleri aşağıdaki grafikteki gibi ifade edilebilir:



Şekil 4.1. Değişik Mach değerleri için toplam maliyetler

Şekil 4.1.'den de görüldüğü gibi her ne kadar 0.77M değerinde minimum yakıt harcansada, minimum uçuş maliyetini veren hız değeri 0.79M 'dir. CI hiç bir zaman minimum yakıt maliyetini bulmaya yarayan katsayı olarak düşünülmemelidir.

4.2. Maliyet Katsayısının Hesaplanması

Maliyet katsayısı (CI) son derece basit bir formülle hesaplanır:

$$CI = \frac{CT}{CF} \quad (4.1.)$$

Bölüm 3.1.'de de belirtildiği gibi burada;

CT : uçuş süresine bağlı giderler

CF : yakıt giderleridir.

CI, kullanıldığı FMS'in yapım firmasına göre değişik birimlerde ifade edilebilir.

- Sperry FMS'leri için birim:

$$\frac{\$/\text{saat}}{c/lb} \Rightarrow \frac{kg}{dakika} \quad \text{veya} \quad 100* \frac{lb}{\text{saat}}$$

burada;

c : cents (1/100 \$)

lb : pound'dur.

$$0.022 \frac{\$}{kg} = \frac{c}{lb}$$

$$0.76 \frac{kg}{dakika} = 100 \frac{lb}{\text{saat}}$$

alabileceği değerler: 0 – 999

- Smiths FMS'leri için maliyet katsayısı % değer olarak ifade edilir.

$$CI = \frac{CT}{CT + CF} * 99\%$$

$$\Rightarrow \frac{\$/saniye}{\$/saniye + \$/kg}$$

alabileceği değerler: 0 – 99

Örnek:

Yakıt fiyatı: 28 c/b

Uçuş süresine bağlı maliyet: 500 \$/saat

Sperry CI=18 (100 lb/saat) veya CI=14 kg/dakika

CI değeri özgül menzil (Specific Range - SR) kavramından yola çıkılarak hesaplanabilir. SR kısaca, birim miktardaki yakıtla uçulan mesafe olarak tanımlanabilir.

Birimi: Nm/1000lb

Aşağıdaki denklemlerde CI'nin farklı değişkenlerle ifade edilişi görülmektedir:

$$C = (C_F \times \Delta F) + (C_T \times \Delta T) + C_c$$

$$\text{Birim mesafenin maliyeti (C / 1Nm)} = \frac{CF * \Delta F + CT * \Delta T}{G_s * \Delta T} \quad (4.2.)$$

$$= \frac{CF}{SR} + \frac{CT}{G_s} \quad (4.3.)$$

$$G_s = a.M + W \quad (4.4.)$$

$$SR = \frac{G_s * \Delta T}{\Delta F} \quad (4.5.)$$

burada;

C : Toplam maliyet

$C/1Nm$: 1 Nm'lik mesafenin değişken maliyeti

G_s : Yer hızı

SR : Özgül menzil (Nm/1000lb)

M : Mach sayısı

a : Ses hızı

W : Rüzgar hız bileşkeni

V : Gerçek hız

Verilen bir irtifa için minimum düz uçuş maliyeti

$$\Rightarrow C/1Nm = \frac{d(C/1Nm)}{dM} \Rightarrow 0$$

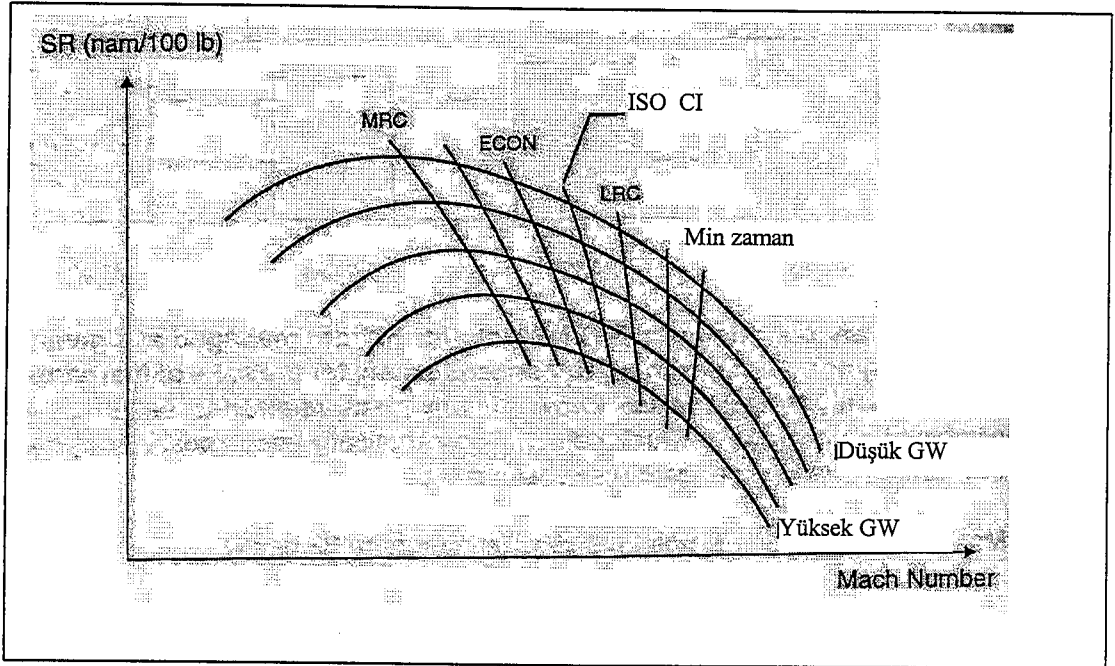
burada;

ECON hız : minimum maliyete karşılık gelen ekonomik hız değeri,

MRC (Maximum Range Cruise) : Maksimum menzili elde etmeye karşılık gelen hız,

LRC (Long Range Cruise) : MRC'nin %99'una karşılık gelen hız.

Minimum zamana karşılık gelen hız, LRC ile MMO-0.02 arasında değişir. Burada MMO (Maximum Operating Mach) uçağın uçabileceği maksimum mach değerini verir. ECON hız değeri MRC ve LRC arasında bir değer alır. Şekil 4.2.'de MRC, LRC ve ECON değerlerinin , sabit bir uçuş seviyesi için, SR, uçuş hızı ve uçak ağırlığına göre nasıl değiştiği verilmektedir.



Şekil 4.2. MRC, LRC ve ECON hızın değişimi [8]

Uçuşla ilgili değişik maliyetlerin Mach sayısına göre değişimi Şekil 4.3.'deki gibi ifade edilebilir. Buradan da görüldüğü gibi MRC değeri yakıt maliyetinin

minimum olduğu noktaya karşılık gelen hız değeridir, çünkü bu hız değerinde minimum yakıt harcanmış olur. Diğer bir değişle özgül menzil, o ağırlık değeri için maksimumdur (şekil 4.2.). ECON hız değeri ise toplam maliyetin minimum olduğu hız değerine karşılık gelir. Eğer uçuşun amacı minimum maliyetle uçmak ise bu değer seçilir. Varış noktasına en kısa sürede ulaşılmaq isteniyorsa MMO-0.02'ye yakın bir değer seçilir. Eğer yakıt sınırlıysa ve varış noktasına en az yakıt harcayarak ulaşılmaq isteniyorsa SR'in maksimum olduğu yani MRC noktasına karşılık gelen hız değeri seçilir. Şüphesiz bu durumda uçuş maliyeti ECON hız değerine göre daha yüksektir (Bkz. Şekil 3.1.).

Eşitlik 4.1. ele alındığında;

$$CI = \frac{CT}{CF}$$

MRC'ye karşılık gelen hız değerinde uçulması demek, mümkün olduğu kadar az yakıt harcamak istenmesi demektir. Diğer bir değişle yakıt maliyetinin (CF) önem kazanması demektir.

CF → yüksek

CT → CF'e göre çok düşük

⇒ CI → 0 (minimum yakıt modu)

MMI-0.02 değerine yakın bir değerde uçulması demek uçuş süresinin önem kazanması demektir. Diğer bir ifadeyle CT'nin CF'e göre çok daha önemli olması demektir.

CT → yüksek

CF → CT'ye göre çok düşük

⇒ CI → maksimum (minimum uçuş süresi modu)

Bölüm 3’de uçuş süresine bağlı maliyetin ve yakıt maliyetinin nasıl hesaplandığı açıklanmıştı. Buradan bulunan bu iki değer ile CI’nin hesaplanması çok basittir ve elde edilen CI değeri ECON hızı verecek maliyet katsayısı değeridir. Bu hız değerini bulmak için hazırlanmış grafiklerden faydalanılır. Bu grafikler,

- uçuş ağırlığı,
- uçuş seviyesi,
- CI değeri,
- rüzgar hızı

değerlerini dikkate alarak ECON hızı (Mach sayısı olarak) verir. ECON hız FMS tarafından hesaplanıp diğer sistemlere iletiildiğine göre, bu grafiğe karşılık gelen matematik modeli FMS hafızasına yüklenmiştir. Şekil 4.3.’de bu grafik kullanılarak ECON hızın nasıl bulunduğu gösterilmektedir.

Örnek:

Uçak ağırlığı: 230000lb

Uçuş seviyesi: 31000ft (FL310)

Rüzgar hızı: +50 Kt

Yakıt fiyatı: 25 c/lb

Uçuş süresine bağlı maliyet: 500 \$/saat

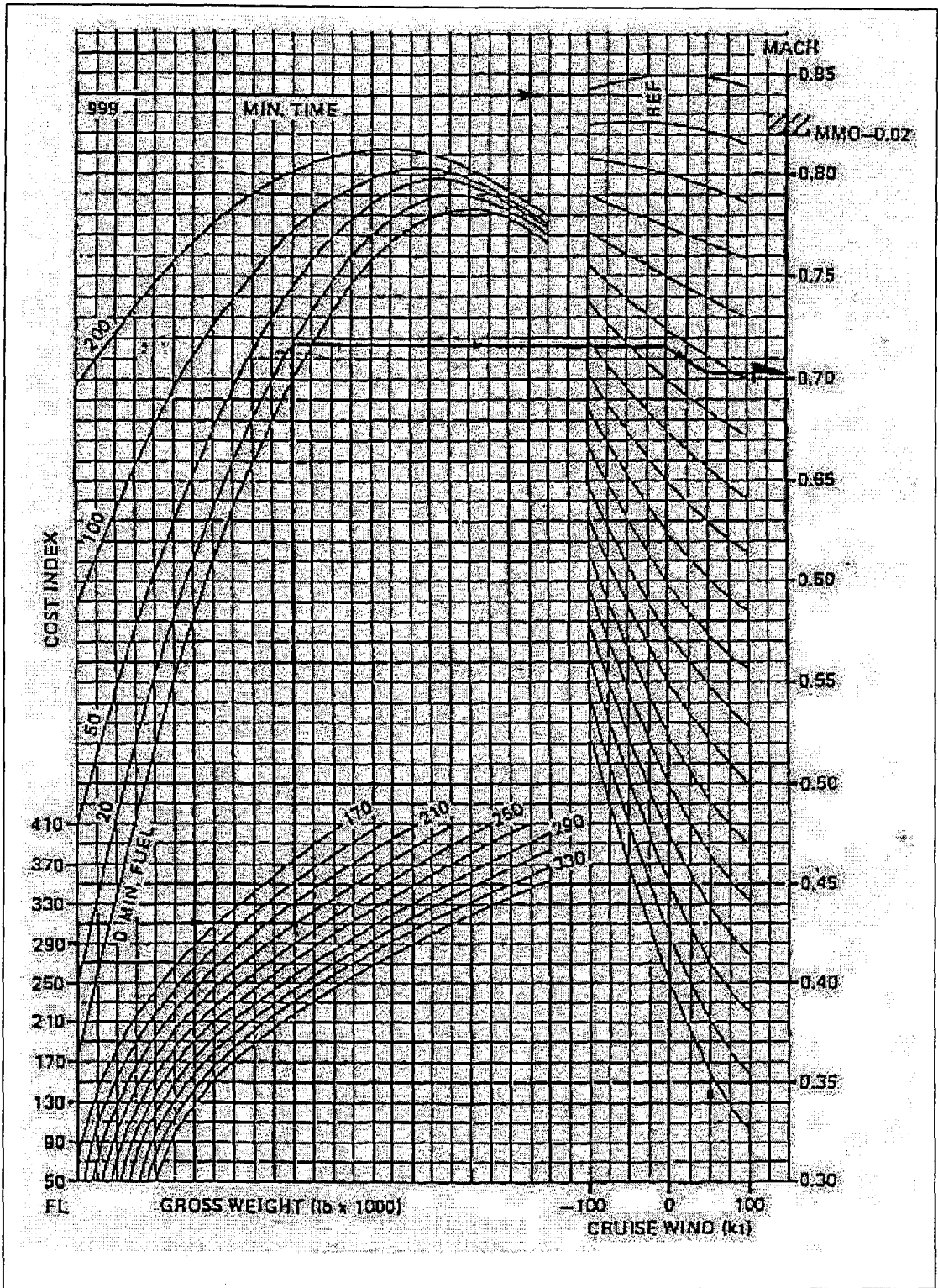
Eşitlik 4.1.'den

$$CI = \frac{CT}{CF} = \frac{500}{25}$$

$$CI = 20 \text{ 100lb / saat}$$

Bu değerler bilindiğine göre şekil 4.3.'de sol alt köşeden FL310 değeri alınarak GW 230000 lb'ye ulaşılır. Buradan dikey bir çizgiyle rüzgar hızı referans çizgisine kadar (W=0 Kt) ilerlenir. Buradan rüzgar hızı çizgilerine paralel olarak W= +50'ye kadar ilerlenir ve yatay bir çizgiyle ECON hıza karşılık gelen Mach değeri elde edilir.

$$\Rightarrow \text{Mach} = 0.72 \text{ M}$$



Şekil 4.3. ECON hızın bulunması

Uçuş süresine bağlı maliyetin ve yakıt maliyetinin bilinmediği durumlarda “default” bir maliyet katsayısı değeri alınır. Bunun için hazırlanmış grafiklerden faydalanılır. Optimum hızı bulmak için kullanılan grafik (şekil 4.3.) bu durumda o uçuş için girilecek maliyet katsayısını bulmak için kullanılır. Uçak ağırlığı (GW) bilindiğine göre o ağırlığa karşılık gelen optimum irtifa bulunur. Optimum irtifanın bulunması ve maliyet katsayısına etkisi bölüm 4.3.’de açıklanmıştır. Bu değerler şekil 4.3.’deki gibi girilir. Daha sonra grafiğin sağ tarafından seçilen hız değeri girilerek bunların çakıştığı noktadaki CI değeri “default CI” değeri olarak alınır ve FMS’e girilir.

Örnek:

GW: 130 ton

Uçuş hızı: 0.805 M

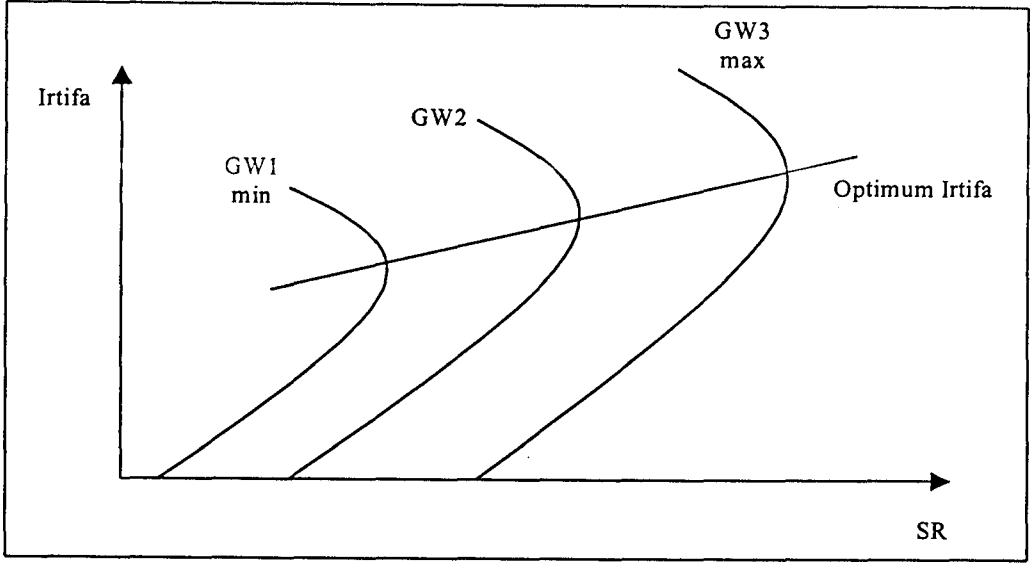
Şekil 4.5.’dan 130 ton ağırlığa karşılık gelen optimum uçuş seviyesi bulunur, FL=350 (35000 ft)

Şekil 4.3.’den FL350, GW=130 ve Mach=0.805’e karşılık gelen maliyet katsayısı bulunur:

⇒ CI=70

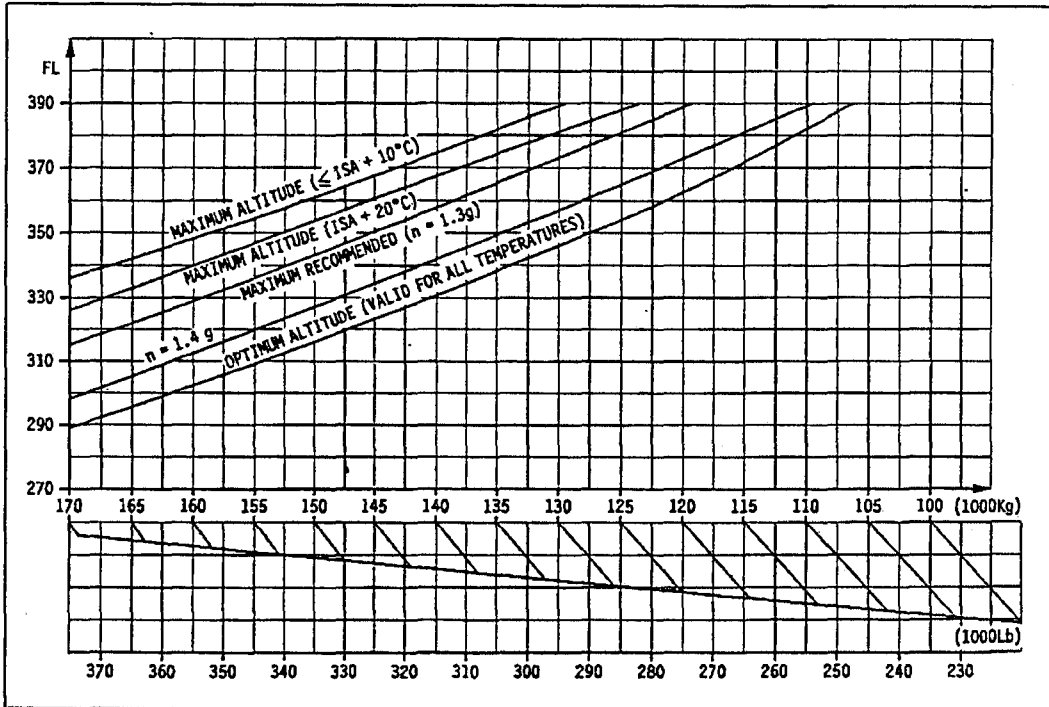
4.3. Optimum İrtifanın Maliyet Katsayısına Etkisi

İrtifa arttıkça özgül menzil (SR) de belli bir değere kadar artar ve daha sonra düşmeye başlar. Elde edilen bu grafik uçak ağırlığına bağlı olarak değişir. Değişik ağırlıklar için elde edilen optimum SR noktalarının birleştirilmesiyle, uçak ağırlığına göre değişen optimum irtifa eğrisi elde edilmiş olur. Optimum irtifadan uzaklaşıldığında CI’deki değişimler, yakılan yakıttaki ve zamandaki değişimleri olumsuz yönde etkiler.



Şekil 4.4. Optimum irtifa eğrisi

Uçağın uçması gereken maksimum irtifa ortam sıcaklığıyla değişir. Şekil 4.5.'de değişik ortam sıcaklıklarına göre maksimum irtifa eğrisi ve optimum irtifanın uçak ağırlığı ile değişimi görülmektedir.



Şekil 4.5. Optimum irtifanın sıcaklıkla değişimi

Airbus IFP (In Flight Performance) simülatörü ile yapılan bir simülasyonda değişik irtifa ve CI değerleri için yakıt ve zamandaki değişimler çizelge 4.2.'de verilmiştir. [13]

Çizelge 4.2. Değişik irtifa ve CI değerleri için zaman ve yakıttaki değişim

CI	FL310	FL330	FL350	FL370	FL390
1	575	560	549	535	525
	47809	46487	45339	44487	44213
	16742	16287	15908	15578	15427
10	564	553	542	529	522
	47861	46538	45380	44520	44228
	16663	16241	15860	15537	15405
25	548	539	529	522	519
	48119	46755	45602	44641	44269
	16595	16179	15807	15509	15391
50	525	518	516	516	515
	48916	47436	46010	44846	44400
	16602	16174	15801	15510	15390
80	515	511	511	511	511
	49514	47903	46278	45152	44668
	16668	16232	15826	15545	15424
100	506	507	508	510	510
	50244	48257	46588	45178	44689
	16776	16288	15879	15543	15421
200	499	500	502	506	508
	51128	49230	47550	45786	44982
	16939	16473	16069	15661	15477

uçuş süresi (dakika)

harcanan yakıt (kg)

uçuş maliyeti (\$)

Uçak: A340-311

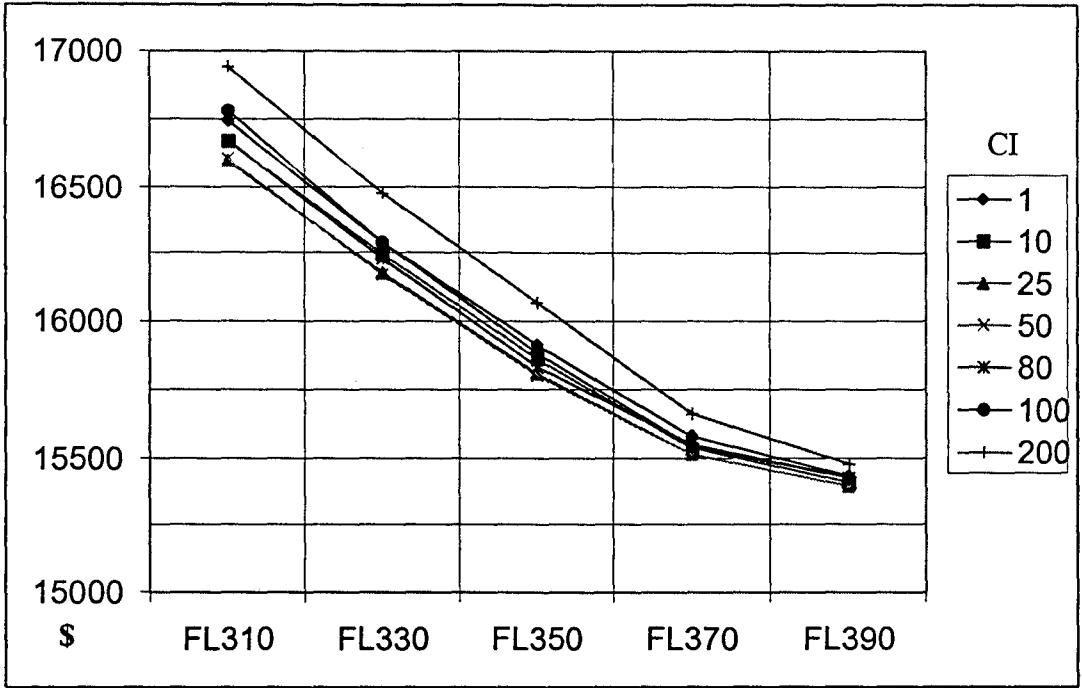
GW: 200000 ton

Menzil: 4000 Nm

Rüzgar: 0 Kt

Uçuş süresine bağlı maliyet 8.33 \$/dakika

Yakıt maliyeti: 0.25 \$/kg

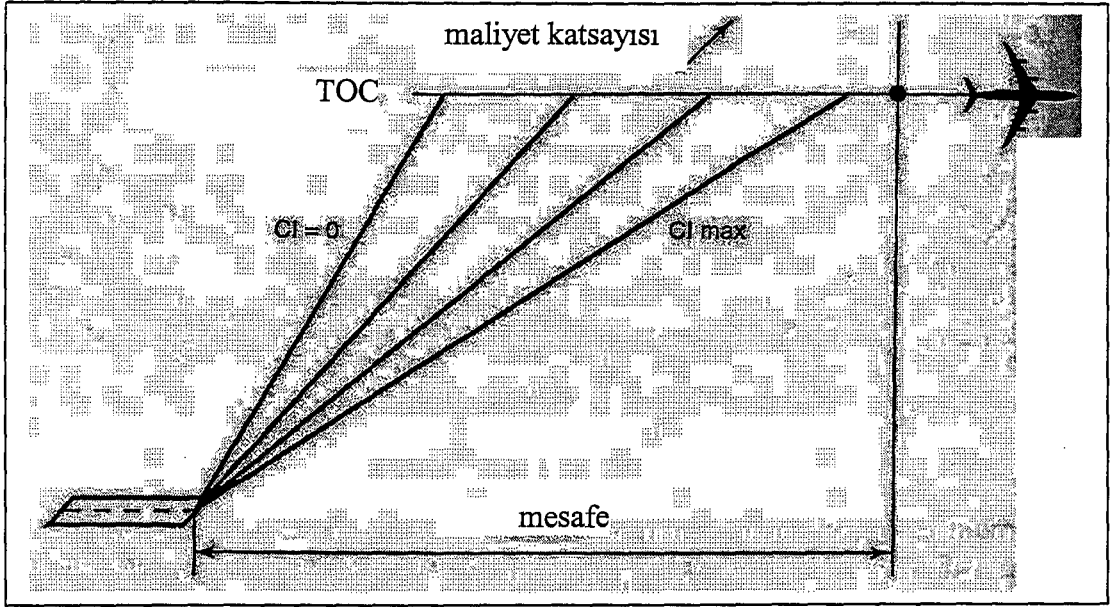


Şekil 4.6. Toplam maliyetin irtifa ile değişimi

CI'deki değişim miktarlarına bakılacak olunursa, düşük irtifalarda değişim miktarının daha önemli olduğu görölmektedir.

4.4. Maliyet Katsayısının Tırmanma Fazındaki Etkisi

Bir uçuş genel anlamda tırmanma, düz uçuş ve iniş olmak üzere 3 ana fazdan oluşur. Girilen maliyet katsayılarına göre FMS en ideal tırmanma profilini çizer. Bu profil kalkış noktasından "tırmanma sonu" noktasına (Top Of Climb –TOC-) kadar olan kısımdır. Maliyet katsayısının, 0'dan maksimum değere kadar verdiği uçuş profilleri Şekil 4.7.'de verildiği gibidir.



Şekil 4.7. Değişik CI'ler için tırmanma profilleri

Şekilden de görüldüğü gibi yüksek bir CI değeri,

- TOC noktasının daha uzakta yer almasına,
- tırmanma hattının daha az eğimli olmasına,
- ve tırmanma mesafesinin uzamasına sebep olur.

A300-600 ve A310 uçakları için değişik CI değerlerine karşılık gelen ve TOC'ya kadar olan yakıt sarfiyatı, zaman ve uçulan mesafe çizelge 4.3.'de verilmiştir. [14]

Çizelge 4.3. Değişik CI'ler için tırmanma fazında yakıt, zaman ve mesafe değerleri

Uçak tipi (motor) (ağırlık)	CI (Kg/min)	Sadece tırmanma			Tırmanma+düz uçuş	
		Yakıt (Kg)	Zaman (dakika)	Mesafe (Nm)	Yakıt (Kg)	Zaman (dakika)
A300-600 (PW4158) (150 ton)	0	2891	17	115	2977	18
	30	2959	17.5	119	2993	17.8
	60	3004	17.8	122	3004	17.8
A310 (CF6-80) (140 ton)	0	2787	17.4	114	2922	19
	30	2833	17.6	118	2929	18.7
	60	2870	17.7	121	2938	18.5
	100	2920	17.9	124	2952	18.3
	150	2942	18.1	125	2958	18.3
	200	2965	18.2	127	2965	18.2

Çizelge 4.3.'de değerler, sadece tırmanma kısmı ve tırmanma+düz uçuş kısmı olarak iki bölüm halinde verilmiştir. Bu değerler uçuş şartlarıyla değişir. Bir karşılaştırma yapabilmek için zamandaki ve uçulan mesafedeki değişimi alarak kıyaslama yapmak daha doğru sonuçlar verir. Çizelge 4.3.'deki "tırmanma+kalan düz uçuş" değerleri alınarak zaman, yakıt ve uçuş maliyetindeki değişimler değişik uçak tipleri için hesaplanmış ve çizelge 4.4'de gösterilmiştir.

Yakıt fiyatı: 0.28 \$/Kg

Uçuş süresine bağlı maliyet: 8.33 \$/dakika

TOC: FL330

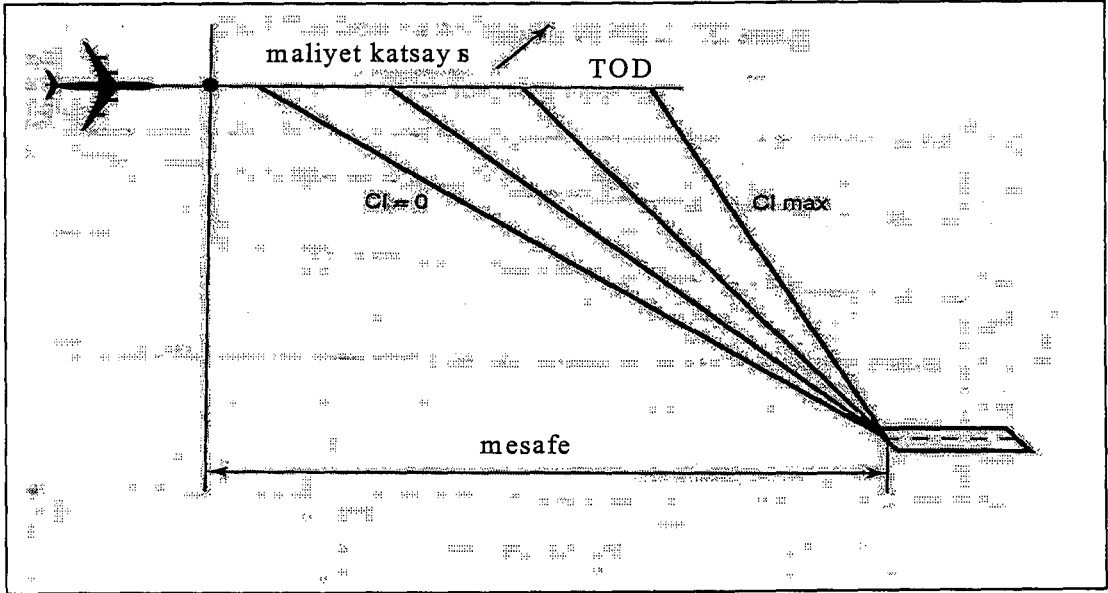
Çizelge 4.4. Zaman, yakıt ve uçuş maliyetindeki değişimler (tırmanma fazı)

	CI=0			CI= maksimum değer		
	zaman (dak.)	yakıt (Kg)	maliyet (\$)	zaman (dak.)	yakıt (Kg)	maliyet (\$)
A300-600	18,0	2977	894	17,8	3004	899
A310	19,0	2922	889	18,2	2965	893
A320	27,5	1984	725	26,1	2080	737
A330	23,0	3927	1173	21,7	4068	1198
A340	26,8	5532	1606	26,7	5574	1616

Çizelge 4.4.'den de görüldüğü gibi 0 ve daha yüksek CI değerleri için tırmanma fazı maliyetindeki değişim oldukça düşüktür. Bu sebeple, özellikle hava trafik ve uçuş seviyesi gibi engellerden dolayı uçuş süresi önem kazandığında, yüksek CI değerlerinde tırmanma daha avantajlıdır.

4.5. Maliyet Katsayısının Alçalma Fazındaki Etkisi

Maliyet katsayısının alçalma fazındaki etkisi bölüm 4.4.'e benzer şekilde açıklanabilir. FMS'in değişik CI değerlerine göre verdiği alçalma profilleri şekil 4.8.'da verilmiştir.



Şekil 4.8. Değişik CI'ler için alçalma profilleri

“Alçalma başlangıcı (Top Of Descent –TOD-)”, seçilen CI değerine göre değişir.

Şekil 4.8.’dan da görüldüğü gibi yüksek CI değeri,

- TOD noktasına daha geç ulaşılmasına,
- hızın daha yüksek olmasına,
- alçalma mesafesinin daha az olmasına sebep olur.

A300-600 ve A310 uçakları için alçalma fazındaki yakıt sarfiyatı, zaman ve mesafe çizelge 4.5., bu değerlerdeki ve uçuş maliyetindeki değişim çizelge 4.6.’da verilmiştir.

Çizelge 4.5. Değişik CI’ler için alçalma fazında yakıt, zaman ve mesafe değerleri

Uçak tipi (motor) (ağırlık)	CI (Kg/min)	Sadece inmanma			Inmanma + alçalma	
		yakıt (Kg)	Zaman (dakika)	Mesafe (Nm)	yakıt (Kg)	Zaman (dakika)
A300-600 (PW4158) (120 ton)	0	317	19,3	108	317	19,3
	30	298	17,3	102	357	18,1
	60	282	15,8	96	403	17,4
	100	276	15,0	93	427	17,0
A310 (CF6-80) (110 ton)	0	284	21,4	116	284	21,4
	30	263	19,3	111	301	19,9
	60	239	17,0	103	353	18,7
	100	218	15,3	95	406	18

yakıt fiyatı: 0.28 \$/Kg

Uçuş süresine bağlı maliyet: 8.33 \$/dakika

TOD: FL370

Çizelge 4.6. Zaman, yakıt ve uçuş maliyetindeki değişmeler (alçalma fazı)

	CI=0			CI= maksimum değer		
	zaman (dak.)	yakıt (Kg)	maliyet (\$)	zaman (dak.)	yakıt (Kg)	maliyet (\$)
A300-600	19,3	317	240	17	427	248
A310	21,4	284	249	18	406	251
A320	19,0	138	193	16,3	210	188
A330	23,5	449	308	21,4	580	323
A340	23,2	550	331	21,2	663	342

TOD noktasının en hassas bir şekilde hesaplanabilmesi için inişteki rüzgar hızının çok hassas bir şekilde girilmesi gerekir. Çizelge 4.6. ve çizelge 4.4.'den görüldüğü gibi minimum ve maksimum CI değerlerinin iniş fazındaki etkisi, kalkış fazındaki etkisinden daha önemlidir. Yani iniş fazı CI'deki değişmelere karşı daha hassastır.

4.6. Rüzgar ve Sıcaklığın Maliyet Katsayısına Etkisi

Rüzgar :

Uçuş ortamındaki rüzgar ve hava sıcaklığı uçuş süresini ve yakılan yakıt miktarını değiştirir. Bu durumda ortaya çıkan soru; maliyet katsayısı değiştirilmeli midir?

Eşitlik 4.4. ve 4.6. ele alınarak;

$$G_s = aM + W$$

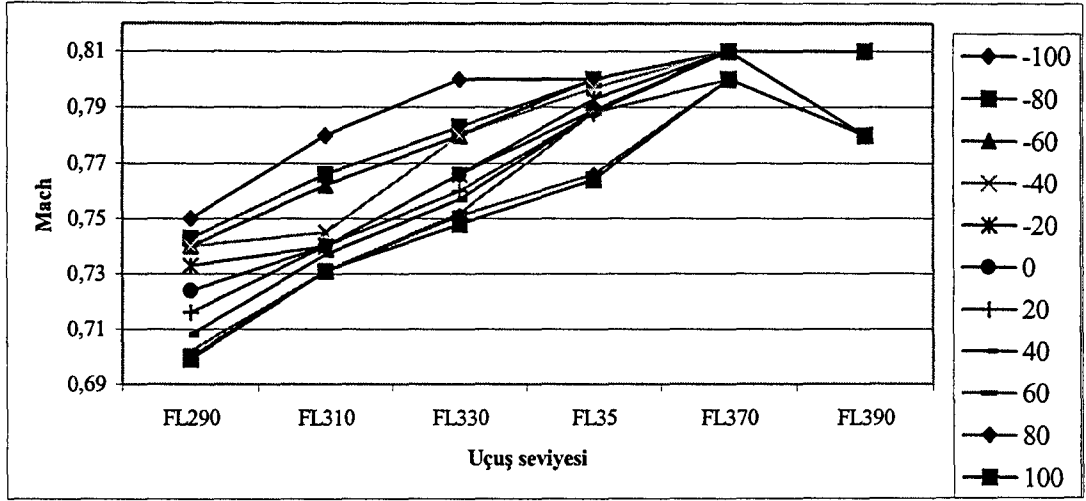
$$CI = \frac{V^2}{a} * \frac{d(1/SR)}{dM} \quad (V=G_s \text{ rüzgar hızı bileşeniyle})$$

$$\Rightarrow CI = \frac{(aM + W)^2}{a} * \frac{d(1/SR)}{dM} \quad (4.7)$$

Eşitlik 4.7.'den de görüldüğü gibi CI'nin hesaplanmasında rüzgar hızının (W) da etkisi vardır. Sabit CI değeri için,

- baş rüzgarı arttıkça ECON hız değeri de artar,
- kuyruk rüzgarı arttıkça ECON hız değeri düşer.

Baş rüzgar değerleri negatif (<0), kuyruk rüzgar değerleri pozitif (>0) sayılarla ifade edilir. Şekil 4.9'da 200 ton ağırlık için değişik irtifalarda ve rüzgar değerlerinde ECON hızın değişimi görülmektedir. Düşük irtifalarda bu fark daha büyüktür.



Şekil 4.9. ECON hızın rüzgar ile değişimi

FMS, rüzgar hızını dikkate aldığı ve ECON hızın hesaplanmasında kullandığı için, maliyet katsayısını rüzgar hızına bağlı olarak değiştirmeye gerek yoktur.

Artan baş rüzgarıyla uçak hızı artırılır ve sonuç olarak daha fazla yakıt yakılır. Çizelge 4.7.'de -100 Kt (baş rüzgarı) ve +100 Kt (kuyruk rüzgarı) değerleri için ECON hızın değişimi görülmektedir [15]. -100 Kt'lik rüzgar için ECON hız 0,78M olurken, +100 Kt'lik rüzgar için ECON hız 0,76M olur. Dikkat edilirse burada yakıt fiyatı ve uçuş süresine bağlı maliyet değişmediği için CI sabit kalır.

Uçak: A320-200 V2500-A1

İrtifa: 35000 ft

Ağırlık: 140000 lb

Uçuş süresine bağlı maliyet: 260 \$/saat

Yakıt fiyatı: 0.10 \$/lb

Çizelge 4.7. Uçuş maliyetinin rüzgar hızı ile değişimi

	Mach	Uçuş süresi (saat)	Yakıt (lb)	Uçuş süresine bağlı maliyet (\$)	Yakıt maliyeti (\$)	Toplam (\$)
Rüzgar -100 Kt	0,72	0,317	1467,9	82,54	146,79	229,33
	0,74	0,306	1450,4	79,61	145,40	225,01
	0,76	0,296	1440,1	76,90	144,01	220,91
	0,78	0,286	1440,2	74,37	144,20	218,57
	0,80	0,277	1481,3	72,00	148,13	220,13
Rüzgar +100 Kt	0,72	0,194	897,9	50,49	89,79	140,28
	0,74	0,190	899,5	49,37	89,50	138,87
	0,76	0,186	904,8	48,32	90,48	138,80
	0,78	0,182	916,1	47,30	91,61	138,91
	0,80	0,178	953,3	46,34	95,33	141,67

Çizelge 4.7.'de -100 Kt'lik rüzgar ile değişik hızlardaki maliyetler incelendiğinde, hesaplanan ECON hızın dışındaki hız değerlerinde toplam maliyetin arttığı görülür. 0,76 M ve 0,78 M'a karşılık gelen değerler ele alınırsa, yakıt sarfiyatı artsa da toplam maliyet 2,34\$ azalmaktadır (yaklaşık 160 Nm mesafe için).

Sonuç olarak şunlar söylenebilir; rüzgar hızı değiştikçe CI sabit tutulmalıdır, fakat FMS ekonomik hız değerini değiştirecektir. CI değeri sadece iki durumda

değiştirilir:

- 1) Yüksek CI değerlerinde ve kuvvetli baş rüzgarlarında ECON hız değeri artacaktır ve dolayısıyla yakıt sarfiyatıda artacaktır. Bu durumda pilot kalan yakıtın uçuşu tamamlamaya yeterli olup olmadığını kontrol etmek zorundadır. Eğer yakıt miktarı yeterli değilse CI düşürülmelidir. Bu da ECON hızın düşmesine ve yakıt sarfiyatının azalmasına sebep olur. Dış etkenler ne olursa olsun ECON hız değeri hiç bir zaman MMO-0,02 değerini geçemez (MMO: Maximum Operating Mach).
- 2) Özellikle düşük CI değerlerinde ve aşırı kuyruk rüzgarı olduğu durumlarda ECON hız değeri düşük olacaktır. Bu durum ise uçuş süresinin artmasına sebep olur. Bu durumlarda aşırı gecikmelere sebep olmamak ve bağlantı uçuşlarını kaçırmamak için varış saati kontrol edilmeli ve gerekiyorsa CI değeri artırılmalıdır.

Sıcaklık :

Ortam sıcaklığı arttıkça hız da artar. Sıcaklıktaki bu artış, aynı değerdeki bir CI için uçuşun daha çabuk gerçekleşmesine ve yakıt sarfiyatının artmasına sebep olur. Çizelge 4.8.'de değişik CI değerleri için sıcaklık artışıyla yakıt ve uçuş süresindeki değişim görülmektedir. [16]

Çizelge 4.8. Uçuş maliyetinin sıcaklıkla değişimi

CI	Uçuş süresi (dakika) Yakıt (Kg)		Uçuş maliyeti (\$)		Fark (\$)
	ISA	ISA+10	ISA	ISA+10	
1	522	511	21939	21881	-58
	52254	52598			
10	520	508	21914	21843	-71
	52265	52609			
25	576	505	21871	21815	-56
	52310	52660			
50	514	503	21866	21813	-53
	52394	52752			
80	509	499	21874	21820	-54
	52671	52978			
100	508	497	21894	21846	-48
	52594	53171			
200	506	496	21936	21868	-68
	53042	53301			

GW: 240000 ton

Menzil: 4000 Nm

Uçuş seviyesi: FL350

Uçuş süresine bağlı maliyet: 14 \$/dakika

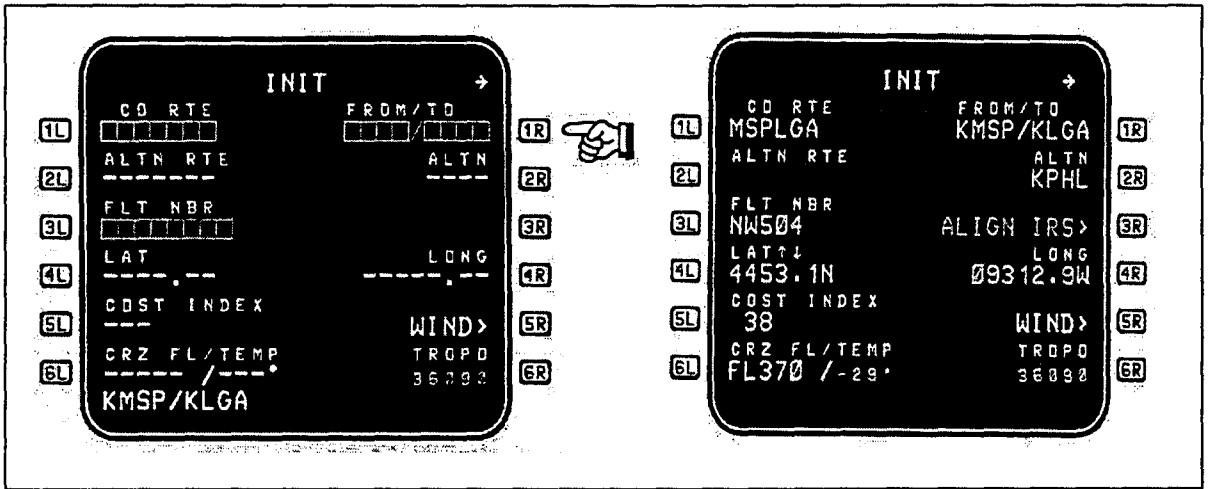
Yakıt maliyeti: 0.28 \$/kg

Ekonomik CI: 50 kg/min

Çizelge 4.8.'den de görüldüğü gibi FL350 uçuş seviyesindeki 10 °C'lik bir artış uçuş süresinin yaklaşık olarak 10 dakika (%2) kışalmasına ve yakıt sarfiyatınının 200-400 Kg arasında artmasına (%0,8) sebep olur. Uçuş süresindeki kışalma yakıt sarfiyatına göre daha yüksek olduğu için, sıcaklıktaki artış uçuşun toplam maliyetinin düşmesine sebep olur. Bu değişim özellikle yakıt fiyatının düşük olduğu durumlarda daha önemlidir.

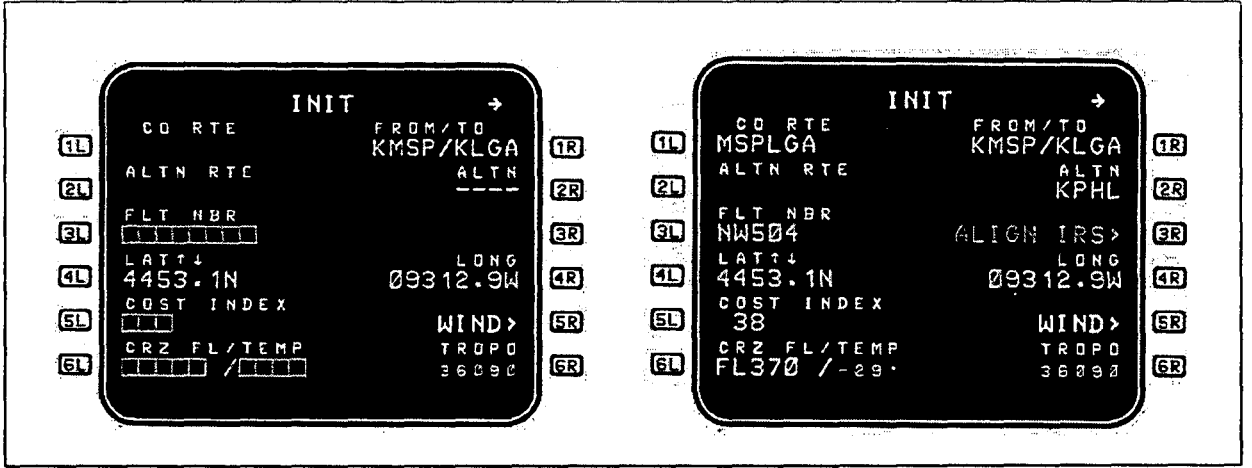
4.7. CI Değerinin FMS'e Girilmesi

Maliyet katsayısıyla belirlenen ECON hız FMS tarafından hesaplanır. Dolayısıyla CI değeri uçuştan önce MCDU (Multipurpose Control and Display Unit) tarafından FMS'e girilir. Bu değer girişı uçuş planının FMS'e yüklenmesi sırasında yapılır. Uçuş planı FMS'e değişik şekillerde yüklenir. Bunlardan birisi; eğer uçulacak hat uçuş veri tabanında kayıtlıysa, MCDU ekranı yanındaki düğmelerle uçuş hattının kodu seçilir. Bu durumda uçuş hattı ile ilgili bütün bilgiler otomatik olarak veri tabanından alınarak sisteme yüklenmiş olur. Böylece o uçuş hattı için daha önceden belirlenmiş CI değeri de otomatik olarak yüklenmiş olur.



Şekil 4.10. Uçuş hattının veri tabanından yüklenmesi

Eğer uçulacak hat uçuş veri tabanında yoksa uçuşla ilgili bilgilerin elle girilmesi gerekir. Bu durumda o uçuş hattı için hesaplanmış CI değeride elle girilir.



Şekil 4.11. CI'nin FMS'e girilmesi

Ekrandaki boş, amber renkli kutucuklar oraya değer girilebileceğini ifade eder. 5L tuşuna basılarak CI değeri elle girilir. Şekil 4.10'in ikinci kısmında ise, gerekli değerler girildikten sonra ekranın görünümü gösterilmektedir.

SONUÇ

Maliyet katsayısının hesaplanması matematiksel olarak son derece basit temellere dayanmaktadır. Fakat bu hesaplamalar için gerekli maliyet analizleri son derece karmaşık olabilir. Özellikle uçuş süresine bağlı maliyetlerin hesaplanmasındaki bu karmaşık yapı bazı havayolu şirketlerini daha önceden hazırlanmış olan ve uçak tipine göre değişen hazır maliyet katsayılarını kullanmaya yöneltir. Fakat unutmamak gerekir ki her havayolu şirketinin maliyet yapısı ve maliyet hesaplama yöntemleri farklı olabilir. Bu durumda her ne kadar uçak tipleri ve uçuş hatları aynı olsada, maliyet katsayıları farklı olabilir. Örneğin uçuş süresine bağlı maliyetlerin hesaplanmasındaki 5 \$/dakika kadarlık bir fark, maliyet katsayısının olması gerekenden 20 kg/dakika farklı çıkmasına sebep olur (yakıt fiyatı: 0,25 \$/kg). Bu durum ise, uçuş maliyetinin, uçak tipine bağlı olarak %0,2 – 2 arasında artmasına sebep olur. Benzer şekilde, yakıt maliyetinin hesaplanmasında yapılan 0,25 \$/kg'lık bir hata, uçuş maliyetinin %1 oranda artmasına sebep olur. Toplam uçuş maliyetinin ne kadar yüksek olduğu düşünülürse, %1 veya %2'lik artışların parasal olarak ne kadar büyük miktarları ifade ettiği daha kolay anlaşılır.

Maliyet katsayısı dış ortam değerlerinden de etkilenebilir. Örneğin, uçuş planları yapılırken uçulacak irtifalardaki tahmini rüzgar değerleri de dikkate alınır. Bu değerler mevsimlere göre değişir. Dolayısıyla uçuş süreleri de mevsimlere göre küçük miktarlarda değişir. Bu durum, hesaplanan ekonomik maliyet katsayısının değişmesine de sebep olabilir.

Bölüm 4'de değişik alt başlıklar altında verilen örneklerden de görüldüğü gibi maliyet katsayısı değeri genelde 20-200 arasında değişir. Kesirli sayılar kullanacak kadar hassas hesaplamalar yapmaya gerek yoktur.

KAYNAKLAR DİZİNİ

1. HELFRICK Albert, *Modern Aviation Electronics*, Prentice Hall, (1984)
2. Airbus Industrie, *A340 Flight Crew Operating Manual, Bölüm 1.22.20*, (1992)
3. DOGAN Peter, *The Instrument Flight Training Manual*, Prentice Hall, (1991)
4. Airbus Industrie, *Technical Training Manual, Bölüm 22*, (1994)
5. Honeywell, *A320 Flight Management and Guidance System, Pilot's Guide*, (1994)
6. Airbus Industrie, *Technical Training Manual, Bölüm 31*, (1994)
7. KAYA Ergün, *Havaalanlarında Fiyatlandırma Açısından Muhasebe Bilgi Sistemleri*, Eskişehir, (2000)
8. Airbus Industrie, *Cost Index Calculation, Operational Use, Fuel Tankering*, (1993)
9. Airbus Industrie, *Cost Index Calculation*, (1992)
10. Airbus Industrie, *Cost Index Calculation - Appendices, Ek 3*, (1992)
11. Airbus Industrie, *A340 Flight Crew Operating Manual, Bölüm 2.17.30*, (1992)
12. Boeing, *Flight Operations Engineering Training*, (Rev 10/91)
13. Airbus Industrie, *Cost Index Calculation Appendix 4*, (1992)
14. Airbus Industrie, *Getting to Grips with Cost Index*, (1998)
15. America West, *History and Potential at America West, Cost Index Flying*, (1992)
16. Airbus Industrie, *Cost Index Calculation - Appendices, Ek 9*, (1992)