

**GELİŞ VE KALKIŞ OPERASYONLARINDA
DİKEY VERİMSİZLİKLERİN
YAKIT TÜKETİM VE EMİSYON ETKİLERİ**
Yüksek Lisans Tezi

Hakkı AKSOY

Eskişehir, 2016

**GELİŞ VE KALKIŞ OPERASYONLARINDA DİKEY VERİMSİZLİKLERİN
YAKIT TÜKETİM VE EMİSYON ETKİLERİ**

Hakkı AKSOY

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Hava Trafik Kontrol Anabilim Dalı
Danışman: Doç. Dr. Öznur USANMAZ
İkinci Danışman: Doç. Dr. Enis Turhan TURGUT**

**Eskişehir
Anadolu Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Mayıs, 2016**

Bu Tez Çalışması BAP Komisyonunca kabul edilen 1504F176 no.lu proje kapsamında desteklenmiştir.

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

Hakkı AKSOY'un “**Geliş ve Kalkış Operasyonlarında Dikey Verimsizliklerin Yakıt Tüketim ve Emisyon Etkileri**” başlıklı tezi 26/05/2016 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından değerlendirilerek “Anadolu Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliği”nin ilgili maddeleri uyarınca, Hava Trafik Kontrol Anabilim dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

	<u>Unvanı - Adı Soyadı</u>	<u>İmza</u>
Üye (Tez Danışmanı)	: Doç. Dr. Öznur USANMAZ	
Üye	: Prof. Dr. Aydan CAVCAR	
Üye	: Doç. Dr. Melih Cemal KUŞHAN	

.....
Enstitü Müdürü

ÖZET

GELİŞ VE KALKIŞ OPERASYONLARINDA DİKEY VERİMSİZLİKLERİN YAKIT TÜKETİM VE EMİSYON ETKİLERİ

Hakkı AKSOY

Hava Trafik Kontrol Anabilim Dalı

Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mayıs, 2016

Danışman: Doç. Dr. Öznur USANMAZ

İkinci Danışman: Doç. Dr. Enis Turhan TURGUT

Uçakların geliş ve kalkış operasyonlarında gerçekleştirdikleri düşük irtifa düz uçuş bölümlerinin sebep olduğu dikey uçuş verimsizliği, operatörlerin maliyet giderlerinde ve olumsuz çevresel etkilerin oluşmasında önemli bir paya sahiptir. Bu sebeple, dikey uçuş verimsizliğini minimuma indirgeyecek veya ortadan kaldıracak yöntemlerden biri olarak görülen devamlı alçalma ve devamlı tırmanma operasyonları geliş ve kalkış operasyonlarında tercih edilen yöntemlerdir. Bu çalışmada, Ankara Esenboğa Havalimanı(ESB), Antalya Havalimanı(AYT) ve Muğla Milas-Bodrum Havalimanlarının(BJV) geliş ve kalkış trafiklerinin dikey profil analizi B738 tipi uçağa ait gerçek uçuş verilerine dayalı olarak gerçekleştirilmiştir. Dikey profil analizinde, geliş veya kalkış fazında gerçekleşen düşük irtifa düz uçuş bölümünde kat edilen mesafenin seyir irtifasında gerçekleşmesi durumunda potansiyel zaman, yakıt ve emisyon tasarrufu hesaplanmıştır. Geliş trafiklerinde gerçekleşen düşük irtifa düz uçuş başına ortalama tasarruf değerleri, BJV için 65,1 sn zaman, 27 kg yakıt, 85,2 kg CO₂, 33,4 kg H₂O, 12,7 gr HC, 301,5 gr CO ve 6,7 gr NO_x ; AYT için 65,4 sn zaman, 33,4 kg yakıt, 105 kg CO₂, 41 kg H₂O, 10,5gr HC, 239,8 gr CO ve 41,6 gr NO_x ; ESB için 44,8 sn zaman, 17 kg yakıt, 60 kg CO₂, 23,5 kg H₂O, 29,4 gr HC, 865 gr CO ve 7,7 gr NO_x olarak bulunmuştur. Kalkış trafiklerinde gerçekleşen düşük irtifa düz uçuş başına ortalama tasarruf değerleri BJV için 5,2 sn zaman, 6,9 kg yakıt, 21,7 kg CO₂, 8,5 kg H₂O, 0,4 gr HC, 7,5 gr CO ve 72 gr NO_x ; AYT için 8,4 sn zaman, 13,6 kg yakıt, 43 kg CO₂, 17 kg H₂O, 0,7 gr HC, 13,9 gr CO ve 152 gr NO_x olarak bulunmuş ve ESB için kalkışta düşük irtifa düz uçuşa rastlanmamıştır.

Anahtar Sözcükler: Dikey uçuş verimsizliği, CDA operasyonları, CCO operasyonları, Yakıt tüketimi, Emisyon

ABSTRACT

FUEL AND EMISSION EFFECTS OF VERTICAL INEFFICIENCIES ON ARRIVAL AND DEPARTURE OPERATIONS

Hakkı AKSOY

Department of Air Traffic Control

Anadolu University, Graduate School of Sciences, May, 2016

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Öznur USANMAZ

Co-Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Enis Turhan TURGUT

The vertical flight inefficiency caused by low level flight segments during arrival and departure operations has a great impact on financial cost of operators and negative environmental effects. In this regard, continuous descent and climb operations for arrival and departure phases are mostly preferred as one of the methods that reduce or eliminate the vertical inefficiencies. In this study, vertical profile analysis of arrival and departure traffics of Ankara Esenboğa Airport (ESB), Antalya Airport (AYT) and Muğla Milas-Bodrum Airport (BJV) are realized by using FDR data that taken from type of B738. By the analyse of vertical profile, potential time, fuel and emission savings achieved by replacing inefficient low level flight segments with the cruise segment of equal distance were calculated. Average savings found for a low level flight segment in arrival traffics are 65,1 s time, 27 kg fuel, 85,2 kg CO₂, 33,4 kg H₂O, 12,7 gr HC, 301,5 gr CO and 6,7 gr NO_x for BJV; 65,4 s time, 33,4 kg fuel, 105 kg CO₂, 41 kg H₂O, 10,5gr HC, 239,8 gr CO and 41,6 gr NO_x for AYT and 44,8 s time, 17 kg fuel, 60 kg CO₂, 23,5 kg H₂O, 29,4 gr HC, 865 gr CO and 7,7 gr NO_x for ESB. Average savings found for a low level flight segment in departure traffics are 5,2 s time, 6,9 kg fuel, 21,7 kg CO₂, 8,5 kg H₂O, 0,4 gr HC, 7,5 gr CO and 72 gr NO_x for BJV; 8,4 s time, 13,6 kg fuel, 43 kg CO₂, 17 kg H₂O, 0,7 gr HC, 13,9 gr CO and 152 gr NO_x for AYT and no low level flight segment found in departure traffics of ESB.

Keywords: Vertical Flight Inefficiency, CDA operations, CCO operations, Fuel Consumption, Emission

ÖNSÖZ

Öncelikle, Hava Trafik Kontrol bölümüne adaptasyon sürecimde desteklerini esirgemeyen, bilgi ve vizyonunu benimle paylaşan, tez çalışmalarımı yürütmemde tüm desteğini veren, çocuğu gibi önem verip yönlendiren, davranış ve çalışma azmi ile örnek aldığım danışmanım Sayın Doç. Dr. Öznur USANMAZ'a çok teşekkür ederim. Akademik çalışma disiplini, derin bilgisi ve yapıcı eleştirileri ile örnek aldığım, tez çalışmalarım sırasında önemli katkılar sunan İkinci danışmanım Sayın Doç. Dr. Enis Turhan TURGUT hocama da çok teşekkür ediyorum. Akademik hayatımın ilk aşamasında karşılaştığım için kendimi çok şanslı hissettiğim, çok şey öğrendiğim ve öğrenecek olduğum alanında uzman iki değerli Hocama tekrar teşekkür ederim.

Bu çalışmanın en güçlü yönlerinden bir tanesi gerçek uçuş verilerinin kullanılmış olmasıdır. Çalışma kapsamında kullanılan gerçek uçuş verilerini sağlayan ve çalışmayı destekleyen Pegasus Hava Taşımacılığı A.Ş.'ye çok teşekkür ederim. Özellikle çalışmanın başlangıcından itibaren uçuş verilerinin temini ve yorumlanmasında değerli görüş ve yönlendirmeleri ile çalışmaya büyük katkı sağlayan Kalite Direktörü Kaptan Pilot Kemal Mustafa HELVACIOĞLU'na, SMS & ERP Müdürü Kaptan Pilot Murat Cem ALKAN'a, Emniyet ve FDM Müdür Yardımcısı Serçin ÖZEN'e ve Emniyet Yönetim Bölümü'nün değerli çalışanlarına çok teşekkür ederim.

Eğitim hayatım boyunca ve sonrasında desteğini hiç esirgemeyen, tüm stresimi, heyecanımı, üzüntümü, başarı ve sevincimi benden daha çok yaşayan en değerli varlığım olan aileme ve sevgili eşime çok teşekkür ederim.

Hakkı AKSOY

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Bu tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalardan bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı; bu çalışma kapsamında elde edilemeyen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi; bu çalışmanın Anadolu Üniversitesi tarafından kullanılan “bilimsel intihal tespit programı”yla tarandığını ve hiçbir şekilde “intihal içermediğini” beyan ederim. Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçlara razı olduğumu bildiririm.

.....
(İmza)

.....
(Adı-Soyadı)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

BAŞLIK SAYFASI	i
JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI.....	ii
ÖZET	iii
ABSTRACT.....	iv
ÖNSÖZ	v
ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	x
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
SİMGE VE KISALTMALAR DİZİNİ	xiv
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Kalkış ve Devamlı Tırmanma Operasyonları.....	3
1.2. Geliş ve Devamlı Alçalma Operasyonları	5
1.3. Tezin Amacı	6
1.4. Literatür Araştırması	7
2. MATERYAL VE YÖNTEM	12
2.1. Materyal.....	12
2.1.1. FDR verisi.....	12
2.1.2. Excel macro ve gpsvisualizer	14
2.2. Yöntem	15
2.2.1. Havalimanlarının seçimi	15
2.2.2. Uçuş fazı mantığı.....	17
2.2.3. Düz uçuş bulma algoritması	18
2.2.4. Dikey profil analiz çıktıları.....	20
2.2.5. Emisyon hesaplama yöntemi	21
2.2.6. Potansiyel zaman, yakıt ve emisyon fayda analizi	28
3. BULGULAR VE TARTIŞMA	31
3.1. Ankara Esenboğa Havalimanı	31
3.1.1. ESB havalimanı geliş trafiği analizi	31

3.1.1.1 ESB'ye geliş trafiklerinin düz uçuş bölümlerinin irtifa dağılımı.....	33
3.1.1.2 ESB'ye geliş trafiklerinin düz uçuş bölümlerinin yatay mesafesi ve pist eşiğinden olan uzaklıkları	34
3.1.1.3 ESB'ye gelişte gerçekleşen düz uçuş bölümlerinin ortalama süreleri.....	36
3.1.1.4 ESB'ye gelişte gerçekleşen düz uçuş bölümlerinin zaman, yakıt ve emisyon analizi.....	37
3.1.2. ESB havalimanı kalkış trafiği analizi	41
3.2. Antalya Havalimanı	42
3.2.1. AYT havalimanı geliş trafiği analizi	42
3.2.1.1 AYT'ye geliş trafiklerinin düz uçuş bölümlerinin irtifa dağılımı.....	44
3.2.1.2 AYT'ye geliş trafiklerinin düz uçuş bölümlerinin yatay mesafesi ve pist eşiğinden olan uzaklıkları	45
3.2.1.3 AYT'ye gelişte gerçekleşen düz uçuş bölümlerinin ortalama süreleri.....	47
3.2.1.4 AYT'ye gelişte gerçekleşen düz uçuş bölümlerinin zaman, yakıt ve emisyon analizi.....	48
3.2.2. AYT havalimanı kalkış trafiği analizi.....	52
3.2.2.1 AYT'den kalkış trafiklerinin düz uçuş bölümlerinin irtifa dağılımı ve düz uçuş süresi.....	54
3.2.2.1 AYT'den kalkışta gerçekleşen düz uçuş bölümlerinin zaman, yakıt ve emisyon analizi.....	54
3.3. Muğla Milas/Bodrum Havalimanı.....	56
3.3.1. BJV havalimanı geliş trafiği analizi	56
3.3.1.1 BJV'ye geliş trafiklerinin düz uçuş bölümlerinin irtifa dağılımı.....	58
3.3.1.2 BJV'ye geliş trafiklerinin düz uçuş bölümlerinin yatay mesafesi ve pist eşiğinden olan uzaklıkları	59
3.3.1.3 BJV'ye gelişte gerçekleşen düz uçuş bölümlerinin ortalama süreleri.....	60

3.1.1.4 BJV'ye gelişte gerçekleşen döz uçuş bölümünün Zaman, yakıt ve emisyon analizi.....	62
3.3.2. BJV havalimanı kalkış trafiği analizi	66
3.3.2.1 BJV'den kalkış trafiklerinin döz uçuş bölümünün irtifa dağılımı ve döz uçuş süresi.....	67
3.3.2.1 BJV'den kalkış trafiklerinin döz uçuş bölümünün zaman, yakıt ve emisyon analizi.....	68
3.4. Havalimanlarının Karşılaştırılması.....	69
3.4.1. Geliş trafiklerinin karşılaştırılması.....	69
3.4.2. Kalkış trafiklerinin karşılaştırılması	74
4. SONUÇ	77
KAYNAKÇA	82
EKLER	
ÖZGEçMİř	

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 2.1. Uçuş verileri parametre listesi	13
Çizelge 2.2. Seçilen meydanlar için incelenecek geliş ve kalkış trafik sayısı	16
Çizelge 2.3. Uçuş fazları ve açıklamaları [34]	17
Çizelge 2.4. ECS sisteminin yakıt akışına etkisi için düzeltme faktörü [30]	24
Çizelge 2.5. İncelenen tüm uçuşlarda kullanılan motor tipleri ve performans özellikleri	24
Çizelge 2.6. ICAO veri tabanında CFM56-7B26E turbofan motoru için 4 farklı güç değerinde verilen yakıt akışı ve CO, HC ve NO _x emisyon indeksleri.....	25
Çizelge 3.1. Düz uçuş meydana gelen trafiklerin piste göre dağılımı	33
Çizelge 3.2. Düz uçuş meydana gelen trafiklerin piste göre dağılımı	44
Çizelge 3.3. Düz uçuş meydana gelen trafiklerin piste göre dağılımı	53
Çizelge 3.4. Düşük irtifa düz uçuşların uçuşun seyir fazında gerçekleşmesi durumunda oluşacak yakıt, zaman ve SR değişimi	55
Çizelge 3.5. Düşük irtifa düz uçuşların uçuşun seyir fazında gerçekleşmesi durumunda oluşacak emisyonların değişimi	55
Çizelge 3.6. Düz uçuş meydana gelen trafiklerin piste göre dağılımı	58
Çizelge 3.7. Düz uçuş meydana gelen trafiklerin piste göre dağılımı	67
Çizelge 3.8. Düşük irtifa düz uçuşların uçuşun seyir fazında gerçekleşmesi durumunda oluşacak yakıt, zaman ve SR değişimi	69
Çizelge 3.9. Düşük irtifa düz uçuşların uçuşun seyir fazında gerçekleşmesi durumunda oluşacak emisyonların değişimi.....	69

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 1.1. Dikey Uçuş Profili.....	1
Şekil 1.2. Devamlı tırmanma profili.....	4
Şekil 1.3. Devamlı alçalma profili	6
Şekil 2.1. Gpsvisualizer kullanılarak görselleştirilen uçuş rotaları	14
Şekil 2.2. Türkiye'de en yoğun iç hat trafiğine sahip ilk 10 havalimanı [32].....	16
Şekil 2.3. Alçalma fazında gerçekleşen düz uçuş bölümlerinin başlangıç ve bitiş noktaları	18
Şekil 2.4. Uçuşların kaydedilme formatı.....	19
Şekil 2.5. CO emisyon indeksi için regresyon denklemi ve regresyon eğrisi.....	25
Şekil 2.6. HC emisyon indeksi için regresyon denklemi ve regresyon eğrisi.....	26
Şekil 2.7. NO _x emisyon indeksi için regresyon denklemi ve regresyon doğrusu.....	26
Şekil 2.8. Potansiyel fayda analizi için düz uçuş içeren uçuşa ait dikey profilde uygulanacak, düşük irtifa düz uçuşu seyir irtifasına çekme yöntemi	29
Şekil 3.1. ESB meydanına geliş trafiklerinin izlediği rotanın plan görünümü ve düşük irtifa düz uçuşların başlama noktaları	32
Şekil 3.2. 03R ve 21L pistine gelişte gerçekleşen düz uçuşların irtifa dağılımı	33
Şekil 3.3. Düz uçuş bölümlerinin başlangıç noktalarının pist eşiğine olan mesafeleri ve düz uçuş süresince kat edilen mesafeler	35
Şekil 3.4. 03R ve 21L pistine gelişte irtifa aralıklarında gerçekleşen düz uçuş sayısı ve ortalama düz uçuş süreleri (İrtifa aralıkları 0-5.000 ft, 5.001-10.000 ft, 10.001-15.000 ft, 15.001-20.000 ft ve 20.001-25.000 ft olarak alınmıştır.) .	36
Şekil 3.5. Düşük irtifa düz uçuşların uçuşun seyir fazında gerçekleşmesi durumunda oluşacak yakıt ve zaman değişimi.....	37
Şekil 3.6. Düşük irtifa düz uçuşta ve seyir irtifasında özgül menzil (SR@L_OFF:düşük irtifada özgül menzil, SR@CRS:seyir irtifasında özgül menzil)	38
Şekil 3.7. Düşük irtifa düz uçuşların uçuşun seyir fazında gerçekleşmesi durumunda oluşacak CO ₂ ve H ₂ O emisyonlarının değişimi.....	39
Şekil 3.8. Düşük irtifa düz uçuşların uçuşun seyir fazında gerçekleşmesi durumunda oluşacak HC, CO ve NO _x emisyonlarının değişimi	40
Şekil 3.9. ESB havalimanından kalkan trafiklerinin izlediği rotanın plan görünümü...	41

Şekil 3.10. <i>AYT meydanına geliş trafiklerinin izlediği rotanın plan görünümü ve düşük irtifa düz uçuşların başlama noktaları</i>	43
Şekil 3.11. <i>18C ve 36C pistine gelişte gerçekleşen düz uçuşların irtifa dağılımı</i>	44
Şekil 3.12. <i>Düz uçuş bölümlerinin başlangıç noktalarının pist eşiğine olan mesafeleri ve düz uçuş süresince kat edilen mesafeler</i>	46
Şekil 3.13. <i>18C ve 36C pistine gelişte irtifa aralıklarında gerçekleşen düz uçuş sayısı ve ortalama düz uçuş süreleri (İrtifa aralıkları 0-5.000 ft, 5.001-10.000 ft, 10.001-15.000 ft, 15.001-20.000 ft ve 20.001-25.000 ft olarak alınmıştır.).</i>	47
Şekil 3.14. <i>Düşük irtifa düz uçuşların uçuşun seyir fazında gerçekleşmesi durumunda oluşacak yakıt ve zaman değişimi.....</i>	48
Şekil 3.15. <i>Düşük irtifa düz uçuşta ve seyir irtifasında özgül menzil (SR@L_OFF:düşük irtifada özgül menzil, SR@CRS:seyir irtifasında özgül menzil).....</i>	49
Şekil 3.16. <i>Düşük irtifa düz uçuşların uçuşun seyir fazında gerçekleşmesi durumunda oluşacak CO₂ ve H₂O emisyonlarının değişimi.....</i>	50
Şekil 3.17. <i>Düşük irtifa düz uçuşların uçuşun seyir fazında gerçekleşmesi durumunda oluşacak HC, CO ve NO_x emisyonlarının değişimi</i>	51
Şekil 3.18. <i>AYT meydanından kalkan trafiklerinin izlediği rotanın plan görünümü</i>	52
Şekil 3.19. <i>AYT'den kalkış trafiklerinin gerçekleştirdiği düz uçuş bölümlerinin irtifa ve süreleri.....</i>	54
Şekil 3.20. <i>BJV meydanına geliş trafiklerinin izlediği rotanın plan görünümü ve düşük irtifa düz uçuşların başlama noktaları</i>	57
Şekil 3.21. <i>10 ve 28 pistine gelişte gerçekleşen düz uçuşların irtifa dağılımı</i>	58
Şekil 3.22. <i>Düz uçuş bölümlerinin başlangıç noktalarının pist eşiğine olan mesafeleri ve düz uçuş süresince kat edilen mesafeler</i>	60
Şekil 3.23. <i>18C ve 36C pistine gelişte irtifa aralıklarında gerçekleşen düz uçuş sayısı ve ortalama düz uçuş süreleri (İrtifa aralıkları 0-5.000 ft, 5.001-10.000 ft, 10.001-15.000 ft, 15.001-20.000 ft ve 20.001-25.000 ft olarak alınmıştır.).</i>	61
Şekil 3.24. <i>Düşük irtifa düz uçuşların uçuşun seyir fazında gerçekleşmesi durumunda oluşacak yakıt ve zaman değişimi.....</i>	62
Şekil 3.25. <i>Düşük irtifa düz uçuşta ve seyir irtifasında özgül menzil (SR@L_OFF:düşük irtifada özgül menzil, SR@CRS:seyir irtifasında özgül menzil).....</i>	63
Şekil 3.26. <i>Düşük irtifa düz uçuşların uçuşun seyir fazında gerçekleşmesi durumunda oluşacak CO₂ ve H₂O emisyonlarının değişimi.....</i>	64

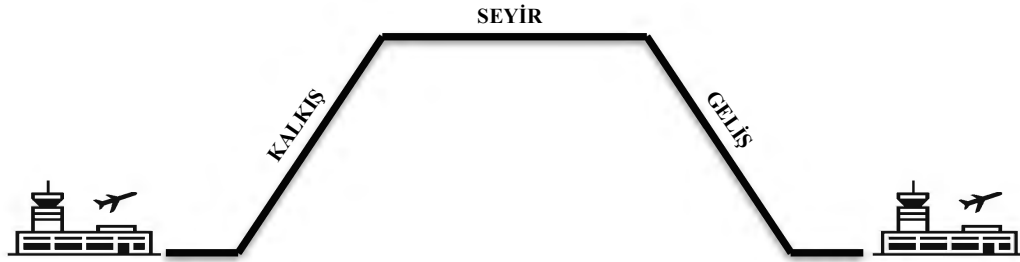
Şekil 3.27. <i>Düşük irtifa düz uçuşların uçuşun seyir fazında gerçekleşmesi durumunda oluşacak HC, CO ve NO_x emisyonlarının değişimi</i>	65
Şekil 3.28. <i>BJV meydanından kalkan trafiklerinin izlediği rotanın plan görünümü</i>	66
Şekil 3.29. <i>BJV'den kalkış trafiklerinin gerçekleştirdiği düz uçuş bölümlerinin irtifa ve süreleri.....</i>	68
Şekil 3.31. <i>ESB, AYT ve BJV meydanlarının ortalama zaman ve yakıt tasarruf değerleri</i>	71
Şekil 3.32. <i>CO₂ ve H₂O emisyonlarının düz uçuş başına ortalama tasarruf değerleri .</i>	72
Şekil 3.33. <i>HC, CO ve NO_x emisyonlarının düz uçuş başına ortalama tasarruf değerleri</i>	73
Şekil 3.34. <i>Kalkışta düz uçuş içeren trafiklerin toplam trafikteki yüzdelik payı ve ortalama düz uçuş süresi</i>	74
Şekil 3.35. <i>Düz uçuş başına ortalama zaman ve yakıt tasarruf değerleri</i>	75
Şekil 3.36. <i>CO₂ ve H₂O emisyonlarının düz uçuş başına ortalama tasarruf değerleri .</i>	75
Şekil 3.37. <i>HC, CO ve NO_x emisyonlarının düz uçuş başına ortalama tasarruf değerleri</i>	76

SİMGE VE KISALTMALAR DİZİNİ

TOC	: Son Tırmanma Noktası (Top of Climb)
TOD	: İlk Alçalma Noktası (Top of Descent)
CCO	: Devamlı Tırmanma Operasyonları (Continious Climb Operations)
CDO	: Devamlı Alçalma Operasyonları (Continious Descent Operation)
CDA	: Devamlı Alçalma Yaklaşması (Continious Descent Approach)
SID	: Standart Aletli Kalkış (Standart Instrument Departure)
ICAO	:Uluslararası Sivil Havacılık Teşkilatı (Interntional Civil Aviation Organization)
ATC	: Hava Trafik Kontrol (Air Traffic Control)
TMA	: Terminal Manevra Sahası (Terminal Manoeuvring Area)
STAR	: Standart Aletli Geliş (Standard Instrument Arrival)
FDR	: Uçuş Veri Kaydedicisi (Flight Data Recorder)
RNAV	: Saha Seyrüsefer (Area Navigation)
DHMI	: Devlet Hava Meydanları
FPA	: Uçuş Yol Açısı (Flight Path Angle)
ECS	: Çevresel Kontrol Sistemi (Environmental Control System)

1. GİRİŞ

Ulaşım ağında hava taşımacılığının sağladığı sosyal ve ekonomik fayda artmakla beraber uçaklar tarafından tüketilen yakıt miktarı ve yakıtın yanması sonucu atmosfere verilen zararlı emisyonlar da artmaktadır. Artan hava trafiği ile ilişkili olarak uçuş operasyonlarının hava kalitesine olan olumsuz etkilerinin artması ve operatörlerin maliyet giderlerini azaltma ihtiyacı, uçakların yakıt tüketimi ve emisyon konularını çevresel ve ekonomik anlamda önemli bir araştırma konusu haline getirmektedir. Uçak motorlarında ve uçak aerodinamiğinde gerçekleştirilen iyileştirmeler, araştırma safhası devam eden farklı yakıt kullanımı ve uçak yapısalında kullanılan malzemelerde meydana gelen gelişmeler yakıt tasarrufu sağlayan çözüm yollarından bazıları olmuştur [1]. Bu gelişmelerin yanı sıra yakıt tasarrufu sağlayacak bir diğer önemli çözüm yolu da temel olarak kalkış-seyir-geliş fazlarından oluşan uçuşun (Şekil 1.1), geliş ve kalkış fazlarında meydana gelen dikey uçuş verimsizliğinin minimum seviyeye indirilmesidir. Burada bahsedilen dikey verimsizlik, kalkış fazında uçağın son tırmanma noktasına (TOC: Top of Climb) ulaşmadan; geliş fazında ise ilk alçalma noktasından (TOD: Top of Descent) sonra özellikle düşük irtifalarda gerçekleştirdiği ve “level off” olarak isimlendirilen “düz uçuş” kısımlarıdır [2,3].



Şekil 1.1. Dikey Uçuş Profili

Kalkış ve geliş operasyonlarında düşük irtifada gerçekleştirilen düz uçuş bölümleri yakıt sarfiyatının artmasına sebep olmaktadır. Düşük irtifada yakıt sarfiyatının artmasının sebebi ise hava yoğunluğu ile doğru orantılı olan sürüklemenin düşük irtifalarda daha yüksek olmasındandır. Artan yakıt sarfiyatı ise ekonomik zararın artmasının yanı sıra emisyonun da artması demektir. Uçak motorlarında yanma sonucu oluşan ve yanma sonrası reaksiyonları ile oluşan, atmosferi ve insan sağlığını olumsuz

yönde etkileyen havacılık kaynaklı emisyonların yaklaşık %70' ini CO₂ (Karbon Dioksit), yaklaşık %30'unu H₂O (Su buharı) ve % 1'den az kısmını NO_x (Azot Oksit Türevleri), SO_x (Sülfür Oksit Türevleri), CO (Karbonmonoksit), HC (Yanmamış Hidrokarbonlar), PM (Partikül Madde) oluşturmaktadır. Bu emisyonlardan CO₂, yanma sonrası ortaya çıkan ürünler arasında yer almaktadır ve küresel ısınmada önemli rol oynayan sera gazı olarak bilinmektedir. H₂O, yanma sonrası meydana gelen hidrojenin havada bulunan oksijen ile birleşmesi sonucu oluşur ve CO₂ gibi sera gazı olarak tanımlanır. NO_x (NO ve NO₂), azot oksitler fosil yakıtların yanması sonucu NO (azot oksit) olarak atmosfere salınırlar. Yanma odasında yüksek sıcaklıkta azotun oksijen ile oksidasyonu sonrası oluşup atmosfere atılan NO emisyonu, hızlı bir şekilde atmosferik ozon ile tepkimeye girmekte ve NO₂ (azot dioksit) oluşumu dakikalar içerisinde gerçekleşmektedir. NO₂ güçlü bir solunum problemi oluşturan gazdır ve kalp ve solunum yolu hastalıklarına yol açmaktadır. HC, yanmanın tam gerçekleşmemesi sonucu yakıtın bir kısmı H₂O ve CO₂'ye dönüşmez ve yanmamış hidrokarbonlar oluşur. Özellikle, yanma veriminin düşük olduğu düşük itki değerlerinde, yanma odası basıncının ve sıcaklığının düşük olması HC emisyon indeksinin en yüksek olduğu durumlardır. CO, genellikle yakıtın tam yanmaması sonucu oluşmaktadır. Özellikle, yanma veriminin düşük olduğu düşük itki değerlerinde yanma odası basıncının ve sıcaklığının düşük olması CO emisyon indeksinin en yüksek olduğu durumlardır. Meydana gelen karbonmonoksit, oksijen, azot oksit ve hidroksil ile kimyasal tepkimeye girerek troposferde karbon dioksit, azot dioksit ve ozon oluşumuna sebep olmaktadır. 30 ile 90 gün arasında kimyasal yaşam süresi bulunan karbonmonoksit, kanda bulunan hemoglobin ile kuvvetli bağ yapma yeteneğine sahiptir ve bu durum kanın taşıdığı oksijenin azalmasına yol açarak insan sağlığını olumsuz etkileme potansiyeline sahiptir. SO_x, yakıt içerisindeki sülfürün yanma sırasında havadaki oksijen ile birleşmesi sonucu oluşur ve ikincil partikül madde oluşumuna sebep olmaktadır. PM, tam yanmama sonucu oluşan veya gazların yoğuşması sonucu oluşan, nefese karışacak kadar küçük partiküllerdir. Hem hava kalitesine hem de iklime olumsuz yönde etki yapmaktadır [4-6].

Uçuşun geliş ve kalkış fazında düşük irtifalarda meydana gelen, yakıt sarfiyatının ve emisyonların artmasına sebep olan dikey verimsizlikleri ortadan kaldırmak için uygulanacak optimum dikey profil, kalkış operasyonları için uçağın kalkış pistinden teker kestiği noktadan son tırmanma noktasına kadar uzanan kesintisiz dikey uçuş

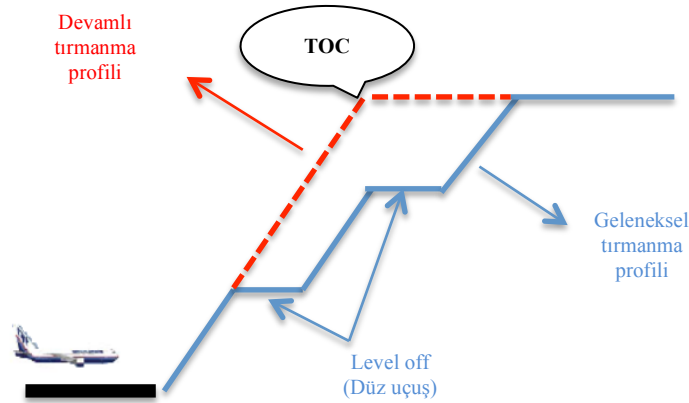
profilini; geliş operasyonları için ise ilk alçalma noktasından pist eşiğine teker koyana kadar uzanan kesintisiz dikey uçuş profilini ifade etmektedir [2,3]. Optimum dikey profile sahip kalkış ve geliş operasyonları ile düşük irtifa düz uçuş bölümleri minimum seviyeye indirgenerek ekonomik ve çevresel fayda maksimum olarak sağlanabilir. Dikey verimsizliği minimum seviyeye indireyecek optimum dikey profil, kalkan trafikler için devamlı tırmanma operasyonları (CCO:Continuous Climb Operations), geliş trafikleri için ise devamlı alçalma operasyonları (CDO: Continuous Descent Operation veya CDA:Continuous Descent Approach) ile mümkün olacaktır.

1.1. Kalkış ve Devamlı Tırmanma Operasyonları

Bir havalimanından kalkış yapan uçak standart aletli kalkış (SID: Standart Instrument Departure) rotası olarak yayınlanmış olan ilgili pistin kalkış prosedürünü takip eder. Kalkış prosedürü ise, bir uçağın kalkışını takiben engel emniyet payı ile uçuşun diğer safhasına (yol, bekleme gibi) ulaşmasını sağlar ve diğer uçuş fazına ulaşıldığında sona ermektedir [7].

Yüksek irtifalara çıkıldıkça hava yoğunluğunun azalması, uçağın optimum seyir hızına ve seyir irtifasına yaklaşması sebebi ile uçağın düz uçuş esnasında kilometre başına tükettiği yakıt miktarı yüksek irtifalara çıkıldıkça azalmaktadır. Bir başka deyişle yakıt verimliliği artmaktadır. Uçak, aldığı yakıtı henüz kullanmadığı için kalkışa başlamadan önce maksimum ağırlığındadır. Bu sebeple uçağın en ağır olduğu uçuş fazı tırmanmadır ve uygulanan yüksek itki sebebi ile özellikle kısa mesafeli uçuşlarda yakıtın önemli bir kısmı uçuşun tırmanma aşamasında tüketilir. Tırmanan uçağın daha verimli bir uçuş gerçekleştirmek için en kısa sürede ve en verimli dikey profil ile uçak tipi, uçak ağırlığı, meteorolojik şartlara göre en uygun seyir irtifasına ulaşması gerekmektedir. Bu noktada uçağın en ideal şekilde seyir irtifasına ulaşmasını sağlayacak ve yakıt tüketimini, emisyonları azaltacak yöntemlerden biri olan CCO uygulanması uygun olacaktır. Şekil 1.2’de devamlı tırmanma profili ve geleneksel tırmanma profilinde yer alan düz uçuş bölümleri gösterilmiştir. Uygulanacak olan CCO, ICAO (Interntional Civil Aviation Organization) tarafından şöyle tanımlanmaktadır. “Kalkış yapacak uçağın performansına göre belirlenen optimum dikey profilin uygulanmasına olanak sağlayan uygun hava sahası tasarımı, aletli prosedür tasarımı ve uygun hava trafik kontrol (ATC: Air Traffic Control) müsaadesinin imkan verdiği uçak

işletme tekniğine devamlı tırmanma operasyonu denir (ICAO Doc 9993, 2013, s.A-1-1)”.
1)



Şekil 1.2. *Devamlı tırmanma profili*

Devamlı tırmanma operasyonlarının maksimum faydayı sağlaması için tırmanma profili kalkıştan seyir irtifasına kadar kesintisiz devam etmelidir. Ancak, uçağın seyir irtifasına ulaşmadan ideal tırmanma rotasının değişmesini gerektirecek diğer trafikler, manialar, yasaklı/tahditli hava sahaları, uçak performansı ve gürültü azaltma prosedürleri, pist sayısı ve konfigürasyonu, izleme sistemleri, uçakların seyrüsefer yetenekleri gibi faktörler seyir irtifasına ulaşmadan düşük irtifalarda düz uçuşa sebep olabilir. Bu durum yakıt sarfiyatına ve dolayısı ile emisyonların miktarının artmasına ve hava trafik kontrolörlerinin pilotlara verecekleri talimatlar doğrultusunda frekans meşguliyetine sebep olacaktır.

Kalkışlar için yayınlanacak standart aletli kalkış prosedürleri, havalimanına yakın çevredeki havalimanlarının trafikleri ile etkileşim, mania veya yasaklı sahalar vb. sebepler ile tam olarak optimum profile sahip bir CCO olamayabilirler. Ancak tırmanmanın belirli bölümlerinde gerçekleşecek devamlı tırmanma operasyonları bile önemli faydalar sağlayacaktır. Bir bütün olarak geliş ve kalkış verimliliğini sağlamak için, emniyetli operasyonun gereklilikleri dahilinde trafiği hızlandırma, kapasiteyi karşılama ve uçuş zamanı, uçuş mesafesi, yakıt miktarı, emisyon ve gürültü azaltma arasında denge kurarak devamlı tırmanma operasyonlarının gerçekleştirilmesi önemli ekonomik ve çevresel faydalar sağlayacaktır. Ekonomik ve çevresel faydaları kısaca özetleyecek olursak:

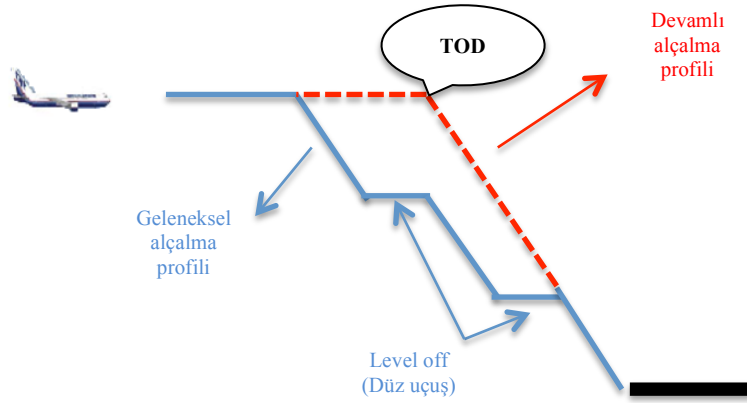
- Daha verimli operasyonlar neticesinde harcanan yakıt miktarında azalma

- Yakıt miktarında azalmaya bağılı olarak mali tasarruf ve çevresel etkilerde azalma
- Uçuş ekibi ve hava trafik kontrolör iş yükünde azalma
- Frekans meşguliyetinde azalma
- İtki ve irtifanın optimum seviyeye çekilmesiyle gürültüde azalma

1.2. Geliş ve Devamlı Alçalma Operasyonları

İniş yapacağı havalimanının terminal manevra sahasına (TMA: Terminal Manoeuvring Area) ulaşan uçak standart aletli geliş (STAR: Standard Instrument Arrival) olarak yayınlanmış ilgili geliş prosedürünü takip eder. Geliş prosedürü, uçağı yol safhasından alıp ilk yaklaşma fiksine kadar getirir. Geleneksel prosedürler ile belirlenmiş olan geliş ve yaklaşımların, uçakları iniş gerçekleştirecekleri pist yönünde erken ve kademeli olarak alçaltıyor olması nedeni ile uçaklar için yakıt verimli uçuş profillerinin kullanımı her zaman mümkün olamayabilir. Ayrıca, havalimanı ve havalimanına yakın yerleşim bölgelerinde yüksek gürültü ve emisyon oluşumuna neden olur. Bu prosedürleri takiben iniş yapacağı havaalanına yaklaşmakta olan uçak son yaklaşma safhasındaki *glideslope* açısını yakalamadan önce sabit hızda genellikle alçak uçuş irtifasını muhafaza etmektedir. Ancak, uçaklar sabit hız ve alçak irtifayı muhafaza etmek için yüksek motor itkisine ihtiyaç duymaktadır. Bu da hem çevresel hem de ekonomik açıdan olumsuz etkilere yol açmaktadır.

Devamlı alçalma operasyonu ICAO tarafından şöyle tanımlanmaktadır: “Uygun hava sahası, prosedür tasarımı ve ATC müsaadesi ile uçağın performansına göre belirlenen düşük itki ve düşük sürüklenme konfigürasyonunda optimum alçalma profilini uygulama tekniğidir (ICAO Doc 9931, 2010, s.A-1-1)”. Şekil 1.3’te gösterildiğı gibi CDO gerçekleştiren bir uçak, geleneksel yaklaşımadaki düz uçuş bölümlerini içermemektedir ve devamlı alçalmaktadır. Böylece yakıt tüketimi, emisyon, gürültü, uçuş mesafesi ve uçuş süresinde azalma sağlanmaktadır.



Şekil 1.3. Devamlı alçalma profili

TOD noktasından alçalmaya başlayan ve geleneksel yaklaşma profiline sahip bir uçağın dikey verimsizliklerinin ortadan kalkmasına imkan sunan devamlı tırmanma operasyonlarının potansiyel faydaları:

- Hava sahasının ve geliş rotalarının daha verimli kullanımı
- Pilot ve kontrolör iş yükünde azalma
- Frekans meşguliyetinde azalma
- Yakıt tüketiminde azalmaya bağlı olarak çevresel ve mali tasarruf şeklinde kısaca özetlenebilir.

1.3. Tezin Amacı

Uçuş verimliliği ile ilgili yapılan çalışmalar, hava sahası yol yapıları ve hava trafik prosedürlerinde yapılacak iyileştirmeler ile yakıt tüketimi ve emisyonlarda azalma olabileceğini öngörmektedir [8-15]. Özellikle uçakların havaalanlarına geliş ve yaklaşmaları sırasında erken veya kademeli alçalarak uzun süreli alçak irtifada düz uçuş gerçekleştirmeleri, benzer şekilde kalkış yapan trafiğin de düşük irtifalarda düz uçuş bölümleri içermesi yüksek itki gerektirmesi nedeniyle yakıt tüketimini ve emisyonu arttırmaktadır. Kalkış ve geliş operasyonlarının dikey profilinde yapılacak iyileştirmeler uçak operatörlerinin maliyetlerini azaltacağı gibi çevresel açıdan emisyonu da azaltacaktır. Bu çalışmada, çalışma bölgesi olarak Ankara Esenboğa Havalimanı (ESB), Antalya Havalimanı (AYT) ve Muğla Milas-Bodrum Havalimanı (BJV) seçilmiştir. Bu havalimanlarında gerçekleştirilen uçuşların kalkış ve geliş safhalarına odaklanılmıştır ve 737-800 tipi uçakların gerçekleştirdikleri uçuşlara ait veriler uçuş

veri kaydedicilerinden (FDR: Flight Data Recorder) temin edilmiştir. Çalışma kapsamında seçilen havalimanlarından kalkış yapan uçakların kalkış yaptıkları pistten ilk seyir irtifalarına kadar ve seyir irtifalarından iniş yapacakları piste teker koyma anına kadar gerçekleşen uçuş safhaları dikkate alınarak geliş ve kalkışlardaki dikey verimsizlik analizlerinin yapılması ve verimsizlikleri ortadan kaldırmaya yönelik çözüm önerilerinin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda aşağıdaki hedefler çalışma kapsamına dahil edilen havalimanları için gerçekleştirilecektir.

- Her bir havalimanı için alçalan ve tırmanan trafiklerin düşük irtifa düz uçuş bölümlerinin hangi irtifalarda yoğunlaştığını belirlemek.
- Her bir havalimanı için alçalan ve tırmanan trafiklerin düşük irtifa düz uçuş bölümlerinin yakıt tüketimi, emisyon ve uçuş süresini hesaplamak.
- Düşük irtifa düz uçuş bölümlerinin seyir irtifasında gerçekleşmesi halinde yakıt tüketimi, emisyon ve uçuş sürelerine etkilerini belirlemek.
- Elde edilen bulgular doğrultusunda ekonomik ve çevresel faydalar sunan geliş ve kalkış rota önerileri geliştirmek.

1.4. Literatür Araştırması

Geliş ve kalkış trafiklerinin dikey ve yatay profillerinde meydana gelen verimsizliklerin sebeplerinin araştırıldığı çalışmada (DeArmon vd., 2014), terminal sahasında gerçekleşen kalkış operasyonlarının verimliliğini ölçmek için geliştirilen DFE (Departure Flow Efficiency) yöntemi ve kalkış trafiğin verimsiz bir yatay ve dikey profil ile seyir irtifasına ulaşmasına sebep olan verimsizlik faktörleri ele alınmıştır. Bir uçağın seyir irtifasına ulaşacağı optimum süreden sapma olarak belirlenen DFE, Chicago O'Hare Uluslararası Havalimanı'ndan kalkış yapan trafiklerin radar verisine uygulanmıştır ve yapılan çalışmada terminal sahasında verimsizliğe sebep olan rüzgar etkisi, kötü hava şartlarının etkisi ve optimum tırmanma profilini kesintiye uğratan geliş trafiği etkisi gibi faktörler incelenmiştir [14].

Dorfman vd., (2012). tarafından Amerikan Ulusal Hava Sahası'nda (NAS) gerçekleşen geliş ve kalkış trafiklerinin dikey uçuş profilinde düşük irtifalarda meydana gelen düz uçuş bölümlerinin analizi için bir yöntem geliştirilmiştir ve Hartsfield-Jackson Atlanta Havalimanı uygulaması ile örneklendirilmiştir. Dikey verimsizlik analizlerinin yapılması için sunulan yöntemde, düz uçuş kısımlarının

havaalanına, uçak kategorisine, irtifaya, mesafeye ve uçuş süresine, kalkış veya geliş meydana geldiği coğrafi konumuna göre belirlenmesi gibi öneriler sunulmuştur. Bu çalışmada sunulan yöntem ile dikey uçuş verimsizlikleri ve özellikleri belirlenerek hava sahası tasarımında ve uçuş prosedür tasarımında önemli katkı sunacağına vurgu yapılmıştır [11].

Alcabin vd., (2009). tarafından yapılan çalışmada NAS içerisinde kalkış, seyir ve geliş fazında meydana gelen dikey uçuş verimsizliğinin belirlenerek, bu verimsizliklerin yakıt sarfiyatına olan yıllık etkisinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Chicago O'Hare Uluslararası Havalimanı (ORD) ve Denver Uluslararası Havalimanı (DEN) referans alınarak yapılan çalışmada, ORD havalimanına 81 geliş-kalkış, DEN havalimanına 61 geliş-kalkış trafiği, radar verisi kullanılarak analiz edilmiştir. Seçilen havalimanlarına geliş ve kalkış trafiklerinin içerdiği "düz uçuş" bölümlerinin sebep olduğu yakıt sarfiyatı, aynı uçuşun seyir irtifasında gerçekleşen yakıt tüketimi ile karşılaştırılarak belirlenmiştir. İki büyük havalimanına gerçekleşen geliş kalkış trafiğinin analizi sonucu elde edilen sonuçlar ekstrapolasyon ile NAS geneline uygulanmıştır. ORD havalimanına geliş trafiğinde oluşan dikey verimsizliğin yakıt sarfiyatına etkisi her bir geliş için ortalama 165,56 kg ve her bir kalkış için ortalama 18,59 kg; DEN havalimanına her bir geliş için ortalama 97,98 kg ve her bir kalkış için 8,62 kg olduğu belirlenmiştir. Toplamda ise dikey verimsizlik sebebi ile yıllık 1,18 milyon ton yakıt sarfiyatı hesabı yapılmıştır [10].

Terminal sahasındaki geliş ve kalkış operasyonlarının yatay ve dikey verimliliğini artırarak yakıt tüketimini ve emisyonları azaltmaya yönelik çalışmalar saha seyrüsefere (RNAV: Area Navigation) dayalı geliş ve kalkış operasyonlarının kullanılması ile de ilişkilendirilmektedir. Sprong vd., (2005). tarafından gerçekleştirilen çalışmada, radar verisi kullanılarak Las Vegas McCarran havaalanı terminal sahasında 2000 yılında geleneksel prosedürler ile gerçekleştirilen operasyonlar ile 2004 yılında gerçekleştirilen RNAV operasyonların geliş irtifası, rota muhafaza doğruluğu, uçuş süresi ve mesafesini içeren karşılaştırmalar yapılmıştır. Ayrıca 2004 yılına ait hava sahası yapısı ile 2000 yılına ait hava sahası yapısında değişiklikler olması sebebi ile 2000 yılındaki uçuş verileri RNAV tasarım oluşturularak yeniden simüle edilmiştir. Her iki senaryoda da RNAV prosedürlerin geliş irtifası, rota muhafaza doğruluğu, uçuş süresindeki ve mesafesindeki tutarlılık kıyaslamasında daha verimli sonuçlar sunduğu görülmüştür [16].

Sprong (2005). tarafından gerçekleştirilen diğer bir çalışmada, Atlanta Hartsfield-Jackson Havaalanı'ndaki geleneksel SID uygulaması yerine RNAV SID prosedürlerinin uygulanmasının kapasiteye etkisi ele alınmış ve devamlı tırmanma operasyonun sağlayacağı faydaya değinilmiştir. RNAV SID uygulanması ile uçağın pozisyon bilgi hassasiyetin artması, yaklaşma ve yol kontrol arasındaki trafiğin devrini kolaylaştırmış ve geleneksel SID durumunda uygulanmak zorunda kalınan düz uçuş kısımlarının azalmasını sağlamıştır. Böylece 10.000 ft civarında yoğunlaşan düz uçuş %41 oranında azalmış ve düşük irtifalarda gerçekleşen düz uçuş bölümlerinin daha az yakıtın tüketileceği yüksek irtifalarda (seyir irtifasında) gerçekleşmesini sağlamıştır. Ayrıca günlük toplam 1011 NM mesafe kazancı sağladığı gözlenmiştir [17].

Terminal sahasındaki geliş operasyonlarının düşük irtifalarda gerçekleşen düz uçuş bölümlerini minimum seviyeye indirgeyecek ve dikey verimsizlik sonucu oluşacak yakıt sarfiyatını ve emisyonları azaltacak en önemli yöntemler olarak görülen CDO ve CCO operasyonlarının sağladığı faydaları gösteren birçok çalışma bulunmaktadır [18-25]. Shresta vd., (2009). tarafından Denver Havalimanı için yapılan çalışmada, alçalma esnasında “düz uçuş” içeren operasyonların TOD noktasından teker koyma noktasına kadar CDA profili uygulaması durumunda ve diğer trafiklerin etkilerinden dolayı kısıtlı oranda CDA profiline sahip devamlı alçalma operasyonlarının sağlayacağı yakıt ve emisyon faydası analizi yapılmıştır. Radar verileri ve BADA (Base of Aircraft Data) performans modeli kullanılarak gerçekleştirilen analizlerde, uçaklara hiçbir sınırlama olmadan devamlı alçalma yaptırılması durumunda günlük 75,700 kg yakıt, 200 ton CO₂ ve 45,4 kg SO₂ tasarrufu sağlanacağı öngörülmüştür. Ancak TOD'den teker koyma noktasına kadar olan bir CDO uygulanması diğer trafiklerden dolayı mümkün olmamıştır. Çarpışmaları önleyici strateji uygulanarak daha gerçekçi bir senaryoya göre analiz yapıldığında günlük maksimum yakıt tasarrufunun hiçbir kısıtlama olmadan ulaşılabilir faydanın % 15'ine düştüğü ve 11.360 kg yakıt tasarrufu, 30 ton CO₂ ve 6,8 kg SO₂ emisyon tasarrufu sağlayacağı sonucuna varılmıştır [18].

Wilson ve Hafner (2005). tarafından gerçekleştirilen çalışmada, Atlanta Havalimanı için toplam uçuş süresi, yakıt tüketimi ve toplam uçuş mesafesindeki CDA'nın etkileri araştırılmıştır. TAAM (Total Airspace and Airport Modeler) simülasyon aracı kullanılarak yapılan çalışmalarının neticesinde CDA kullanımı sayesinde ilk yaklaşma fiksinden itibaren gerçekleştirilen her bir uçuş için 1 dakikalık

uçuş süresi kazancı ve buna göre de yıllık olarak toplam 30 milyon dolara kadar bir tasarruf sağlandığı bulunmuştur [20].

Thompson vd., (2013). tarafından Newyork ve Paris bölgesinde bulunan ve benzer özellikler gösteren havalimanlarında gerçekleştirilecek CDA operasyonlarının yakıt tüketimi, gürültü ve NO_x emisyonlarında sağlayacağı azalma aynı yöntem ve modeller kullanılarak analiz edilmiştir. Radar verisinin kullanıldığı ve B757 tipi uçağın referans alındığı çalışmada Noise Integrated Routing System (NIRS), Advanced Emission Model (AEM III), ICAO Fuel Estimation Tool (IFET) modelleri kullanılarak CDA uygulamasının sağlayacağı faydalar sunulmuştur. NIRS ve AEM III sonuçlarına göre her bir uçuş için Newyork bölgesinde 213 kg ve 257 kg, Paris bölgesinde ise 165 kg ve 182 kg ; IFET sonuçlarına göre ise her iki bölgede de her bir uçuş için 200 kg yakıt tasarrufu sağlanacağı hesaplanmıştır. CDA uygulaması ile NO_x emisyonlarında ise Paris bölgesi için % 24 azalma ve Newyork bölgesi için ise % 51 oranında azalma sağlanacağı öngörülmüştür [23].

Literatür incelendiğinde, CDO operasyonlarının potansiyel faydalarını ele alan çalışmalar görece fazla iken, CCO operasyonlarını ele alan çalışmaların [26,27] kısıtlı olduğu görülmektedir. Bu çalışmalardan birisi Roach ve Robinson (2010) tarafından Dallas/Forth Worth Uluslararası Havaalanında yapılan ve devamlı tırmanma operasyonlarının muhtemel faydalarının ele alındığı çalışmadır. 9 günlük trafik verisi kullanılan çalışmada DFW havaalanına geliş trafiğini daha yüksek seviyeden getirerek CDO uygulatılması halinde, geliş trafiğinin seviyesi ile kesişen ve düz uçuş gerçekleştiren kalkış trafiğine devamlı tırmanma imkanı yaratılarak yakıt ve zamandan tasarruf sağlanabileceği sonucuna ulaşılmıştır. Kalkış trafiğinin geliş trafiği ile kesiştiği 10.000-11.000 ft irtifada gerçekleştirdiği düz uçuş ortalama 9,4 NM olarak hesaplanmış, ancak bu mesafe 31.000 ft irtifada gerçekleştirilmesi durumunda uçuş başına 24 saniye zaman tasarrufu sağlayacağı gözlenmiştir. Kademeli tırmanış esnasında trafik başına harcanan toplam yakıt ortalama 1.395 kg iken, devamlı tırmanma gerçekleştirilmesi halinde bu miktarın 22 kg azalacağı gözlenmiştir [26].

McConnachie vd., (2015). tarafından yapılan çalışmada NAS içerisinde bulunan havalimanlarında tırmanma sırasında meydana gelen dikey verimsizlikleri süre, irtifa, havaalanı, operator ve uçak tipi açısından belirlemek ve belirlenen bu dikey verimsizliklerin yerine uygulanacak CCO operasyonlarının sağlayacağı yakıt tasarrufunun hesaplanması amaçlanmıştır. Çalışma için bir haftalık yaklaşık 500.000

radar verisi kullanılmıştır. Çalışma için NAS içerisinde en yoğun trafiğe sahip Los Angeles International Airport (LAX), Denver International Airport (DEN) ve Logan International Airport (BOS) seçilmiştir. Yapılan analizler sonucunda ortalama 10 uçuştan 3 tanesinde tırmanma fazında düz uçuş gözlenmiş olup, bunların tırmanma süresinin yaklaşık % 5'ine denk geldiği gözlenmiştir. Tırmanma esnasında meydana gelen düz uçuş bölümlerinin büyük bir kısmının 1 dakikanın altında olduğu görülmüştür. Bir başka sonuç ise geliş fazında meydana gelen düz uçuş sayısının tırmanma fazında meydana gelen düz uçuş sayısının 2 katı ; düz uçuş süresinin ise 3 katı kadar olduğudur. Son olarak ise LAX, DEN VE BOS havalimanında uygulanacak CCO sonucu uçuş başına ortalama 6 kg ile 19 kg arasında değişen yakıt tasarrufu ve yıllık 6.970 ton, 3.380 ton ve 7.360 ton CO₂ tasarrufu sağlayacağı öngörülmüştür.

Yukarıda verilen literatür çalışmalarında dikey uçuş verimsizliğinin sebepleri, düşük irtifa düz uçuşları yerine tırmanma fazında devamlı tırmanma operasyonlarının; alçalma fazında ise devamlı alçalma operasyonlarının sağlayacağı faydalar analiz edilmiştir. Bu çalışmada ise gerçek uçuş verileri kullanılarak seçilen üç havalimanı için geliş ve kalkış operasyonlarının dikey profilinde meydana gelen düşük irtifa düz uçuş bölümlerinin frekansı, süresi ve mesafesi analiz edilmiştir. Frekans analizinin yanı sıra geliş ve kalkış profilinin optimum dikey profilden sapmasına neden olan düşük irtifa düz uçuş bölümlerinin neden olduğu zaman kaybının, yakıt sarfiyatının ve emisyonların analizi gerçekleştirilmiştir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Materyal

Çalışmada ESB, AYT ve BJV havalimanlarına iniş ve kalkış yapan 737-800 tipi uçaklara ait uçuş verilerinin kullanılmış olması sebebi ile materyal bölümünde öncelikle 737-800 tipi uçağa ait FDR verisi tanıtılacak ve ardından uçuş profillerinin görselleştirilmesinde kullanılan *gpsvisualizer* uygulaması ve düz uçuş bölümlerinin filtreleme işlemlerinde kullanılan *excel macro* tanıtılacaktır.

2.1.1. FDR verisi

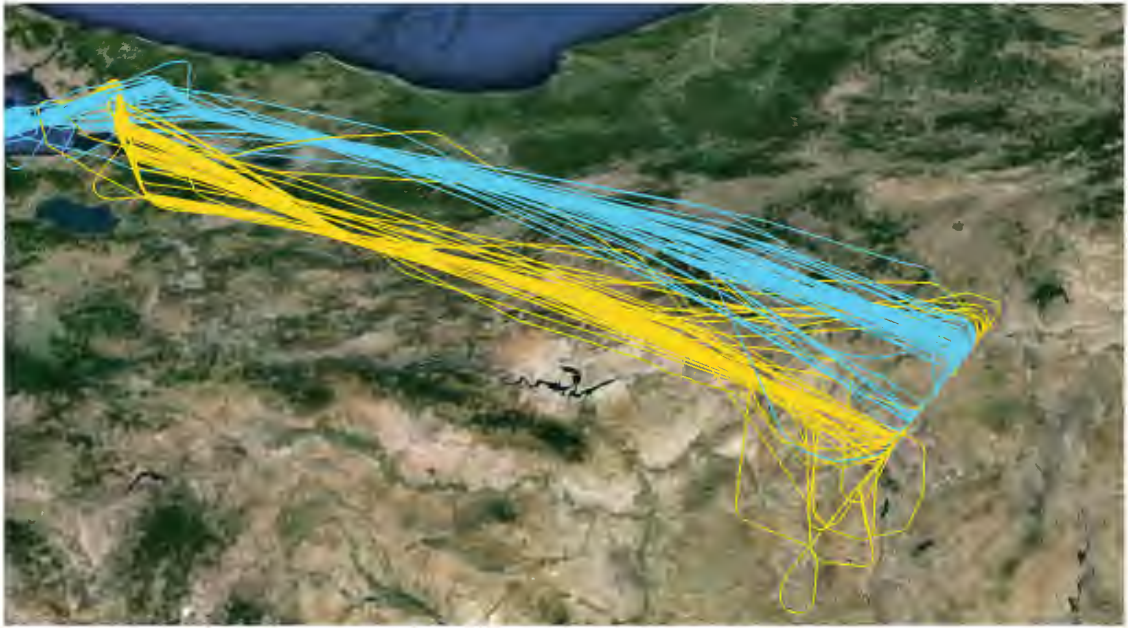
Çalışma kapsamında yapılan analizlerde kullanılan uçuş verileri, uçuş veri kaydedicisinden temin edilmiştir. 737-800 tipi uçağa ait uçuş veri kaydedicisi, uçuş operasyonunu sırasında uçağın sistem ve sensörlerinden gelen verileri kaydetmektedir. FDR tarafından hemen her saniye kaydedilen uçuş verisi operatörler tarafından özel bir veri tabanına kaydedilmektedir. Bu çalışma kapsamında kullanılan uçuş verilerinin tamamı Türkiye'nin önde gelen havayolu şirketlerinden biri olan Pegasus Hava Taşımacılığı A.Ş. tarafından sağlanmıştır. Geliş ve kalkış operasyonlarının dikey profillerinin analizi için Pegasus Havayolları'ndan *Excel* formatında alınan FDR verilerinden seçilmiş farklı parametreler Çizelge 2.1'de sunulmuştur.

Çizelge 2.1. Uçuş verileri parametre listesi

FDR Parametresi	Açıklaması	FDR Parametresi	Açıklaması
FLIGHT_PHASE	Uçuş fazı	FUEL_TXI_1	1 no'lu motorun taksi_in için kullandığı yakıt (kg)
ALT_STD	Standart irtifa (ft)	FUEL_TXI_2	2 no'lu motorun taksi_in için kullandığı yakıt (kg)
ALTITUDE	Rakım üzerindeki irtifa (ft)	N1_1	1 no'lu motorun N1 devri (%RPM)
ALT_RADIO	Radio İrtifa (ft)	N1_2	2 no'lu motorun N1 devri (%RPM)
FPA	Uçuş yol açısı (°)	ENG_THR_VAL_1	1 no'lu motorun Throttle açısı (°)
FUEL_FLOW_1	1 no'lu motorun anlık yakıt tüketimi (kg/h)	ENG_THR_VAL_2	2 no'lu motorun Throttle açısı (°)
FUEL_FLOW_2	2 no'lu motorun anlık yakıt tüketimi (kg/h)	GW	Uçağın toplam kalkış kütlesi (lbs)
GS	Yer hızı (kt)	GROSS_WEIGHT	Uçağın toplam kalkış kütlesi (ton)
TAS	Gerçek hava hızı (kt)	ORIGIN_IATA	Kalkış havaalanı IATA kodu
CAS	Hesaplanan hava hızı (kt)	DESTINATION_IATA	Variş havaalanı IATA kodu
DIST_TO_THR	Eşik noktasından mesafe (NM)	DEP_RUNW	Kalkış pisti
DTD	Teker koyma noktasından mesafe (NM)	ARR_RUNW	İniş pisti
FLT_DIST	Uçuş mesafesi (NM)	ENG_EGT1	1 no'lu motorun egzoz gaz sıcaklığı (°C)
AIRGND	Hava/Yer bilgisi	ENG_EGT2	2 no'lu motorun egzoz gaz sıcaklığı (°C)
FUEL_CONS_1	1 no'lu motorun anlık yakıt kullanımı (kg)	MACH	Mach sayısı
FUEL_CONS_2	2 no'lu motorun anlık yakıt kullanımı (kg)	FLAPS_ANGLE	Flap açısı (°)
TFQ	Toplam yakıt miktarı (kg)	FLAPS	Flap konfigürasyonu
TOTAL_FUEL	Toplam kullanılan yakıt (kg)	WIND_SPD	Rüzgâr hızı (kt)
FUEL_TXO_1	1 no'lu motorun TXO'da kullandığı yakıt (kg)	WINDIR	Rüzgâr yönü (°)
FUEL_TXO_2	2 no'lu motorun TXO'da kullandığı yakıt (kg)	HEADING	Uçuş başı (°)
FUEL_TO_1	1 no'lu motorun TO'da kullandığı yakıt (kg)	LATITUDE	Enlem
FUEL_TO_2	2 no'lu motorun TO'da kullandığı yakıt (kg)	LONGITUDE	Boylam
FUEL_ICLMB_1	1 no'lu motorun ilk tırmanmada kullandığı yakıt (kg)	TAT	Toplam hava sıcaklığı
FUEL_ICLMB_2	2 no'lu motorun ilk tırmanmada kullandığı yakıt (kg)	SAT	Statik hava sıcaklığı
FUEL_CLMB_1	1 no'lu motorun tırmanmada kullandığı yakıt (kg)	ALT_BARO_CPT	Kaptan tarafı düzeltilmiş dış hava basıncı
FUEL_CLMB_2	2 no'lu motorun tırmanmada kullandığı yakıt (kg)	ALT_BARO_FO	Yardımcı tarafı düzeltilmiş dış hava basıncı
FUEL_CRS_1	1 no'lu motorun seyirde kullandığı yakıt (kg)	BAROCAP	Dış hava basıncı 1
FUEL_CRS_2	2 no'lu motorun seyirde kullandığı yakıt (kg)	BAROFO	Dış hava basıncı 2
FUEL_DES_1	1 no'lu motorun alçalmada kullandığı yakıt (kg)	TFQ	Toplam yakıt miktarı (lbs)
FUEL_DES_2	2 no'lu motorun alçalmada kullandığı yakıt (kg)	TFQ	Toplam yakıt miktarı (ton)
FUEL_APP_1	1 no'lu motorun yaklaşımda kullandığı yakıt (kg)	CFQ	Merkez depodaki yakıt miktarı (lbs)
FUEL_APP_2	2 no'lu motorun yaklaşımda kullandığı yakıt (kg)	LFQ	Sol depodaki yakıt miktarı (lbs)
FUEL_FAPP_1	1 no'lu motorun son yaklaşımda kullandığı yakıt (kg)	RFQ	Sağ depodaki yakıt miktarı (lbs)
FUEL_FAPP_2	2 no'lu motorun son yaklaşımda kullandığı yakıt (kg)	APU_ON	APU'nun çalışma durumu
FUEL_LDGR_1	1 no'lu motorun inişte kullandığı yakıt (kg)	APUEGT	APU'nun egzoz gaz sıcaklığı (°C)
FUEL_LDGR_2	2 no'lu motorun inişte kullandığı yakıt (kg)	APU_FF	APU anlık yakıt tüketimi (kg/h)
FUEL_GA_1	1 no'lu motorun inişten vazgeçmede kullandığı yakıt (kg)	APU_FUEL_TXI	APU taksi-in yakıt tüketimi (kg)
FUEL_GA_2	2 no'lu motorun inişten vazgeçmede kullandığı yakıt (kg)	APU_FUEL_TXO	APU taksi-out yakıt tüketimi (kg)

2.1.2. Excel macro ve gpsvisualizer

Geliş ve kalkış trafiklerinin dikey profil analizi için iki farklı bilgisayar uygulamasından faydalanılmıştır. Bunlardan birincisi online “*Gpsvisualizer*” uygulamasıdır. Bu uygulama enlem, boylam ve irtifa gibi coğrafi veriler kullanarak Google Earth üzerinde uçuş rotalarının çizilmesine ve havalimanına gelen ve kalkan uçakların izlediği rotaların görselleştirilmesine imkan sunmaktadır (Şekil 2.1’de sunulmaktadır).



Şekil 2.1. *Gpsvisualizer* kullanılarak görselleştirilen uçuş rotaları

Uygulama *excel*, *text*, *zip* gibi birçok dosyayı okuma özelliğine sahiptir. FDR verisi alınan uçuşların her birinin enlem, boylam ve irtifa bilgisi uçuş boyunca her saniye kaydedilmektedir ve her bir uçuş ayrı bir *excel* dosyasındadır. *Gpsvisualizer* uygulamasına her bir uçuşun enlem boylam ve irtifa bilgisini yüklemek amacı ile her bir trafiğin enlem, boylam ve irtifa bilgisi tek bir *excel* dosyasında alt alta yazdırılarak tek seferde *Gpsvisualizer* aracılığı ile Google Earth üzerine aktarılmıştır. Uçuşların terminal sahasına giriş ve çıkış noktalarının belirlenmesi, geliş ve kalkış trafiklerinin izlediği rotaların dağınıklığı konusunda fikir edinmek için yararlı bir uygulama olan “*gpsvisualizer*”, düz uçuş bölümlerinin rota üzerinde gösterilmesinde de önemli bir imkan sunmaktadır.

Veri analizi için faydalanılan ikinci uygulama ise *Excel Macro*’dur. Geliş ve kalkış operasyonlarının dikey profilini incelemek ve alçalma-tırmanma esnasında düşük irtifalarda meydana gelen düz uçuş kısımlarının süresini, irtifasını, yakıt akışını, harcanan yakıtı, ortalama yer hızını, gerçek hava hızı gibi parametreleri hesaplamak için *Excel Macro* yazılmıştır. Yazılan *Macro* ile analizler sistemli ve hızlı bir şekilde gerçekleşmektedir. Örneğin bir klasör içerisindeki yüzlerce uçuş dosyasını tek tek açarak bu işlemleri gerçekleştiren kod her biri yaklaşık 4.000 satırdan oluşan 100 uçuşu yaklaşık 20 dakikada analiz etmektedir.

2.2. Yöntem

Geliş ve kalkış trafiklerinin dikey profil analizinin amacı verimsizlik noktalarını belirlemek ve verimsizlik meydana gelen noktalarda yapılabilecek iyileştirmelerin sağlayacağı potansiyel faydayı ortaya koymaktır. Uçaklar düşük irtifalarda gerçekleştirdikleri düz uçuşlarda, yüksek irtifalarda gerçekleştirdikleri düz uçuşlara nazaran daha fazla yakıt tüketmektedir ve daha fazla emisyonu sebep olmaktadır. Bu sebeple düşük irtifalarda meydana gelen düz uçuş bölümlerinin olumsuz sonuçları üç farklı yöntem ile azaltılabilir [11].

- Düz uçuş bölümlerinin mesafe ve süresini kısaltmak
- Düz uçuş bölümlerini daha yüksek irtifalara çıkarmak
- Düz uçuş bölümlerini tamamen kaldırmak

Türk hava sahasında bulunan 3 önemli havalimanına geliş ve kalkış trafiğinin dikey profilinin analizinde kullanılacak, dikey profilde yapılacak değişikliklerin meydana getireceği etkinin rakamsal ifadesini ortaya koymak için izlenecek adımlar aşağıda sunulan basamaklardan oluşmaktadır.

2.2.1. Havalimanlarının seçimi

Çalışma kapsamında seçilen havalimanlarının Türk hava sahasında bulunan meydanlar içerisinde iç hat trafiğinin en yoğun olduğu ilk 10 meydan arasında olmasına özen gösterilmiştir. Devlet Hava Meydanları (DHMİ) 2014 istatistiğine göre Türkiye’de iç hat trafiğinin en yoğun olduğu ilk 10 havalimanını gösteren Şekil 2.2 aşağıda sunulmuştur.



Şekil 2.2. Türkiye'de en yoğun iç hat trafiğine sahip ilk 10 havalimanı [32]

Seçilen meydanlara geliş ve kalkış trafiklerinin dikey profilini incelemek üzere seçilen uçuşların tamamı 737-800 tipi uçakları ile gerçekleştirilen uçuşlardır. DHMİ 2014 istatistiklerine göre Türkiye'de 2014 yılında gerçekleşen toplam 1.345.954 uçak trafiğinin 547.944 tanesinin yani % 40,7' sinin 738-800 tipi uçak ile gerçekleştirildiği görülmektedir. Bu istatistik, incelenecek olan FDR verisinin ait olduğu uçak tipinin Türkiye'de gerçekleşen hava yolu trafiğinde önemli bir temsil gücüne sahip olduğunu göstermektedir.

Çalışmada, seçilen meydanların geliş ve kalkış trafiğini analiz etmek üzere seçilen örneklem ESB, BJV ve AYT meydanlarının Temmuz ve Ağustos ayına ait uçuşları içermektedir. Seçilen 3 meydana gelişlerin tamamı SAW meydanından kalkış yapan trafikler; seçilen 3 meydana kalkış yapan tüm uçuşlar ise yine SAW meydanına iniş yapan trafiklerdir. ESB meydanı için 138 geliş ve 67 kalkış, BJV meydanı için 146 geliş ve 100 kalkış, AYT meydanı için ise 128 geliş ve 120 kalkış trafiği incelenmiştir.

Çizelge 2.2. Seçilen meydanlar için incelenecek geliş ve kalkış trafik sayısı

Meydan Kodu	Geliş	Kalkış	Toplam
ESB	138	63	201
AYT	128	120	248
BJV	146	100	246

2.2.2. Uçuş fazı mantığı

Bir havalimanından kalkıp diğer havalimanına iniş yapan uçağın kalkış ve geliş fazında meydana gelen düz uçuş bölümlerini tespit edebilmek için uçuşun her saniyesinde hangi uçuş fazında bulunduğu bilinmesi gerekmektedir. Uçuşların analizinde kullanılan FDR kayıtlarında bir uçuş farklı fazlara ayrılmıştır (Çizelge 2.3'te sunulmuştur.).

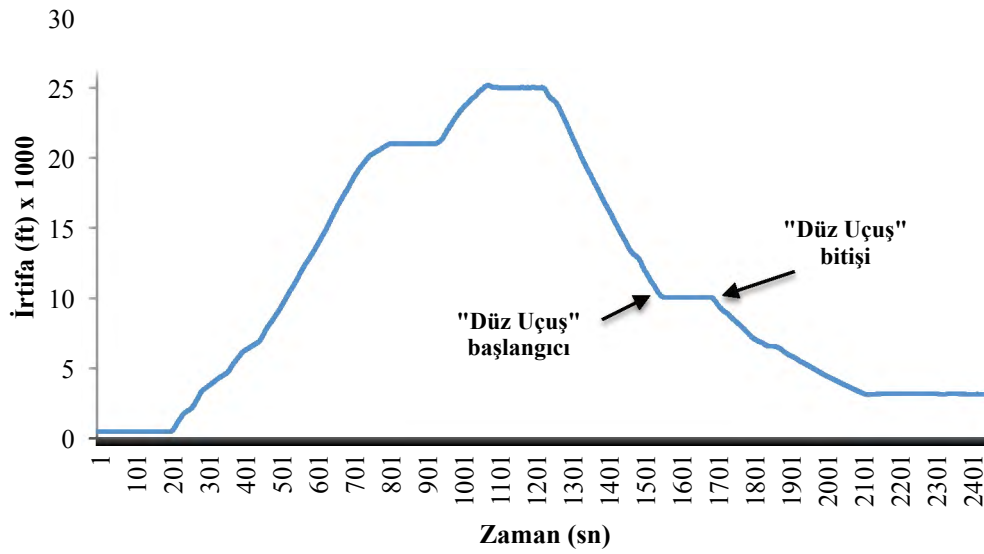
Çizelge 2.3. Uçuş fazları ve açıklamaları [34]

NUMARA	KOD	UÇUŞ FAZI	NUMARA	KOD	UÇUŞ FAZI
0	PRF	UÇUŞ ÖNCESİ	8	APP	YAKLAŞMA
1	ESR	MOTOR ÇALIŞTIRMA	9	FNA	SON YAKLAŞMA
2	TXO	TAKSİ GİDİŞ	10	GOA	GO AROUND
3	TKO	KALKIŞ	11	LAN	İNİŞ
4	INC	İLK TIRMANMA	12	TAG	TOUCH AND GO
5	CLB	TIRMANMA	13	TIN	TAKSİ GELİŞ
6	CRS	SEYİR	14	ESP	MOTOR KAPATMA
7	DES	ALÇALMA			

Çalışmada geliş ve kalkış trafiklerinin dikey profilinin analizi yapılacağı için tırmanma, seyir, alçalma, yaklaşma ve son yaklaşma bölümleri dikkate alınmıştır. Yaklaşma ve son yaklaşma fazlarında bulunan düz uçuş sayısı çok az olduğu için alçalma fazında değerlendirilmiştir. “Go around”, “touch and go”, taksi, motor çalıştırma, iniş ve diğer yer hareketlerini içeren fazlar dikkate alınmamıştır. Uçuş kaydedicisi uçuşun anlık durumuna tırmanma fazı ataması yapması için uçağın dikey hızının pozitif ($>+420\text{ft/s}$) ve radyo altimetre göstergesinin ise 1.500 ft’ ten yüksek göstermesi gerekmektedir. Seyir fazında olan bir uçağın ise dikey hızının sıfıra yakın ve irtifa değişiminin ± 300 ft arasında ve sabit bir şekilde devam etmesi gerekmektedir. Uçuşun anlık durumuna alçalma fazı ataması yapılması için irtifanın düşmeye başlaması ve dikey hızın negatife ($<-420\text{ft/s}$) dönmesi gerekmektedir. Yaklaşma fazında uçağın radyo altimetresinin ve barometrik altimetresinin göstergelerinde irtifa kaybı, radyo altimetrenin 3.000 ft altına düşmesi, negatif dikey hız ve en az bir motorun devrinin %90 altına düşmesi gerekir. Son yaklaşma için ise yaklaşımdan farklı olarak radyo altimetre 1.000 ft altında göstermesi gerekmektedir [34].

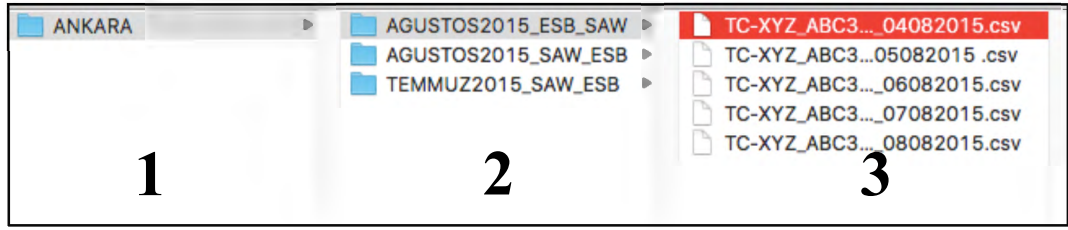
2.2.3. Düz uçuş bulma algoritması

Tırmanma veya alçalma esnasında meydana gelen düz uçuş kısımlarını belirlemek için her bir uçuşa ait FDR verisinin irtifa ve zaman parametresi kullanılarak uçuşun dikey profili (Şekil 2.3'te sunulmaktadır.) oluşturulup irtifanın korunduğu düz uçuş bölümlerini kontrol etme yöntemi kullanılabilir. Düz uçuşun başladığı andaki saat ile düz uçuş bittiği andaki zaman farkı kaydedilerek düz uçuş süresi belirlenebilir ve bu zaman aralığına göre diğer irtifa, yakıt, hız gibi parametrelerin hesaplaması yapılabilir.



Şekil 2.3. Alçalma fazında gerçekleşen düz uçuş bölümlerinin başlangıç ve bitiş noktaları

Ancak her bir uçuşu açıp düz uçuş bölümlerini inceleyerek düz uçuş bölümüne ait süre, kat edilen mesafe, harcanan yakıt gibi birçok parametreyi ayrı ayrı bulmak çok fazla zaman alacağı için yüzlerce uçuşun analizini kod ile yapmak işi kolaylaştıracaktır. İşin kolaylaştırmak ve sistematik bir analiz gerçekleştirmek için materyal bölümünde bahsedilen *Excel Macro* yazılmıştır. *Excel* formatında alınan FDR verisi üzerinde sistematik bir analiz gerçekleştirmek için her bir meydana ait *Excel* dosyalarının sınıflandırması Şekil 2.4'te gösterilen formatta yapılmıştır.



- 1-Verisi alınan meydan 2-Verinin alındığı tarih ve seçilen meydana geliş-kalkış bilgisi
3- Çağrı adını ve tarihi belirtecek formatta uçuşa ait excel dosyası

Şekil 2.4. Uçuşların kaydedilme formatı

Öncelikle hangi meydan için veri alındıysa o meydana ait klasör oluşturulmuştur. Meydan klasörü oluşturulduktan sonra havalimanına gelen ve kalkan trafiği ayırt edecek ve hangi tarihe ait olduğunu belirtecek formatta alt klasör oluşturulmuştur. Örneğin, ANKARA klasörü altında oluşturulan AGUSTOS2015_ESB_SAW formatı, Ağustos 2015 tarihinde Esenboğa Havalimanı'ndan kalkıp Sabiha Gökçen Havalimanı'na giden trafikleri içerdiğini göstermektedir. Bu klasörün içerisinde ise her bir trafiğin seçilen parametrelerini içeren FDR verileri vardır ve uçak çağrı adı, uçuş numarası ve uçuş tarihi formatında kaydedilmiştir. TC-XYZ_ABC3_01082015 formatında kaydedilen uçuş, TC-XYZ çağrı adlı uçak ile 1 Ağustos 2015 tarihinde XYZ11 uçuş numarası ile gerçekleştirildiğini ifade etmektedir.

Belirli bir formatta klasörlenen uçuşların düz uçuş analizi air/ground, uçuş fazı, irtifa, uçuş yol açısı (FPA: Flight Path Angle) ve zaman parametreleri referans alınarak gerçekleştirilmiştir. Öncelikle uçağın kalkış pistinden teker kestiği andan iniş pistine teker koyduğu ana kadarki kısmı ele almak için FDR verisinin Air/Ground bilgisinden faydalanılmıştır. Tırmanma veya alçalma fazında meydana gelen düz uçuşlar için minimum süre 20 saniye olarak seçilmiştir. 20 saniyeden daha kısa süren düz uçuşlarda yakıt akışı çok az değişmekte ve tırmanmada çok yüksek, alçalmada ise çok düşük çıkmaktadır. Oysa ki düşük irtifada gerçekleşen düz uçuşlarda gerçekleşen yakıt akışı, tırmanan uçağın yakıt akışından daha düşük; alçalan uçağın yakıt akışından ise daha yüksektir. Süre için belirlenen alt sınırın yanında, tırmanma ve alçalma fazında bulunan düz uçuş bölümünün düşük irtifa düz uçuş sayılması için 25.000 ft veya altında gerçekleşmiş olması şartı aranmıştır. 25.000 ft üzerinde gerçekleşen düz uçuşlar seyir fazında sayılmıştır. Bu irtifa sınırı belirlenirken, seçilen üç havalimanının TMA sınırları ve uçuşların seyir fazları göz önüne alınmıştır. Ankara TMA üst sınırı 24.000 ft,

Antalya TMA üst sınırı 24.500 ft ve Milas TMA üst sınırının 24.500 ft olduğu görülmüştür. Bu sebeple 25.000 ft ve üzerindeki düz uçuş bölümleri düşük irtifa düz uçuş olarak değerlendirilmemiştir.

Düz uçuş bölümlerinin belirlenmesi için FPA verisi ve irtifa verisi kullanılmıştır. Tırmanma, yol veya alçalma fazında oluşan ve en az 20 saniye süren düz uçuş kısımları filtrelenmiştir. Uçuşlar incelendiğinde tırmanma ve alçalma fazında uçakların ortalama 1500-2500 feet/dakika'lık irtifa değişimine sahip oldukları görülmüştür. Bu oran 25-40 feet/saniye'ye karşı gelmektedir. Normal şartlar altında düz uçuşa geçen uçağın FPA değerinin 0 (sıfır) olması ve irtifanın sabit kalması beklenmektedir. Ancak FDR kayıtlarına bakıldığında zaman düz uçuşa geçen bir uçağın FPA değerinin 0 (sıfır) olarak kalmadığı ve irtifa değerinin ise sabit kalmadığı gözlenmiştir. FDR cihazına veri gönderen sensörlerden gelen bilgideki dalgalanma sebebi ile tırmanma veya alçalma fazında gerçekleşen düz uçuşlarda FPA değeri 0-0,35 derece arasında değişmekte, irtifa ise ± 10 ft değişim göstermektedir. Bu sebeple 20 saniyeden daha uzun süre FPA değerinin 0 – 0,35 derece arasında olduğu saniyeler veya irtifa değişiminin ± 10 feet/saniye aralığında kalan değerler düz uçuş olarak kabul edilmiştir. Burada FPA veya irtifa denilmesinin sebebi, düz uçuş esnasında kimi zaman FPA değerinin 0-0,35 aralığından çok farklı değerlere anlık olarak değiştiği veya irtifanın anlık olarak çok farklı değerler aldığı durumlarda yazılan kodun düz uçuş bölümünü o anda bitirmesini önlemektir.

2.2.4. Dikey profil analiz çıktıları

Geliş ve kalkış profili analiz edilen her bir uçuşun tırmanma ve alçalma esnasında gerçekleştirdiği düz uçuş bölümünün başlangıç ve bitiş saniyelerinin tespit edilmesi ile beraber, ayrı bir Excel sayfasına meydana gelen tüm düz uçuş bölümlerinin aşağıda sıralanan özellikleri kaydedilmiştir. Sıralanan özellikler analiz gerçekleştirilen meydana ait geliş ve kalkış trafiklerinin dikey profilinin verimliliğinin değerlendirilmesinde kullanılacak ölçütler olacaktır [11, 14, 26, 27].

- **Düz uçuş içeren trafik sayısı:** Geliş veya kalkış yapan trafiğin kaç tanesi alçalma veya tırmanma fazında düz uçuş gerçekleştirdiğini belirtmektedir.
- **Toplam düz uçuş sayısı:** Geliş veya kalkış fazında gerçekleşen düz uçuş sayısını göstermektedir. Bir trafik geliş veya kalkış fazında birden fazla düz

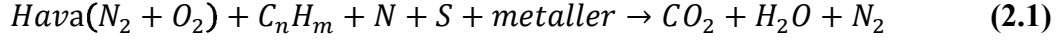
uçuş gerçekleştirebilir. Bu sebeple toplam düz uçuş sayısı, düz uçuş içeren trafik sayısından fazla olabilir.

- **Farklı iniş/kalkış pistine göre düz uçuş içeren trafik sayısı ve toplam düz uçuş sayısı:** Pist konfigürasyonu, meydana gelen düz uçuş bölümlerinin sayısını, irtifasını, süresini vb. etkileyebilir.
- **Meydana gelen düz uçuşların irtifası:** Meydana gelen düz uçuş irtifası yakıt tüketimine olan etkisi, yayımlanan uçuş prosedürünün iyileştirilmesine öneride bulunmak amacı ile önemlidir.
- **Düz uçuş süresi:** Ne kadar uzun süreli düz uçuş bölümleri var ise o kadar dikey verimsizlik fazla demektir ve yakıt tüketimi/emisyon fazladır.
- **Düz uçuş mesafesi:** Meydana gelen düz uçuş bölümlerinin ortalama mesafesidir.
- **Düz uçuş başlama ve bitiş noktasının koordinatları:** Meydana gelen düz uçuş bölümlerinin başlangıç ve bitiş noktalarının coğrafi koordinatlarının belirlenmesi harita üzerinde görsel oluşturmak için kullanılan veridir.
- **Düz uçuş bölümünün başlangıcının pist eşiğine olan mesafesi:** Pist eşiğinden ne kadar uzakta düz uçuş bölümlerinin yoğunlaştığını belirlemek için kullanılan veridir.
- **Düz uçuş süresince tüketilen yakıt ve emisyonlar:** Meydana gelen düz uçuş bölümünde harcanan yakıt miktarının belirlenmesi, düz uçuş seviyelerinin daha yüksek irtifalara çekilmesi sonucu elde edilecek yakıt ve emisyon tasarrufunun belirlenmesinde yardımcı olacaktır.
- **Özgül menzil (SR:Specific Range):** Yakıt tüketim değerlerini kıyaslamanın en güzel yöntemlerinden bir tanesi ise 1 kg yakıt ile kat edilen mesafe değerlerinin karşılaştırılmasıdır. Uçağın gerçek hava hızının (TAS),toplam yakıt akış değerine(FF) bölünmesi ile bulunan özgül menzil ($SR=TAS/FF$), farklı irtifalarda farklı hızlarla giden uçağın yakıt tüketim değerlerini, yakıt tüketimine bağlı olarak da emisyonları karşılaştırmak için ideal bir ölçüttür.

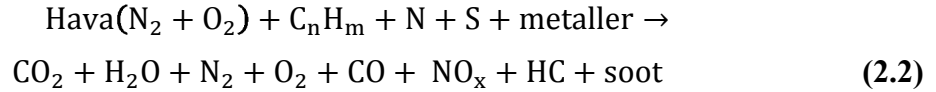
2.2.5. Emisyon hesaplama yöntemi

Analiz yapmak üzere seçilen meydanlara gerçekleşen geliş ve kalkış operasyonlarının tamamı CFM56 serisi, yüksek by-pass oranlı turbofan motorlara sahip

Boeing 737-800 tipi uçaklar ile gerçekleştirilmiştir. (Masiol ve Harrison, 2014, s. 413) tarafından yapılan çalışmada, bir turbofan motorunda yanma odasına giren ve ideal yanma sonucu oluşan ürünler aşağıda eşitlik 2.1’de verilmiştir.



Uygulamada ideal yanma gerçekleşmediği için yanma sonrası ürünlerde farklılık göstermektedir. Kerosen tipi yakıt kullanan uçak motorları temel olarak CO₂ ve H₂O üretmektedirler. Üretilen karbon dioksit ve su miktarı doğrudan harcanan yakıt miktarına bağlıdır ve yakıt içerisindeki karbon-hidrojen oranına göre küçük farklılıklar gösterebilir. Atmosferik azotun çok yüksek yanma odası sıcaklığında oksidasyonu sonucu ise azot oksitler meydana gelmektedir. Diğer taraftan yakıt içerisinde az miktarda bulunan sülfür (S), azot (N₂) ve bazı metaller (Fe, Cu, Zn. vb) ile ideal olmayan yanma koşulları sülfür oksit, yanmamış hidrokarbon ve küçük parçacıkların oluşumuna sebep olmaktadır. Bunlara ek olarak yanmadan ve yağlamadan kaynaklı, mekanik aşınmalar sonucu meydana gelen parçacıklar yanma sonrası ürünleri arasında bulunabilirler. (Masiol ve Harrison, 2014, s. 413) çalışmasında sunulan gerçek yanma sonrası meydana gelen ürünler eşitlik 2.2’de verilmiştir.



Bu çalışma kapsamında, gerçek yanma sonucu oluşan emisyonlardan CO₂, H₂O, CO, HC ve NO_x için hesaplama yapılmıştır. Uçuşun herhangi bir fazında uçak motorunun egzoz çıkışında 1 kg yakıtın yanması sonucu oluşacak emisyonların hesaplanmasında her bir emisyonun emisyon indeksi (EI=g/kg) katsayısının hesaplanması gerekmektedir. Burada bahsedilen EI, 1 kilogram yakıtın yanması sonucu oluşan bir emisyonun gram cinsinden ifadesidir. Hesaplaması yapılan emisyonların her birine ait EI hesaplama yöntemi farklılık göstermektedir. Yanma sonucu oluşan CO₂ ve H₂O emisyonlarının uçuş fazı, atmosfer şartları gibi faktörlerden etkilenmemesi ve yakıt tüketimi ile lineer değişiyor olması; CO, HC ve NO_x emisyonlarının ise itki, uçuş hızı, irtifa, atmosferik koşullar gibi faktörlerden etkilenmesinden dolayı yakıt tüketimi ile lineer değişmemesi, iki gruba ayrılan emisyonların emisyon indekslerinin hesaplanmasında farklı yöntemlerin izlenmesini gerektirmektedir [5, 28-30].

CO₂ ve H₂O için emisyon indeksi: Literatürde uçuş fazı fark etmeksizin 1 kg kerosenin tam yanması sonucu ortaya çıkan CO₂ ve H₂O emisyonlarının sırası ile 3156

g ve 1237 g olduğu görülmektedir. Bu sebep ile yakılan 1 kg kerosen için $EI(CO_2) = 3156 \text{ g/kg}$ ve $EI(H_2O)=1237\text{g/kg}$ olarak alınmıştır [5, 28, 29].

CO, HC ve NO_x için emisyon indeksi: ICAO veri tabanında birçok motor tipi için iniş ve kalkış (LTO) fazlarında gerçekleşen yakıt akışı ve emisyon indeksleri bulunmaktadır. Bu emisyon indeksleri deniz seviyesi emisyonlarını temsil etmektedir. ICAO veri tabanında bulunan yakıt akışı ve emisyon indeksleri kalkış, tırmanma, yaklaşma ve taksi/rölanti olmak üzere 4 farklı motor gücü referans alınarak standart atmosfer şartlarına göre hesaplanmıştır. Ancak uçuşun herhangi bir fazında meydana gelen CO, HC ve NO_x emisyon miktarını hesaplamak için ICAO veri tabanı doğrudan kullanılamamaktadır. Bu sebeple, ICAO veri tabanında bulunan deniz seviyesine göre belirlenmiş olan emisyon faktörlerinin herhangi bir referans atmosfer şartında düzeltilmesi için literatür tarafından genel kabul gören ve Boeing tarafından geliştirilen *Boeing Fuel Flow Method 2 (BFF 2)* kullanılarak, herhangi bir uçuş irtifasındaki CO, HC ve NO_x hesaplaması gerçekleştirilmiştir. Bu yöntemin kullanılması ile uçuş esnasında kaydedilen yakıt akış değerleri, deniz seviyesindeki yakıt akış değerlerine düzeltilmekte, böylece deniz seviyesindeki yakıt akış değerleri için elde edilmiş olan emisyon indeksleri kullanılabilmektedir. Yöntemde ek olarak kullanılması gereken diğer parametreler (çevre sıcaklık ve basıncı, uçuş Mach sayısı vb.) FDR’lardan temin edilmiştir.

Boeing Fuel Flow Method 2 hesaplama yönteminde ilk adım, ICAO veri tabanında her bir uçak motoru tipinin kalkış, tırmanma, yaklaşma ve taksi fazı için verilen yakıt akış değerlerine uygulanacak olan düzeltme faktörüdür (Çizelge 2.4’te sunulmuştur.). Uygulanacak olan düzeltme faktörünün sebebi, ICAO veri tabanında verilen yakıt akış değerleri belirlenirken, uçakta sıcaklık, basınç ve havalandırma gibi sistemleri kapsayan çevresel kontrol sisteminin (ECS: Environmental Control System) motor yakıt akışında sebep olacağı artışın hesaba katılmamasındandır. ECS sisteminin seyir irtifasında çalışır durumda olmasından dolayı, *BFF 2* kullanılarak herhangi bir uçuş fazında gerçekleşen yakıt akışına bağlı emisyonları hesaplamak için, her bir motor için ICAO veri tabanında bulunan yakıt akış değerlerine ECS düzeltme faktörü uygulanmaktadır [30].

Çizelge 2.4. ECS sisteminin yakıt akışına etkisi için düzeltme faktörü [30]

	Kalkış	Tırmanma	Yaklaşma	Taksi
Güç Oranı	%100	%85	%30	%7
Düzeltilme Faktörü	1,010	1,013	1,020	1,100

Düzeltilme faktörünün uygulanması için kullanılacak formül 2.3 numaralı eşitliktir.

$$RW_{ff,c} = RW_{ff} * C_f \quad (2.3)$$

$RW_{ff,c}$ = Düzeltilmiş referans yakıt akışı (kg/sn)

RW_{ff} = ICAO veri tabanında bulunan ve referans şartlar altında gerçekleşen yakıt akışı (kg/sn)

C_f = Boeing tarafından önerilen ECS düzeltme faktörü

İncelenen 3 meydana gerçekleştirilen uçuşlar 24 farklı uçak ile gerçekleştirilmiştir. Bu uçaklarda 3 farklı motor tipi kullanıldığı tespit edilmiştir. Kullanılan motorların performans özellikleri Çizelge 2.5’ te verilmiştir.

Çizelge 2.5. İncelenen tüm uçuşlarda kullanılan motor tipleri ve performans özellikleri [31]

Kullanım Sayısı	Motor Tipi	Bypass Oranı	Sıkıştırma Oranı	İtke (kN)	Yanma Odası Tipi
16	CFM56-7B26E	5,1	27,7	117	Tech Insertion
7	CFM56-7B26/3	5,1	27,7	117	Tech Insertion
1	CFM56-7B24/3	5,3	25,6	107,6	Tech Insertion

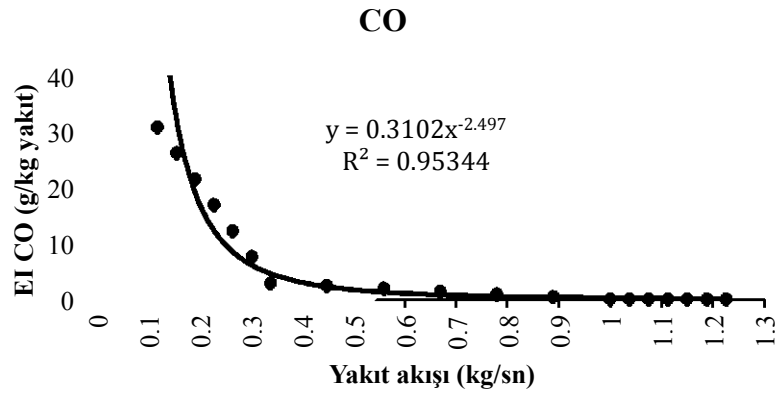
Kullanılan motorlardan CFM56-7B26E ve CFM56-7B26/3’ün aynı performans özelliklerine sahip olduğu, CFM56-7B24/3’ün ise diğerlerine göre farklı performans özelliklerine sahip olduğu; diğer taraftan 3 motor tipinin de aynı tip yanma odasına sahip olduğu görülmektedir. Performansları aynı olan CFM56-7B26E ve CFM56-7B26/3 motorlarının ICAO veri tabanında bulunan emisyon indekslerinin hemen hepsinin aynı, yalnızca kalkış fazı için CO emisyon indeksinin çok küçük farklılık gösterdiği görülmektedir [31]. Bu sebeple emisyon hesaplamaları için, elde edilen uçuş veri kayıtlarında en çok kullanılan motor tipi CFM56-7B26E referans alınmıştır. ICAO

veri tabanında CFM56-7B26E turbofan motoru için 4 farklı güç değerinde verilen yakıt akışı ve CO, HC ve NO_x emisyon indeksleri Çizelge 2.6’da verilmiştir.

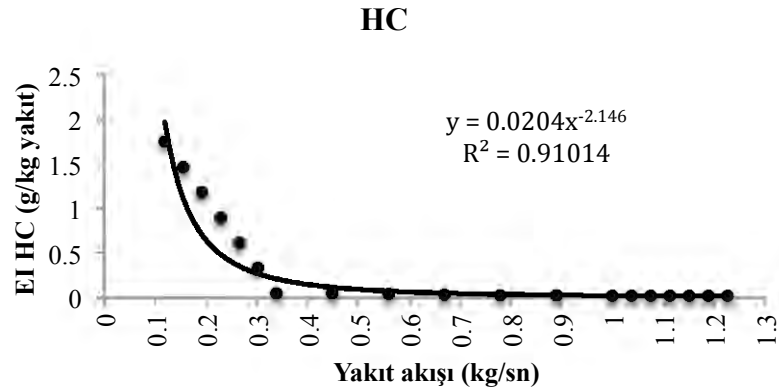
Çizelge 2.6. ICAO veri tabanında CFM56-7B26E turbofan motoru için 4 farklı güç değerinde verilen yakıt akışı ve CO, HC ve NO_x emisyon indeksleri [31]

	Yakıt Akışı (kg/sn)	Düzeltilmiş Yakıt Akışı (kg/sn)	CO (g/kg)	HC (g/kg)	NO _x (g/kg)
Kalkış(%100)	1,213	1,225	0,2	0,02	21,79
Tırmanma(%85)	0,986	0,999	0,16	0,02	17,08
Yaklaşma(%30)	0,331	0,338	3,07	0,05	8,93
Taksi(%7)	0,108	0,119	30,94	1,75	4,27

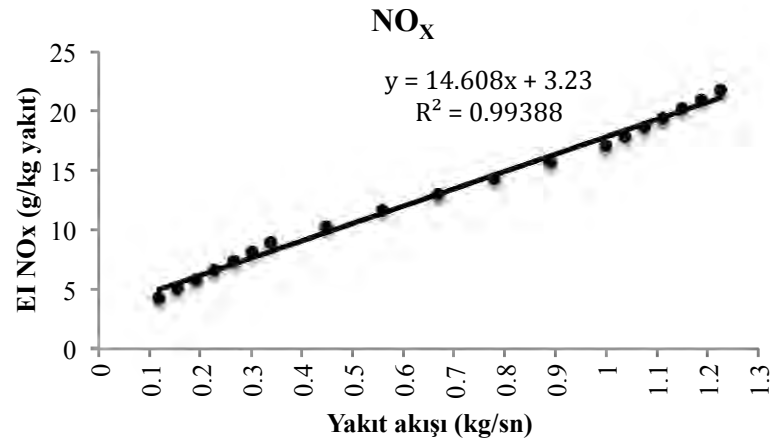
Çizelge 2.6’da verilen yakıt akış değerleri ile CO, HC ve NO_x emisyon indeksleri arasındaki ilişkiyi regresyon denklemleri ile ifade etmek için ara değerler lineer interpolasyon yöntemi ve eğri uydurma (curve fitting) yöntemleri ile bulunmuş ve her bir emisyon için yakıt akışı (FF) - emisyon indeksi(EI) grafiği CO, HC ve NO_x için aşağıda Şekil 2.5, Şekil 2.6 ve Şekil 2.7’de gösterilmiştir.



Şekil 2.5. CO emisyon indeksi için regresyon denklemi ve regresyon eğrisi



Şekil 2.6. HC emisyon indeksi için regresyon denklemi ve regresyon eğrisi



Şekil 2.7. NO_x emisyon indeksi için regresyon denklemi ve regresyon doğrusu

NO_x, CO ve HC emisyonları için oluşturulan grafiklerde, NO_x emisyonu için belirlenen regresyon denklemi lineer bir denklemdir. Yakıt akışının artışı ile beraber NO_x emisyonunun lineere çok yakın bir şekilde arttığı gözlenmektedir. CO ve HC emisyonları için belirlenen regresyon denklemleri ise 2. dereceden bir polinom eşitliğidir. CO ve HC emisyonlarının yakıt akışına göre değişimini gösteren Şekil 2.5 ve Şekil 2.6 grafiğinden anlaşıldığı üzere, CO ve HC emisyonlarının düşük yakıt akışı değerlerinde lineer bir azalma göstermektedir. Yakıt akışı arttıkça iyice azalan CO ve HC emisyonları, lineer değişimden sapmaktadır. Bu sebeple CO ve HC emisyonlarını ifade eden regresyon denklemleri 2. dereceden polinomlar ile ifade edilmiştir.

NO_x, CO ve HC emisyonları için oluşturulan regresyon eşitliklerinin belirleme katsayısının (R^2), NO_x, CO ve HC için sırası ile 0,99, 0,95 ve 0,91 olduğu görülmektedir. Oluşturulan regresyon denkleminin gerçek veri değerlerini hangi ölçüde

ifade ettiğini gösteren R^2 değerlerinin en küçüğünün 0,91 olması regresyon denkleminin en az %91 doğruluk oranında veriyi temsil ettiğini göstermektedir. Bu durum, ICAO veri tabanında verilen 4 farklı yakıt akış değerlerinin dışında kalan yakıt akışı değerleri için yapılacak emisyon indeksi hesabının doğruluğunun yüksek olması anlamına gelmektedir.

Yakıt akışına düzeltme faktörünün uygulanmasından sonraki adım uçuşun herhangi bir fazında meydana gelen yakıt akışını deniz seviyesi koşullarına göre düzeltmektir [30]. Bunun için uygulanan adımlar aşağıda sıralanmıştır.

$$W_{f_{SL}} = \frac{W_{f_{ALT}}}{\delta_{amb}} (\theta_{amb})^{3.8} e^{(0.2 \cdot M^2)} \quad (2.4)$$

$$\delta_{amb} = \frac{P_{amb}}{101.3} \quad \text{ve} \quad \theta_{amb} = \frac{T_{amb}}{288.15} \quad (2.5)$$

$W_{f_{SL}}$ = Deniz seviyesine düzeltilmiş gerçek yakıt akışı (kg/sn)

$W_{f_{ALT}}$ = Uçuş irtifasında gerçek yakıt akışı (kg/sn)

P_{amb} = Uçuş irtifasında atmosfer basıncı (kPa)

T_{amb} = Uçuş irtifasında atmosfer sıcaklığı(K)

M = Mach sayısı

Herhangi bir uçuş irtifasında gerçekleşen yakıt akışı 2.4 numaralı denklem ile deniz seviyesi koşullarına düzeltildikten sonraki adımda ise, $W_{f_{SL}}$ yakıt akışına karşılık gelen emisyon indeksleri $EINO_{XSL}$, CO_{SL} ve HC_{SL} her bir emisyonun regresyon denklemine göre hesaplanmıştır.

BFF2 yöntemi ile herhangi bir uçuş fazında gerçekleşen NO_x , CO ve HC emisyonlarının EI katsayısını bulmak için uygulanan son adım, $W_{f_{SL}}$ yakıt akışına karşılık gelen $EINO_{XSL}$, CO_{SL} ve HC_{SL} emisyon indekslerinin aşağıda verilen formüllerde yerine yazılarak uçuş irtifasında gerçekleşen $EINO_{XALT}$, CO_{ALT} ve HC_{ALT} değerlerinin bulunmasıdır.

$$EIHC_{ALT} = EIHC_{SL} \frac{(\theta_{amb})^{3.3}}{(\delta_{amb})^{1.02}} \quad (2.6)$$

$$EICO_{ALT} = EICO_{SL} \frac{(\theta_{amb})^{3.3}}{(\delta_{amb})^{1.02}} \quad (2.7)$$

$$EINO_{xALT} = EINO_{xSL} \sqrt{\frac{(\delta_{amb})^{1.02}}{(\theta_{amb})^{3.3}}} e^H \quad (2.8)$$

$H = (-19) * (\omega - 0.0063)$ ve $\omega = 0.0064$ kg H₂O / kuru hava

ω = Özgül nem

H = Nem düzeltme faktörü

$EIHC_{ALT}$ = Uçuş irtifasında HC emisyon indeksi (g/kg)

$EIHC_{SL}$ = Deniz seviyesi koşullarına göre HC emisyon indeksi (g/kg)

$EICO_{ALT}$ = Uçuş irtifasında CO emisyon indeksi (g/kg)

$EICO_{SL}$ = Deniz seviyesi koşullarına göre CO emisyon indeksi (g/kg)

$EINO_{xALT}$ = Uçuş irtifasında NO_x emisyon indeksi (g/kg)

$EINO_{xSL}$ = Deniz seviyesi koşullarına göre NO_x emisyon indeksi (g/kg)

Her bir emisyonu ait emisyon indeksi uçuş irtifasına düzeltildikten sonra uçuşun ilgili fazında geçirdiği sürede ortaya çıkan toplam emisyon aşağıda verilen 2.9 numaralı eşitlik ile hesaplanmıştır [5].

$$Toplam\ Emisyon(X) = E_n * EI(X) * TIM * FF \quad (2.9)$$

E_n = Motor sayısı

Emisyon(X) = Toplam X emisyonu (kg)

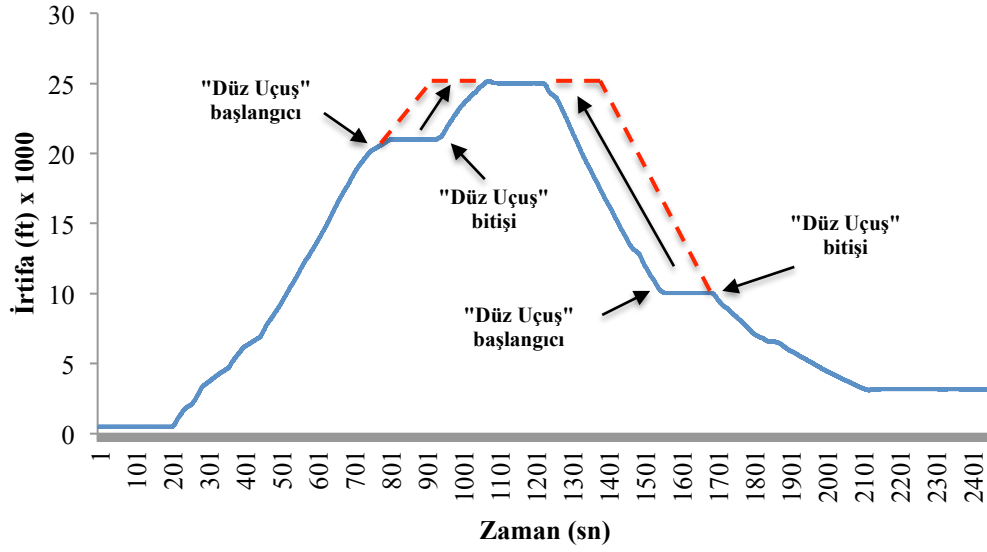
$EI(X)$ = X emisyonuna ait emisyon indeksi

TIM = Uçuş fazında geçen süre (sn)

FF = Uçuş fazında saniyede gerçekleşen yakıt akışı(kg/sn)

2.2.6. Potansiyel zaman, yakıt ve emisyon fayda analizi

Alçalma ya da tırmanma profilinde meydana gelen düz uçuş bölümlerini ortadan kaldırma yöntemlerinden birisi eğer mümkünse düşük irtifada düşük hız ile gerçekleşen düz uçuşu daha yüksek irtifalara çekmektir. Bu çalışmada en iyi ihtimal düşünülerek yaklaşma veya tırmanma esnasında düşük irtifalarda meydana gelen düz uçuş bölümlerinin seyir irtifasında gerçekleşmesi (Şekil 2.8’de sunulmuştur.) durumu ele alınmıştır.



Şekil 2.8. Potansiyel fayda analizi için düz uçuş içeren uçuşa ait dikey profile uygulanacak, düşük irtifa düz uçuşu seyir irtifasına çekme yöntemi

Düşük irtifa düz uçuşlarının seyir irtifasına çekilmesi ile sağlanacak devamlı alçalma/tırmanma profili ile elde edilecek kazanım 3 farklı parametre ile değerlendirilebilir. Bunlar, zaman, yakıt ve yakıtın yanması sonucu oluşan emisyonlar olarak yazılabilir. İncelenen trafiklerin geliş veya kalkış fazında meydana gelen düşük irtifa düz uçuş bölümlerinin zaman yakıt ve emisyon açısından sebep olduğu kayıpların değerlendirmesi için ise düz uçuş bulma algoritması ile bulunan düşük irtifa düz uçuş bölümlerinde filtreleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Düz uçuş algoritmasında kullanılan minimum düz uçuş süresi 20 sn olarak alınmıştır. Ancak, potansiyel yakıt ve emisyon fayda analizinde, düz uçuş bölümü en az 60 sn süren düz uçuş bölümleri değerlendirmeye alınmıştır. Bu kriterin sebebi, özellikle kısa süreli düz uçuşlarda yakıt akış değerinin alçalmada düşük, tırmanmada ise yüksek çıkması sebebi ile uzun süren düz uçuş bölümleri ele alınmıştır.

Düz uçuş bölümleri içeren alçalma/tırmanma profili ile düz uçuş bölümlerinin seyir irtifasına çekilmesi ile oluşacak devamlı alçalma/tırmanma profilinin verimlilik karşılaştırmasında yapılan analizlerin gerçek uçuş verilerine dayalı gerçekleştirilmesi çalışmanın gerçekçi sonuçlar vermesine imkan sağlamıştır. Düşük irtifada düz uçuş içeren referans uçuşta meydana gelen düz uçuş mesafesinin kat edildiği süre, yakıt tüketimi ve emisyonun; seyir irtifasında ne kadar sürede, ne kadar yakıt tüketimi ve

emisyon ile gerçekleştirildiği, düz uçuş içeren her bir uçuş için karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmayı gerçekleştirmek için sırası ile izlenen adımlar aşağıda sıralanmıştır:

- Düz uçuş bölümü süresi 60 sn üzerinde olan düz uçuş bölümleri filtrelenmiştir.
- Geliş ve kalkış trafiklerinin düşük irtifa düz uçuş bölümlerinde harcanan süre, tüketilen yakıt ve emisyonlar her bir düz uçuş için hesaplanmıştır.
- Geliş veya kalkış trafiğinin düşük irtifada gerçekleştirdiği düz uçuş bölümü, o uçuşun seyir irtifasında, seyir hızında, seyir yakıt akışı ve seyir atmosfer koşulları ile gerçekleşmesi durumunda oluşacak zaman, yakıt ve emisyon değerleri her bir düz uçuş için hesaplanmıştır.
- Her bir düşük irtifa düz uçuş sonucu oluşan zaman, yakıt ve emisyon ile düşük irtifa düz uçuşun seyir irtifasında gerçekleşmesi durumunda bulunan zaman, yakıt ve emisyon arasındaki fark karşılaştırılmıştır.

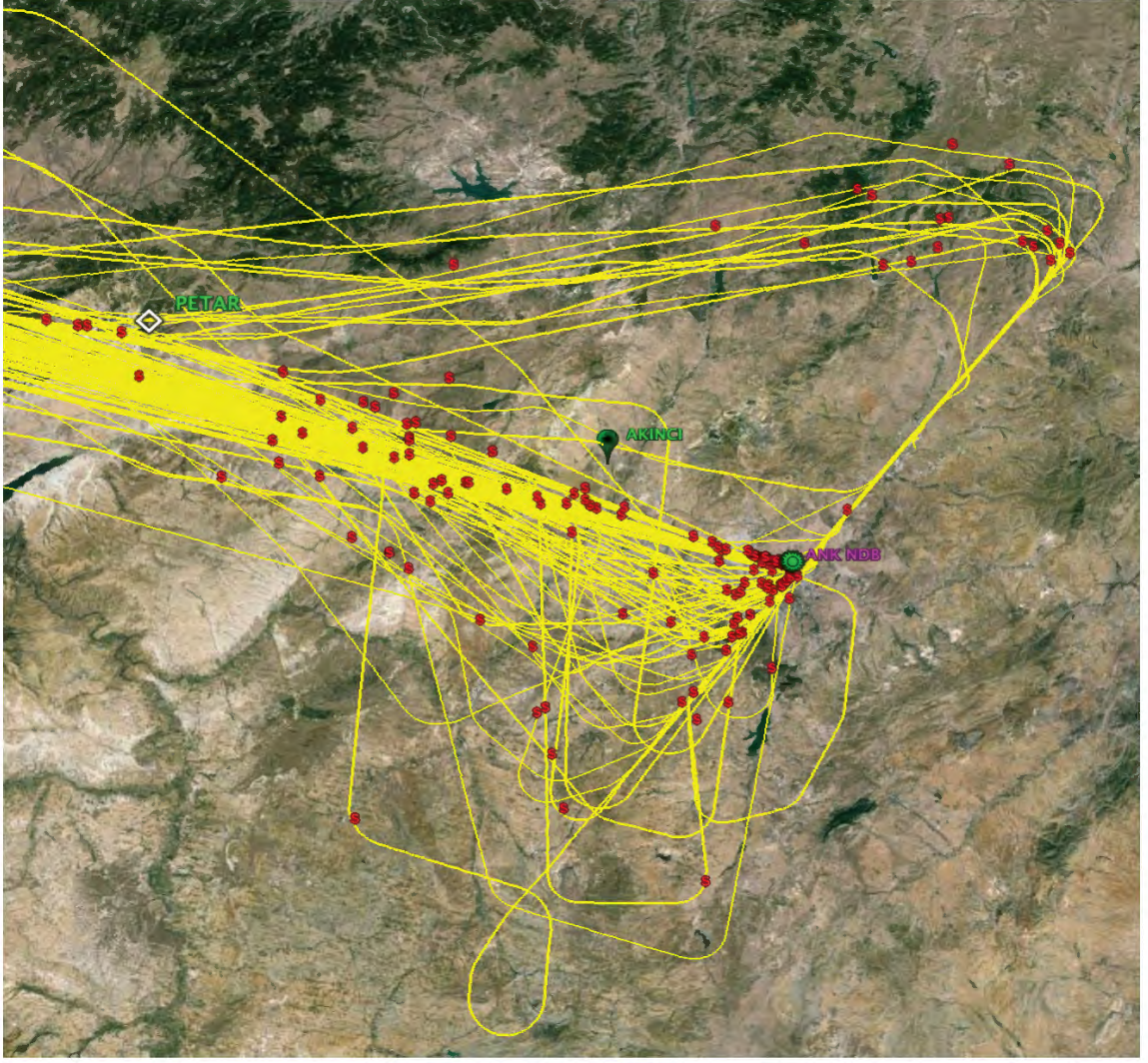
3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Ankara Esenboğa Havalimanı

Ankara Esenboğa Havalimanı (ICAO kodu: LTAC, IATA kodu: ESB) 40° 07' 41'' N - 32° 59' 42'' E koordinatlarında, şehrin kuzey doğusunda ve şehir merkezinden 28 km uzaklıkta 952,5 m rakıma sahip bir uluslararası havalimanıdır. 03L/21R ve 03R/21L konfigürasyonunda iki adet paralel pisti bulunan havalimanında, 2014 istatistiklerine göre 78.112 iç hat trafiği ve 15.706 dış hat trafiği olmak üzere toplam 94.418 uçak trafiği gerçekleşmiştir [32]. Ankara Esenboğa Havalimanı'na geliş ve kalkış operasyonlarının dikey profil analizi için Temmuz 2015 ve Ağustos 2015 aylarına ait 138 geliş trafiği, Ağustos ayına ait 67 kalkış trafiği incelenmiştir. İncelenen trafiklerin tamamı SAW-ESB meydanları arasında gerçekleştirilen uçuşlardır.

3.1.1. ESB havalimanı geliş trafiği analizi

Esenboğa Havalimanı'na gelen 138 trafiğin 122 tanesi 03R pistine, 16 tanesi ise 21L pistine iniş gerçekleştirmiştir. Ağırlıklı olarak vektör tekniği yönteminin uygulandığı Esenboğa havalimanında, SAW meydanından gelen trafiklerin 03R/21L pistine alçalma ve yaklaşma fazında izledikleri rota ve alçalma esnasında meydana gelen düz uçuş bölümlerinin başlangıç noktalarının kırmızı olarak işaretlendiği görüntü Şekil 3.1'de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. ESB meydanına geliş trafiklerinin izlediği rotanın plan görünümü ve düşük irtifa düz uçuşların başlama noktaları

03L/R pisti için yayınlanmış olan STAR haritası EK-1’de, 21L/R pisti için yayınlanmış olan STAR haritası EK-2’de sunulmuştur. Yayınlanmış olan STAR haritalarına ve Şekil 3.1’de görüldüğü üzere SAW meydanından ESB meydanına geliş trafiklerinin iniş yapacağı pist fark etmeksizin Ankara TMA’ya PETAR noktasından giriş yaptığı görülmektedir. PETAR noktası ANK NDB referans alınarak çizilen 25 NM yarıçaplı sektörel geliş alanının 287 radyalinde yani kuzey batıda yer almaktadır. Sektöre PETAR noktasından giriş yapan uçaklar tamamen kontrolör vektör talimatları ile yönlendirildiği için geliş rotalarında dağınıklık söz konusudur.

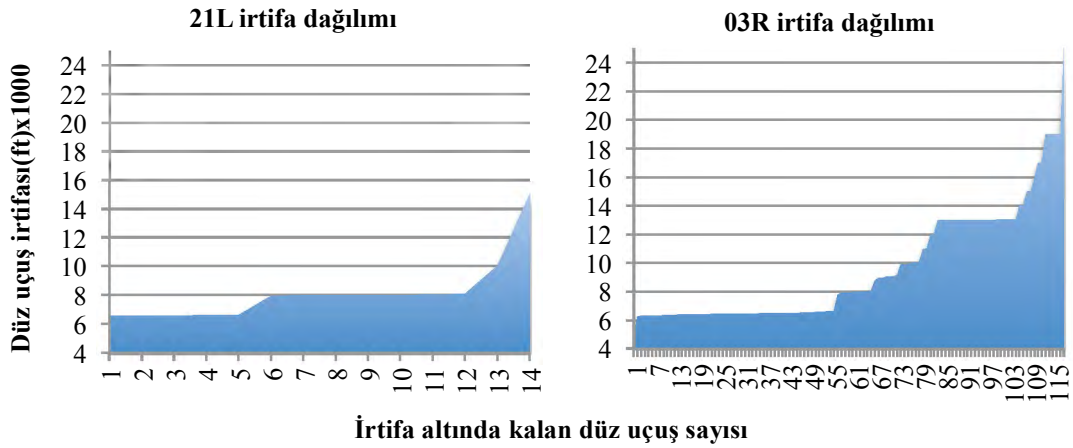
3.1.1.1 ESB'ye geliş trafiklerinin düz uçuş bölümlerinin irtifa dağılımı

ESB meydanına iniş gerçekleştiren toplam 138 trafiğin 95 tanesinde alçalma sırasında düz uçuş meydana gelmiştir. Bazı uçuşlarda alçalma esnasında birden fazla düz uçuş bölümü oluşmasından dolayı 95 trafikte toplam 131 tane düz uçuş bölümü oluşmuştur. Alçalma esnasında düz uçuş meydana gelen trafiklerin iniş pistine göre dağılımı Çizelge 3.1'de sunulmuştur.

Çizelge 3.1. Düz uçuş meydana gelen trafiklerin piste göre dağılımı

	Toplam Trafik Sayısı	Düz Uçuş İçeren Trafik Sayısı	Toplam Düz Uçuş Sayısı
03R	122	84	117
21L	16	11	14
Toplam	138	95	131

ESB meydanına gelen trafiklerin gerçekleştirdikleri düşük irtifa düz uçuş bölümlerinin irtifa dağılımını gösteren grafik Şekil 3.2'de sunulmuştur.



Şekil 3.2. 03R ve 21L pistine gelişte gerçekleşen düz uçuşların irtifa dağılımı

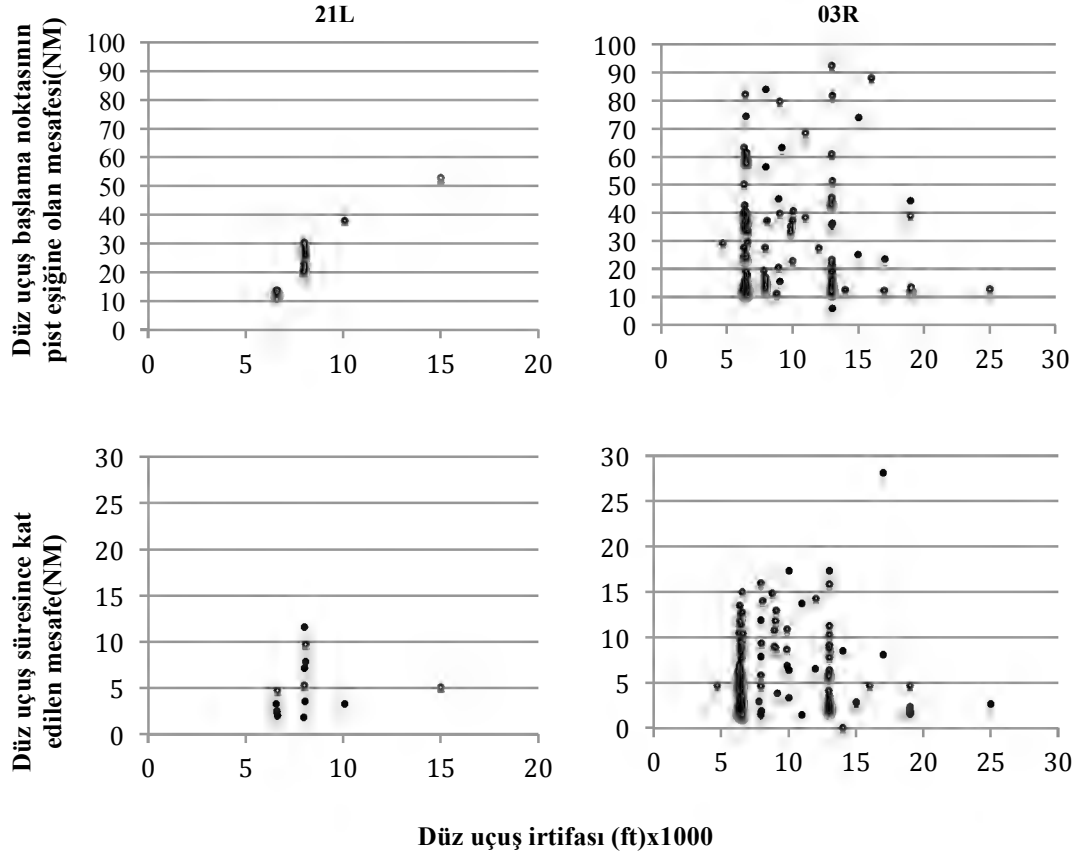
Şekil 3.2'de verilen grafik, ESB meydanına iniş sırasında meydana gelen tüm düz uçuş bölümlerinin hangi irtifalarda meydana geldiğini 03R ve 21L pistleri için ayrı ayrı göstermektedir. 03R pistine iniş gerçekleştiren trafiklerde meydana gelen toplam 117 düz uçuş bölümünün büyük bir bölümünün 6.000 ft, 8.000 ft, 9.000 ft, 10.000 ft ve 13.000 ft irtifada yoğunlaştığı görülmektedir. 6.000 ft ve 13.000 ft irtifada meydana

gelen düz uçuş sayısı toplam düz uçuş sayısının önemli bir kısmını oluşturmaktadır ve sırası ile %47 ve %17'sini, toplamda ise %64'ünü oluşturmaktadır. Geriye kalan %36'lık kısım ise, büyük kısmı 8.000 ft ile 10.000 ft arasında olmakla beraber 25.000 ft altında dağılmaktadır. 21L pistine gerçekleşen az sayıda iniş sırasında oluşan 14 tane düz uçuş kısmının 5 tanesi 6.500 ft, 9 tanesi ise 8.000 ft irtifada gerçekleştiği görülmektedir.

03R ve 21L pistine inişlerde meydana gelen düz uçuş kısımlarının yoğunlaştığı irtifaların bir biri ile örtüştüğü fakat 03R pistine inişte 13.000 ft civarında ekstra bir düz uçuş bölümünün olduğu görülmektedir. 6.000 ft ve 8.000 ft civarı her iki pist konfigürasyonu içinde uçağın pist orta hattını yakalamak için manevra yaptığı veya manevradan kısa süre öncesine ait irtifa olduğu söylenebilir. 03R pistine yaklaşma sırasında 13.000 ft irtifada gerçekleşen düz uçuş bölümlerinin ise PETAR noktasından ANK NDB üzerine gelen uçağın rotası üzerinde bulunan ve havacılık enformasyon yayınında (AIP: Aeronautical Information Publication) LT-D20 adı ile bulunan ANKARA / AKINCI askeri hava sahasından kaynaklandığı muhtemel görünmektedir. Deniz seviyesi ile 12.000 ft arasında yasaklı askeri hava sahası, yol miniması 9.000 ft olan uçağın 13.000 ft irtifada gerçekleştirdiği düz uçuşların kaynağı olması muhtemeldir. Bu sonuç, farklı bir araştırma konusu olan havasa hasının esnek kullanımı (FUA: Flexible Use of Airspace) kavramının uygulanması ile çevresel ve ekonomik tasarruf sağlama potansiyelini ortaya koymaktadır.

3.1.1.2 ESB'ye geliş trafiklerinin düz uçuş bölümlerinin yatay mesafesi ve pist eşiğinden olan uzaklıkları

Uçakların alçalmaları esnasında meydana gelen düz uçuş bölümlerinin pist eşiğine olan uzaklıkları ve düz uçuş bölümü süresince kat edilen mesafeler aşağıda Şekil 3.3'te sunulmuştur.



Şekil 3.3. Düz uçuş bölümlerinin başlangıç noktalarının pist eşiğine olan mesafeleri ve düz uçuş süresince kat edilen mesafeler

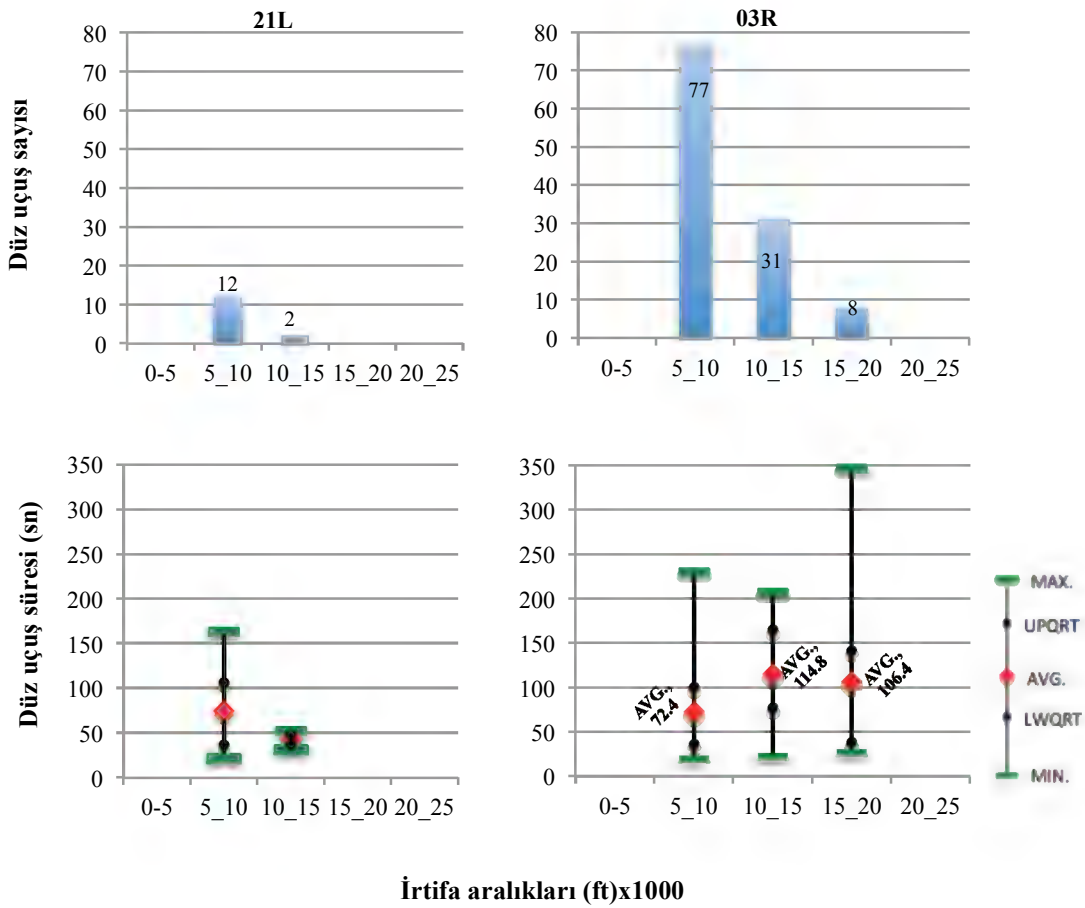
21L pistine iniş gerçekleştiren uçakların 6.000 ft civarında gerçekleştirdikleri düz uçuş bölümlerinin son yaklaşmaya dönüş sırasında ve pist eşiğinden 10-20 NM mesafede kümелendiği, 8.000 ft civarında gerçekleşen düz uçuş bölümlerinin ise son yaklaşmaya dönmeden önce 20-30 NM mesafede kümелendiği görülmektedir. Bu iki irtifada meydana gelen düz uçuş bölümlerinde kat edilen mesafeler 2-11 NM arasında değişmektedir.

03R pistine geliş ve yaklaşma sırasında 6.000 ft ve 8.000 ft ve 13.000 ft irtifada gerçekleşen düz uçuş bölümlerinin pist eşiğinden olan mesafelerinin dağılımı gösterdiği görülmektedir. Bu durumun olası sebebi, hava trafik kontrolörlerinin ESB geliş trafiklerini radar vektör tekniği ile kontrol etmeleri ile ilişkilendirilmiştir. Sektör girişinden son yaklaşma için ANK NDB üzerine direkt rota verilen uçakların 6.000 ft, 8.000 ft ve 13.000 ft irtifada daha kısa düz uçuş yaptıkları ve düz uçuş bölümlerinin pist eşiğine daha yakın oldukları görülmektedir. Diğer taraftan sektör girişi yaptıktan sonra

son yaklaşma hattına paralel gidip tekrar dönüş yapan uçakların daha uzun düz uçuş yaptıkları ve düz uçuş bölümlerinin pist eşiğinden daha uzak oldukları görülmektedir.

3.1.1.3 ESB'ye gelişte gerçekleşen düz uçuş bölümlerinin ortalama süreleri

ESB meydanına iniş sırasında irtifa aralıklarında gerçekleşen düz uçuş bölümlerinin sayısını, maksimum(MAX) ve minimum(MIN) düz uçuş süresini, üst çeyrek(UPQRT) ve alt çeyrek(LWQRT) noktaları ile ortalama düz uçuş süresini(AVG) gösteren grafik Şekil 3.4'te sunulmuştur.



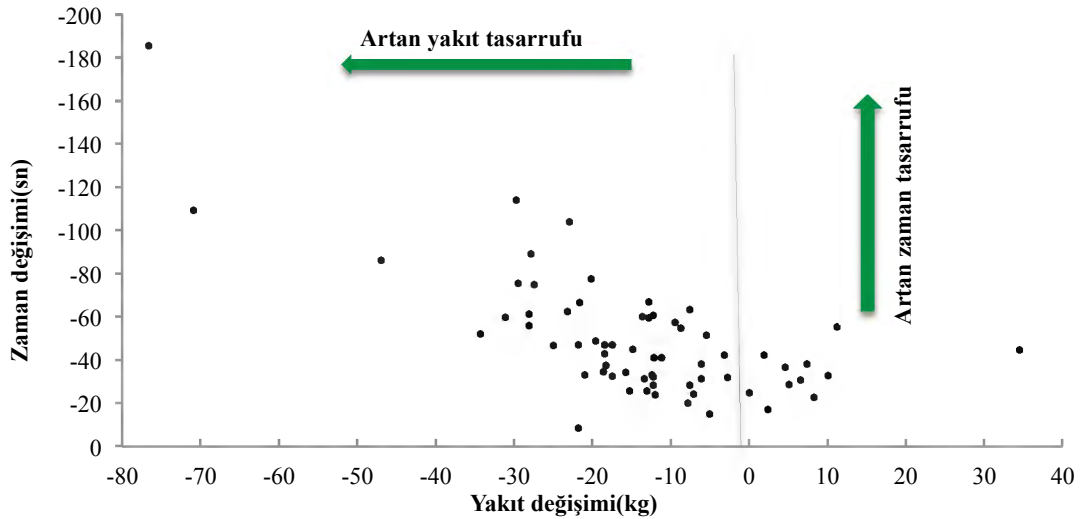
Şekil 3.4. 03R ve 21L pistine gelişte irtifa aralıklarında gerçekleşen düz uçuş sayısı ve ortalama düz uçuş süreleri (İrtifa aralıkları 0-5.000 ft, 5.001-10.000 ft, 10.001-15.000 ft, 15.001-20.000 ft ve 20.001-25.000 ft olarak alınmıştır.)

ESB meydanında geliş trafiğinin gerçekleştirdikleri düz uçuş bölümlerinin ortalama sürelerini bulmak için irtifa aralıkları kullanılmıştır. 21L pistine az sayıda gerçekleşen geliş trafiğinin gerçekleştirdikleri 12 adet düz uçuş bölümünün 5.001-

10.000 ft arasında gerçekleştiği ve ortalama süresinin 74.2 sn olduğu görülmektedir. 03R pistine geliş sırasında meydana gelen düz uçuş bölümlerinin ise en fazla 5.001-10.000 ft ve 10.001-15.000 ft irtifa arasında meydana geldiği ve sırası ile ortalama 72,4 sn ve 114,8 sn olduğu görülmektedir. 5.001-10.000 ft arasındaki düz uçuşların %75'i 100 sn ve altında meydana gelmiş,%25'i ise 36 sn ve altında meydana gelmiştir. 10.001-15.000 ft arasında, çoğunluğu Akıncı askeri hava sahası üzerinde gerçekleşen düz uçuş bölümlerinin, 5.001-10.000 ft arasında meydana gelen düşük irtifa düz uçuşlara göre daha uzun ortalama süreye sahip oldukları görülmektedir.

3.1.1.4 ESB'ye gelişte gerçekleşen düz uçuş bölümlerinin zaman, yakıt ve emisyon analizi

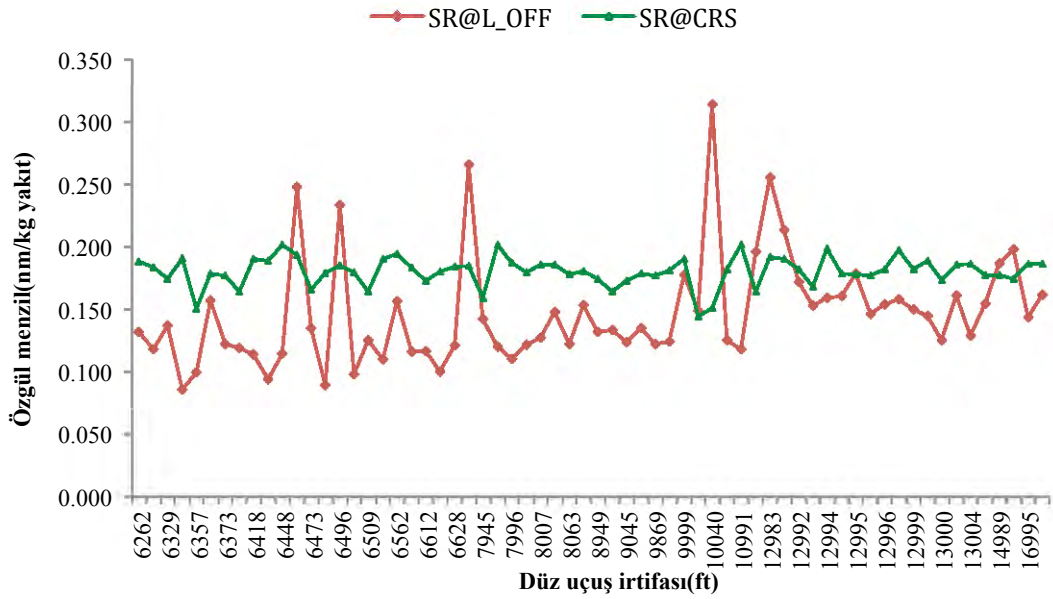
Zaman, yakıt ve emisyon analizinin gerçekleştirilmesi için, ESB meydana geliş trafiklerinden 95 tanesinde meydana gelen 131 adet düz uçuş bölümüne 60 sn süre filtrelemesi uygulanması sonucu, düz uçuş bölümü %51 oranında azalmış ve 64 adet düz uçuş bölümü incelenmiştir. Filtrelenen düşük irtifa düz uçuş bölümlerinin her birinin uçuşun kendi seyir irtifasında gerçekleşmesi sonucunda elde edilen yakıt ve zaman tasarrufları aşağıda Şekil 3.5'te sunulmuştur.



Şekil 3.5. Düşük irtifa düz uçuşların uçuşun seyir fazında gerçekleşmesi durumunda oluşacak yakıt ve zaman değişimi

Şekil 3.5'te sunulan yakıt-zaman değişim grafiği, düşük irtifa düz uçuş bölümlerinin seyir irtifasında gerçekleşmesi durumunda, her bir uçuşta zaman tasarrufu sağlanacağını göstermektedir ve düz uçuş başına ortalama zaman tasarrufu değeri 44,8 sn olarak hesaplanmıştır. Diğer taraftan, yakıt tüketimindeki değişimin tüm düz uçuş bölümleri için olumlu sonuçlanmadığı görülmektedir. Her bir düz uçuş bölümünün seyir irtifasında gerçekleşmesi durumunda sürenin kısalmasına rağmen 64 düz uçuştan 10 tanesinde seyir fazında daha fazla yakıt tüketilmiştir. Yakıt tasarrufu sağlanan 54 düz uçuş bölümünde ise, uç değerler çıkarılınca düz uçuş başına ortalama 17 kg yakıt tasarrufu sağlandığı görülmektedir.

Düz uçuş bölümlerinin tümünde sürenin kısalmasına rağmen bazı uçuşlarda yakıt tasarrufunun sağlanamamasını açıklamak için kullanılacak önemli parametrelerden birisi özgül menzildir. 1 kg yakıt ile kat edilen mesafeyi ifade eden özgül menzil, düşük irtifa düz uçuş bölümleri için ve düz uçuşun seyir fazı için Şekil 3.6'da sunulmuştur.

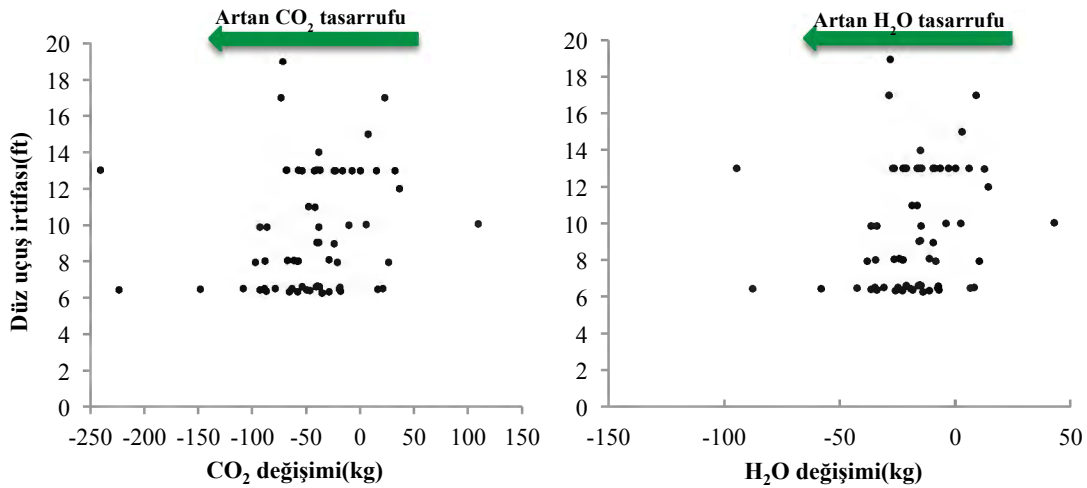


Şekil 3.6. Düşük irtifa düz uçuşta ve seyir irtifasında özgül menzil (SR@L_OFF: düşük irtifada özgül menzil, SR@CRS: seyir irtifasında özgül menzil)

Şekil 3.6, düşük irtifada gerçekleştirilen mesafenin seyir irtifasında daha fazla yakıt tüketilerek gerçekleştirilmesinin sebebini açıkça göstermektedir. Şekil 3.6'da özgül menzil değeri seyir fazında daha düşük seviyede olan düz uçuş bölümleri, yakıt tasarrufu değil yakıt sarfiyatına neden olmuştur. Normal şartlar altında yüksek

irtifalarda özgül menzilin daha yüksek çıkması beklenmektedir. Bu sebeple, bazı düşük irtifa düz uçuş bölümlerinin seyir irtifasında gerçekleşmesi durumunda yakıt sarfiyatına neden olmasının nedenleri FDR kayıtları incelenerek araştırılmıştır. İncelemede, özgül menzil değeri seyir irtifasında daha düşük çıkan düz uçuşların, alçalma sırasında FPA değerlerinin sıfıra yaklaşmasına ve irtifasını koruyarak uçuşa devam etmesine karşın yakıt akış değerlerinin alçalma profiline yakın ve düşük yakıt akış değerlerinde seyrettiği görülmüştür. Bu sebeple bazı düz uçuş bölümlerinin yakıt sarfiyatına neden olduğu sonucu çıkmıştır.

Düşük irtifa düz uçuş bölümlerinde meydana gelen ve yakıt tüketimine doğrudan bağlı olan CO₂ ve H₂O emisyonlarının sonuçları Şekil 3.7’de sunulmuştur.

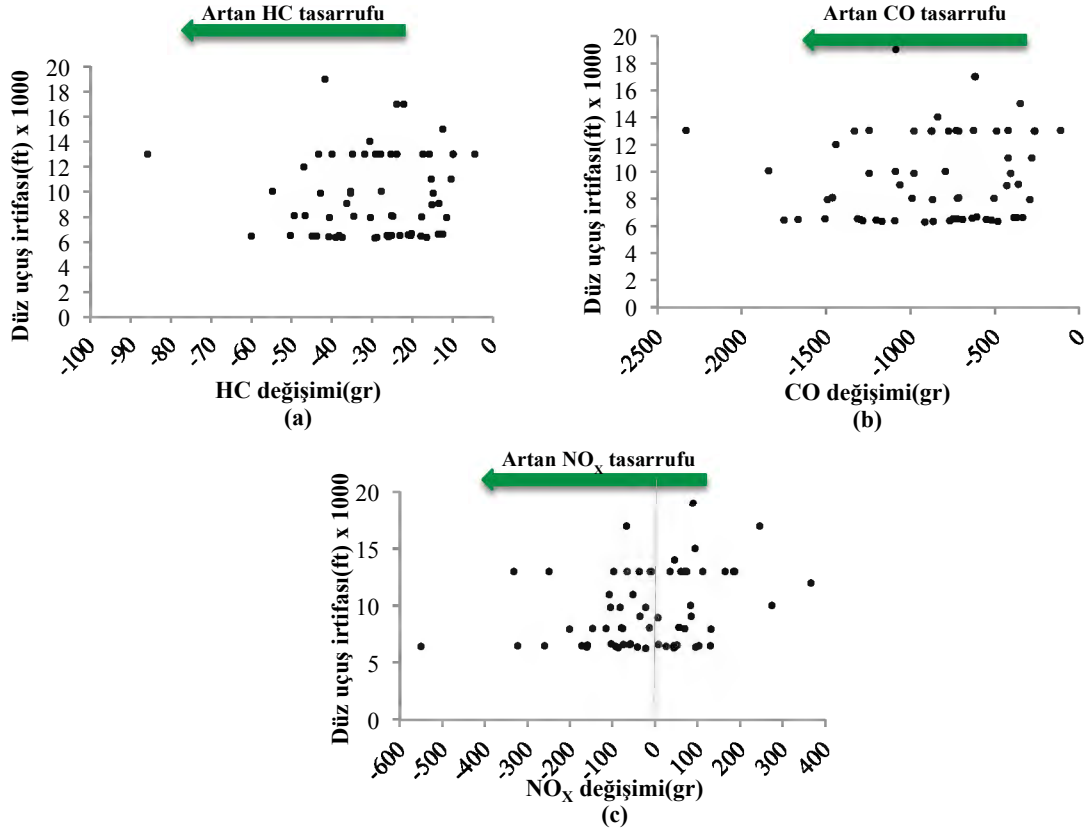


Şekil 3.7. Düşük irtifa düz uçuşların uçuşun seyir fazında gerçekleşmesi durumunda oluşacak CO₂ ve H₂O emisyonlarının değişimi

Atmosferik koşullardan, hızdan, itkiden vb. bağımsız, doğrudan yakıt tüketimi ile orantılı olarak ortaya çıkan CO₂ ve H₂O emisyonları, yakıt tüketiminin dağılımı ile bire bir benzerlik göstermektedir. Sadece değerler farklılık göstermektedir. 64 düz uçuş bölümünden 54 tanesinin seyir irtifasında gerçekleşmesi senaryosunda, CO₂ ve H₂O emisyonlarının azalma potansiyeli göstereceği ve düz uçuş başına ortalama 60 kg CO₂ ve 23,5 kg H₂O daha az emisyonun atmosfere atılması durumu ortaya çıkmıştır.

Analizi gerçekleştirilen CO, HC ve NO_x emisyonları, CO₂ ve H₂O emisyonlarının aksine atmosferik koşullardan, itkiden, hızdan ve uçuş fazından etkilenmektedir ve

düşük irtifa düz uçuş bölümlerinin seyir irtifasında gerçekleştirilmesi durumunda farklı dağılımlar göstermektedir(Şekil 3.8’de sunulmaktadır.).



Şekil 3.8. *Düşük irtifa düz uçuşların uçuşun seyir fazında gerçekleşmesi durumunda oluşacak HC, CO ve NO_x emisyonlarının değişimi*

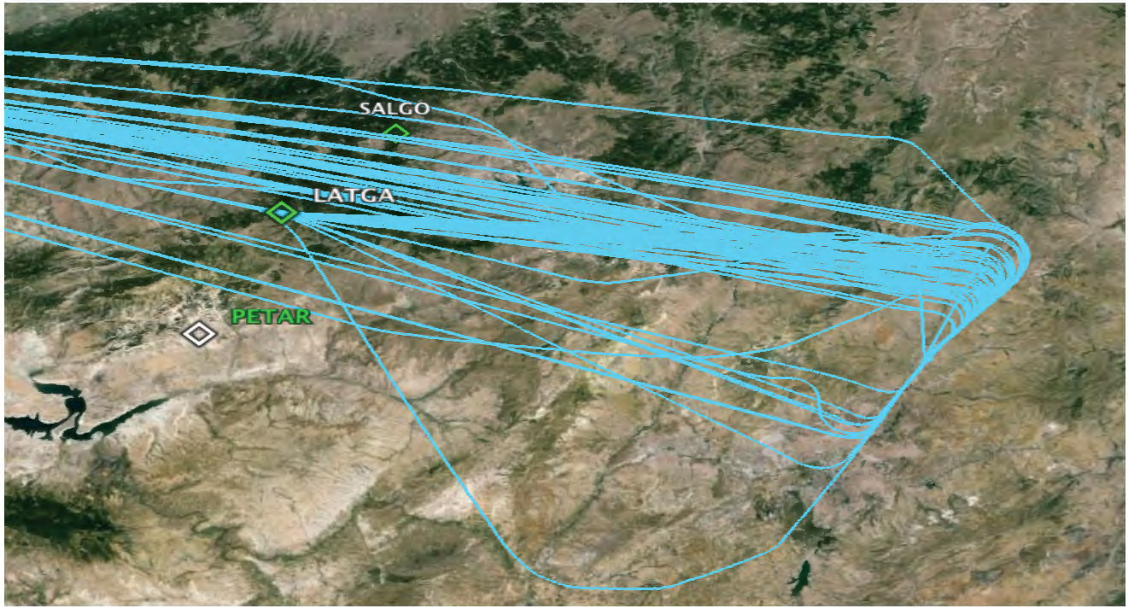
HC ve CO emisyonları, yanma veriminin düşük olduğu düşük itki değerlerinde yanma odası basıncının ve sıcaklığının düşük olması sebebi ile yüksek emisyon indeksine sahiptir [4,33]. Düşük irtifa düz uçuş bölümlerinin seyir fazında gerçekleşmesi durumunda, motorun daha yüksek itkilerde daha yüksek yanma verimine sahip olması sebebi ile HC ve CO emisyon indeksi azalmaktadır. Bu sebeple, Şekil 3.8.a ve Şekil 3.8.b’de görüldüğü üzere hem HC ve CO emisyon indeksinin küçülmesi hem de düz uçuş bölümünün süresinin kısılması sonucu HC ve CO emisyon miktarında azalma görülmektedir. 64 düz uçuş bölümünün seyir irtifasında gerçekleşmesi senaryosunda düz uçuş başına ortalama 29,38 gr HC ve 864,87 gr CO daha az emisyonun atmosfere atılması durumu ortaya çıkmıştır.

Emisyonlar arasında en büyük farklılığı NO_x emisyonu göstermektedir. Şekil 3.8.c’de görüldüğü üzere, düşük irtifa düz uçuşların seyir irtifasında gerçekleşmesi

senaryosunda düz uçuşların yarısına yakınında daha fazla NO_x emisyonu oluşacağı görülmektedir. Yakıt akışı ile lineer değişen NO_x emisyon indeksi, uçağın seyir irtifasında daha yüksek hızla ve daha yüksek yakıt akışı ile gitmesi sebebi ile daha yüksek çıkmaktadır. Bu sebeple seyirde uçağın saniyede sebep olduğu NO_x emisyon miktarının daha fazla olması beklenmektedir. Ancak düşük irtifada kat edilen mesafenin seyir irtifasında daha kısa sürede kat edilmesi sebebi ile bazı düz uçuşların seyir irtifasında sebep olduğu NO_x miktarı daha düşük çıkmıştır. Toplam NO_x değişimine bakıldığı zaman ise düz uçuş başına ortalama 7,62 gr NO_x emisyonunda azalma sağlandığı görülmektedir.

3.1.2. ESB havalimanı kalkış trafiği analizi

Esenboğa Havalimanı'ndan kalkış yapan 63 trafiğin 10 tanesi 21L pistinden ve 53 tanesi 03R pistinden kalkış gerçekleştirmiştir. SAW meydanına varış için kalkan trafiklerin yol safhasına dahil olana kadar tırmanma fazında izledikleri rotanın plan görünümü Şekil 3.9'da gösterilmiştir.



Şekil 3.9. ESB havalimanından kalkan trafiklerinin izlediği rotanın plan görünümü

03L/R pisti için yayınlanmış olan SID haritası EK-3'de, 21L/R pisti için yayınlanmış olan SID haritası EK-4'de sunulmuştur. Yayınlanmış olan SID haritalarına ve Şekil 3.9'da görüldüğü üzere ESB meydanından 03R/21L pistinden kalkış yapıp SAW meydanına gidiş trafiklerinin Ankara TMA'yı meydanın kuzey batısında kalan

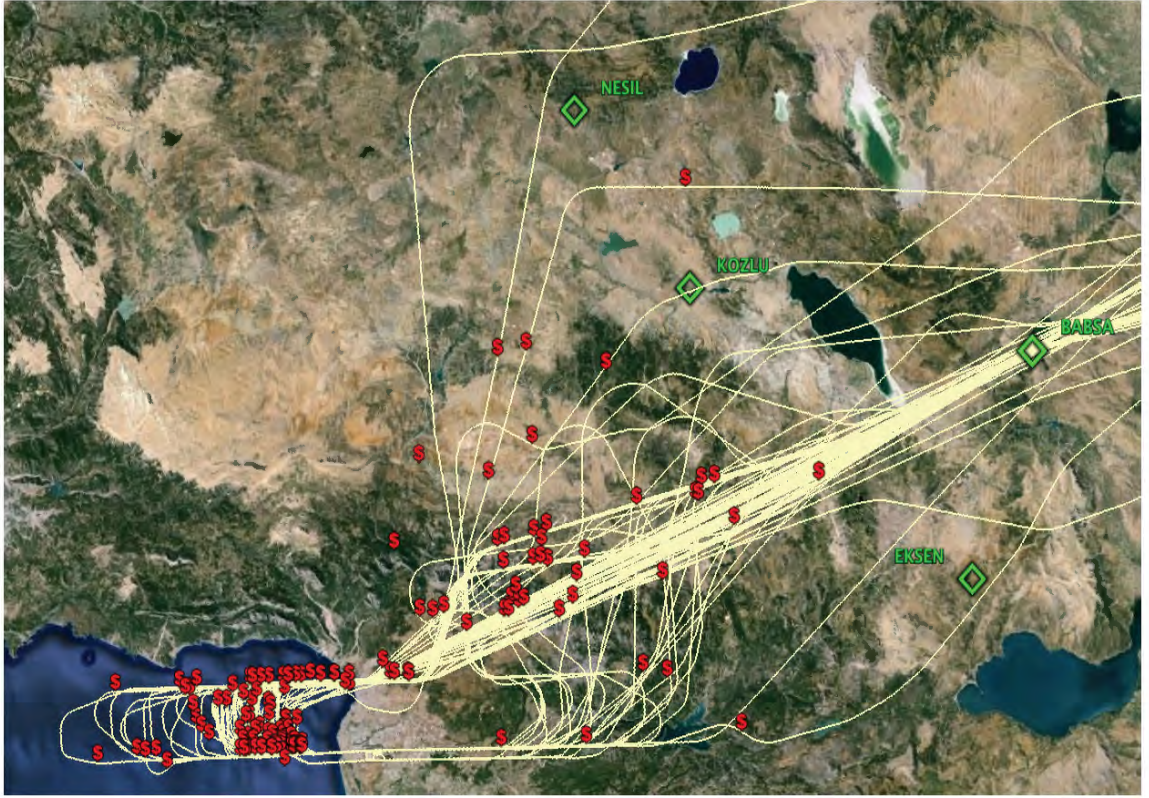
LATGA noktasından terk ettikleri görülmektedir. 03R pistinden kalkan ve toplam trafiğin büyük kısmını oluşturan trafiklerin LATGA 1A yolunu takip ettikleri anlaşılmaktadır. LATGA 1A yolunu takip eden uçak, BUK NDB'ye kadar tırmandıktan sonra LATGA noktası üzerinden yol safhasına dahil olmaktadır. 21L kalkışlarının da yine LATGA üzerinden Ankara TMA'yı terk ettikleri görülmektedir. LATGA 1B yolunu izleyen uçaklar, ANK NDB'ye kadar tırmandıktan sonra LATGA noktasına dönerek yol safhasına dahil olmaktadır. İncelenen 63 kalkış trafiğinin hiçbir tanesinde tırmanma fazında düz uçuş bölümü görülmemiştir. Kalkan trafiğin, ANK NDB merkezli sektörü devamlı tırmanma profiline yakın bir rota ile terk ettikleri anlaşılmaktadır.

3.2. Antalya Havalimanı

Antalya Havalimanı (ICAO kodu: LTAI, IATA kodu: AYT) 36° 54' 01'' N - 30° 47' 34'' E koordinatlarında, şehrin kuzey doğusunda ve şehir merkezinden 13 km uzaklıkta 54 m rakıma sahip, 1960 yılında hizmete açılmış bir uluslararası havalimanıdır. 18L/36R, 18C/36C ve 18R/36L konfigürasyonunda üç adet paralel pisti bulunan havalimanında, 2014 istatistiklerine göre 48.472 iç hat trafiği ve 129.412 dış hat trafiği olmak üzere toplam 177.884 uçak trafiği gerçekleşmiştir [32]. Antalya Havalimanı'na geliş ve kalkış operasyonlarının dikey profil analizi için Ağustos 2015 ayna ait 128 geliş ve 120 kalkış trafiği incelenmiştir. İncelenen trafiklerin tamamı SAW-AYT meydanları arasında gerçekleştirilen uçuşlardır.

3.2.1. AYT havalimanı geliş trafiği analizi

Antalya Havalimanı'na gelen 128 trafiğin 95 tanesi 36C pistine, 33 tanesi ise 21L pistine iniş gerçekleştirmiştir. SAW meydanından gelen trafiklerin 36C/18C pistine alçalma ve yaklaşma fazında izledikleri rota ve alçalma esnasında meydana gelen düz uçuş bölümlerinin başlangıç noktalarının kırmızı olarak işaretlendiği görüntü Şekil 3.10'da gösterilmiştir.



Şekil 3.10. AYT meydanına geliş trafiklerinin izlediği rotanın plan görünümü ve düşük irtifa düz uçuşların başlama noktaları

AYT meydanı 36L/R/C pisti için yayınlanan RNAV(GNSS) STAR Ek-5'te, 18 L/C/R pisti için yayınlanan RNAV(GNSS) STAR Ek-6'da sunulmuştur. Sektörel gelişlerde kontrolörün uyguladığı vektör tekniğinin yerini önceden tanımlı standart aletli geliş rotaları almıştır. Açık ve kapalı STAR olmak üzere iki tip standart aletli geliş yolu vardır ve AYT meydanı için uygulanan RNAV STAR yolları, açık STAR'dır. Açık STAR uygulamasında uçağın son yaklaşıma dönmesi için kontrolörden vektör talimatı alması gerekmektedir. Aksi durumda son yaklaşma hattına paralel bir biçimde mevcut uçuş başını muhafaza etmektedir.

SAW meydanından AYT meydanına geliş trafiklerinin iniş yapacağı pist fark etmeksizin Antalya TMA'ya BABSA noktasından giriş yaptığı ve 18C pisti için BABSA 1D yolunu, 36C pisti için BABSA 1A yolunu takip ettiği görülmektedir. Uçakların önceden tanımlı RNAV STAR rotaları takip ederek geliyor olması, tanımlı rotaların uyduya dayalı seyrüsefer sistemi ile takip edilmesi ve kontrolörlerin sadece trafik yoğunluğunun az olduğu durumlarda fikse direkt ulaşım sağlayacak vektör talimatı vermesi sebebi ile geliş trafiklerinin izlediği rotaların dağınık olmadığı görülmektedir.

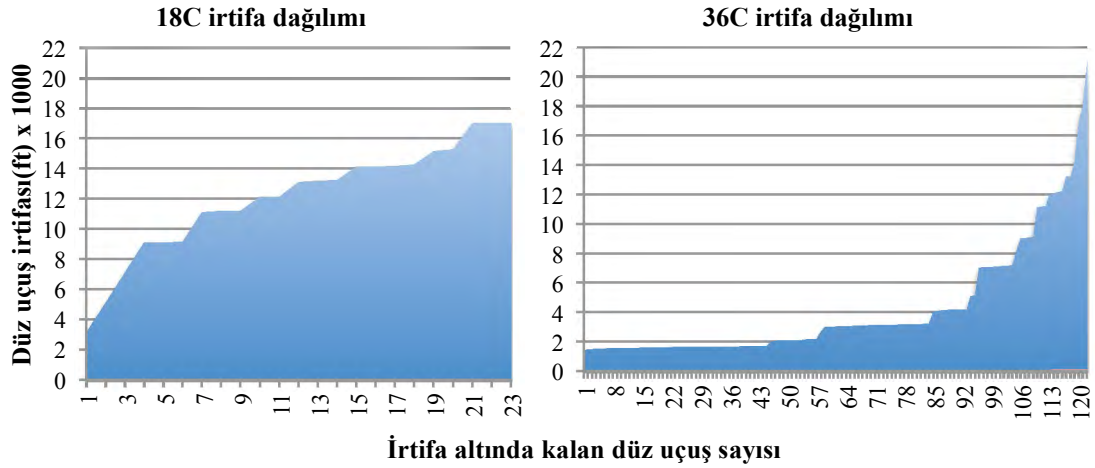
3.2.1.1 AYT'ye geliş trafiklerinin düz uçuş bölümlerinin irtifa dağılımı

AYT meydanına iniş gerçekleştiren toplam 128 trafiğin 95 tanesinde alçalma sırasında düz uçuş meydana gelmiştir. Bazı uçuşlarda alçalma esnasında birden fazla düz uçuş bölümü oluşmasından dolayı 95 trafikte toplam 145 tane düz uçuş bölümü oluşmuştur. Alçalma esnasında düz uçuş meydana gelen trafiklerin iniş pistine göre dağılımı Çizelge 3.2'de sunulmuştur.

Çizelge 3.2. Düz uçuş meydana gelen trafiklerin piste göre dağılımı

	Toplam Trafik Sayısı	Düz Uçuş İçeren Trafik Sayısı	Toplam Düz Uçuş Sayısı
18C	33	16	23
36C	95	79	122
Toplam	128	95	145

AYT meydanına gelen trafiklerin gerçekleştirdikleri düşük irtifa düz uçuş bölümlerinin irtifa dağılımını gösteren grafik Şekil 3.11'de sunulmuştur.



Şekil 3.11. 18C ve 36C pistine gelişte gerçekleşen düz uçuşların irtifa dağılımı

Şekil 3.11'de verilen grafik, AYT meydanına iniş sırasında meydana gelen tüm düz uçuş bölümlerinin hangi irtifalarda meydana geldiğini 18C ve 36C pistleri için ayrı ayrı göstermektedir. 18C pistine geliş trafiğinde meydana gelen düşük irtifa düz uçuş bölümlerinin belirli bir irtifa etrafında kümelenmediği ve dağınıklık gösterdiği

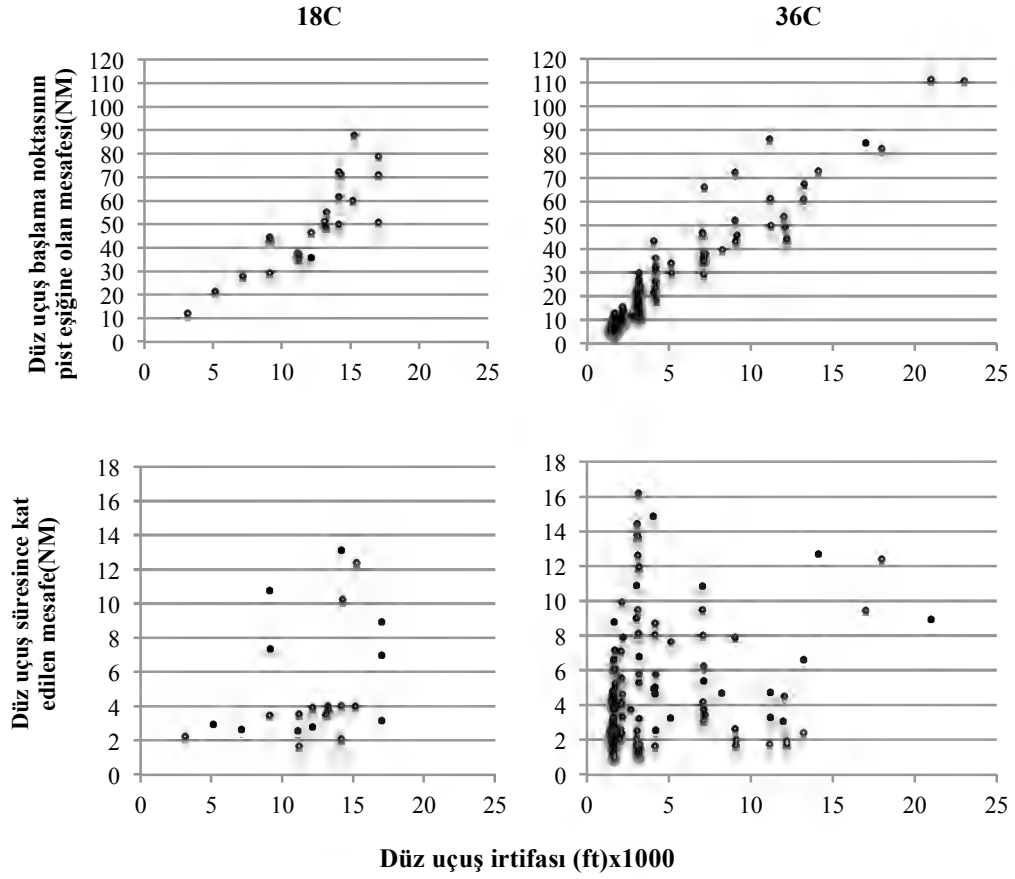
anlaşılmaktadır. 18C pistine gelişte BABSA 1D yolunu takip eden uçakların AI615 isimli yol noktasına(WP: Waypoint) geldiklerinde 11.000 ft veya üzeri irtifada olmaları şartı vardır. Ancak, meydana gelen düz uçuşların bu nokta ile uyuşmadığı görülmektedir.

Büyük bir kısmı 36C pistine geliş trafiklerinde meydana gelen düşük irtifa düz uçuş bölümlerinin 84 tanesinin 1.500 ft ile 3.000 ft arasında meydana geldiği görülmektedir. Bu irtifa aralığında meydana gelen düşük irtifa düz uçuş bölümleri, 36C pistine gelişte gerçekleşen düşük irtifa düz uçuş bölümlerinin % 69'unu oluşturmaktadır. Geriye kalan %31'lik kısmı 38 adet düz uçuş bölümü oluşturmaktadır ve 4.000 ft ve 7.000 ft irtifalarda daha fazla olmakla beraber, tümü 22.000 ft altında dağılmaktadır.

SAW meydanından geliş trafiklerinin tümü BABSA noktasından girdikten sonra 36C pistine inecek olanların BABSA 1A yolunu izledikleri görülmektedir. BABSA 1A yol kriterlerinde, AI515 yol noktasında 11.000 ft veya üzerinde olması ve AI519 yol noktasında 3.000 ft irtifada,182 radyalinde 36C yaklaşma hattına paralel devam etmesi ve yaklaşma hattına dönüş için kontrolörden vektör talimatı beklenmesi kriterleri mevcuttur. BABSA 1A yol kriterleri göz önüne alındığında, meydana gelen düşük irtifa düz uçuş irtifaları ile yol kriterlerinin örtüştüğü görülmektedir. 3.000 ft irtifada ve biraz üzerinde meydana gelen düz uçuş bölümlerinin uçakların vektör talimatı bekledikleri 182 radyalinde meydana geldiği, 3.000 ft altında gerçekleşen düz uçuş bölümlerinin ise yaklaşma hattına dönüşlerde ve yaklaşma hattına döndükten sonra süzülüş açısını yakalayana kadar geçen sürelerde meydana geldiği görülmektedir. Uçakların son yaklaşma hattına dönüş için beklerken 3.000 ft irtifanın altına inmesinin sınırlanmasının sebebi gürültüdür. Yaklaşma hattının şehrin üzerinde olması sebebi ile gürültü azaltma yöntemi olarak 3.000 ft sınırı konulmuştur.

3.2.1.2 AYT'ye geliş trafiklerinin düz uçuş bölümlerinin yatay mesafesi ve pist eşiğinden olan uzaklıkları

AYT meydanına gelen uçakların alçalmaları esnasında meydana gelen düz uçuş bölümlerinin pist eşiğine olan uzaklıkları ve düz uçuş bölümü süresince kat edilen mesafeler aşağıda Şekil 3.12'de sunulmuştur.



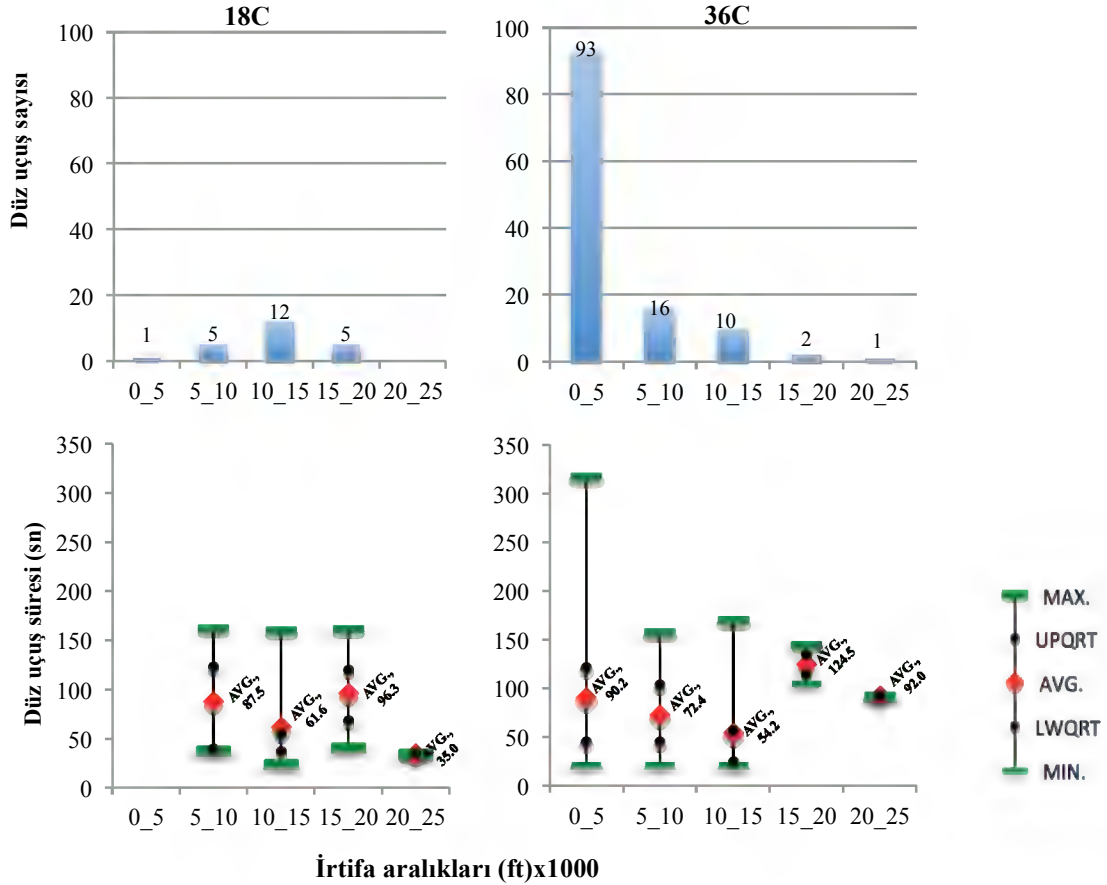
Şekil 3.12. Düz uçuş bölümlerinin başlangıç noktalarının pist eşiğine olan mesafeleri ve düz uçuş süresince kat edilen mesafeler

18C pistine gelen uçakların alçalma sırasında gerçekleştirdikleri düz uçuş bölümlerinin pist eşiğine olan mesafelerinin dağınıklık gösterdiği, kat edilen yatay mesafelerin ise çoğunlukla 2-4 NM arasında değiştiği görülmektedir.

36C pistine gelen uçakların alçalma sırasında 3.000 ft altında gerçekleşen düz uçuş bölümlerinin pist eşiğinden ortalama 8 NM uzaklıkta, 1-6 NM yatay mesafe aralığında değiştiği ve yaklaşma hattına döndükten sonra veya dönüşlerde meydana geldiği görülmektedir. 3.000 ft üzerinde gerçekleşen düz uçuşların pist eşiğine olan uzaklıkların 10-30 NM uzaklıkta gerçekleştiği ve bu düz uçuşlarda kat edilen mesafelerin ise 1-16 NM arasında dağıldığı görülmektedir. Özellikle uzun süre düşük irtifada devam eden düz uçuşların yaklaşma hattına dönüş için vektör talimatı bekleyen uçaklar olduğu görülmektedir.

3.2.1.3 AYT'ye gelişte gerçekleşen düz uçuş bölümlerinin ortalama süreleri

AYT meydanına iniş sırasında irtifa aralıklarında gerçekleşen düz uçuş bölümlerinin sayısını, maksimum ve minimum düz uçuş süresini, üst çeyrek ve alt çeyrek noktaları ile ortalama düz uçuş süresini gösteren grafik Şekil 3.13'te sunulmuştur.



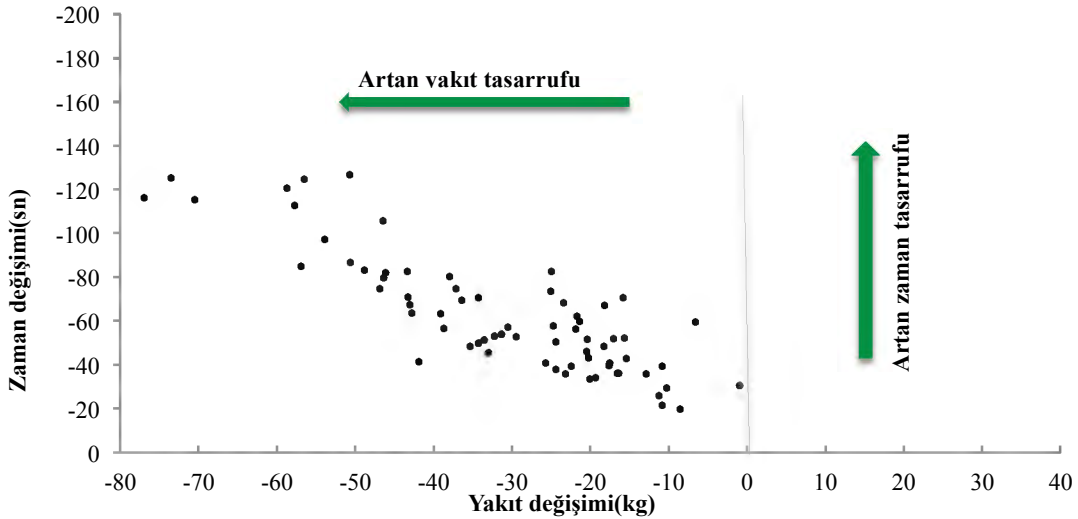
Şekil 3.13. 18C ve 36C pistine gelişte irtifa aralıklarında gerçekleşen düz uçuş sayısı ve ortalama düz uçuş süreleri (İrtifa aralıkları 0-5.000 ft, 5.001-10.000 ft, 10.001-15.000 ft, 15.001-20.000 ft ve 20.001-25.000 ft olarak alınmıştır.)

18C pistine geliş trafiklerinin en fazla 5.001-10.000 ft irtifa aralığında meydana geldiği görülmektedir. Ortalamanın UPQRT ve LWQRT aralığının üzerinde kalması, düz uçuş süreleri arasında ortalamadan çok uzak değerler olduğunu göstermektedir. Şekil 3. 12'de, 5.001-10.000 ft irtifa aralığında kat edilen mesafelere bakıldığı zaman bu durum anlaşılmaktadır. İki adet yatay uçuşun diğerlerinden çok uzun olduğu anlaşılmaktadır.

36C pistine geliş trafiklerinde meydana gelen düz uçuş bölümlerinin büyük bölümünün 0-5.000 ft irtifa aralığında gerçekleştiği Şekil 3.13'te görülmektedir. 93 adet düz uçuşun gerçekleştiği irtifa aralığında ortalama düz uçuş süresinin 90,2 sn olduğu görülmektedir. Düz uçuş bölümlerinin %75'inin altında kaldığı süreyi gösteren UPQRT noktası ile maksimum düz uçuş süresi arasındaki farkın yüksek olması, yine uzun süren düz uçuş bölümlerinin varlığını göstermektedir. Uzun süren bu düz uçuşların ise son yaklaşma hattına dönüş için kontrolör vektör talimatı bekleyen 3.000 ft irtifa düz uçuşları olduğu görülmektedir.

3.2.1.4 AYT'ye gelişte gerçekleşen düz uçuş bölümlerinin zaman, yakıt ve emisyon analizi

Zaman, yakıt ve emisyon analizinin gerçekleştirilmesi için, AYT meydanına geliş trafiklerinden 95 tanesinde meydana gelen 145 adet düz uçuş bölümüne 60 sn süre filtrelemesi uygulanması sonucu, düz uçuş bölümü %51 oranında azalmış ve 71 adet düz uçuş bölümü kalmıştır. Filtrelenen düşük irtifa düz uçuş bölümlerinin her birinin uçuşun kendi seyir irtifasında gerçekleşmesi sonucunda elde edilen yakıt ve zaman tasarrufları aşağıda Şekil 3.14'te sunulmuştur.

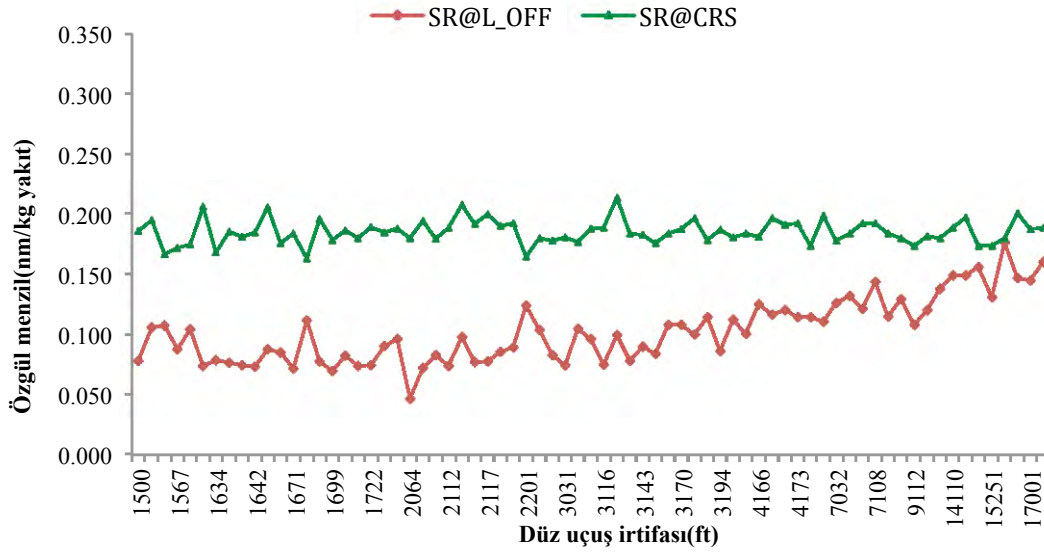


Şekil 3.14. Düşük irtifa düz uçuşların uçuşun seyir fazında gerçekleşmesi durumunda oluşacak yakıt ve zaman değişimi

Şekil 3.14, düşük irtifa düz uçuş bölümlerinin seyir irtifasında gerçekleştirilmesi durumunda her bir düz uçuşta hem zaman hem de yakıt tasarrufu sağlanacağını

göstermektedir. Her bir düz uçuş için ortalama zaman ve yakıt tasarruf değerleri sırası ile 65,35 sn ve 33,4 kg olarak hesaplanmıştır.

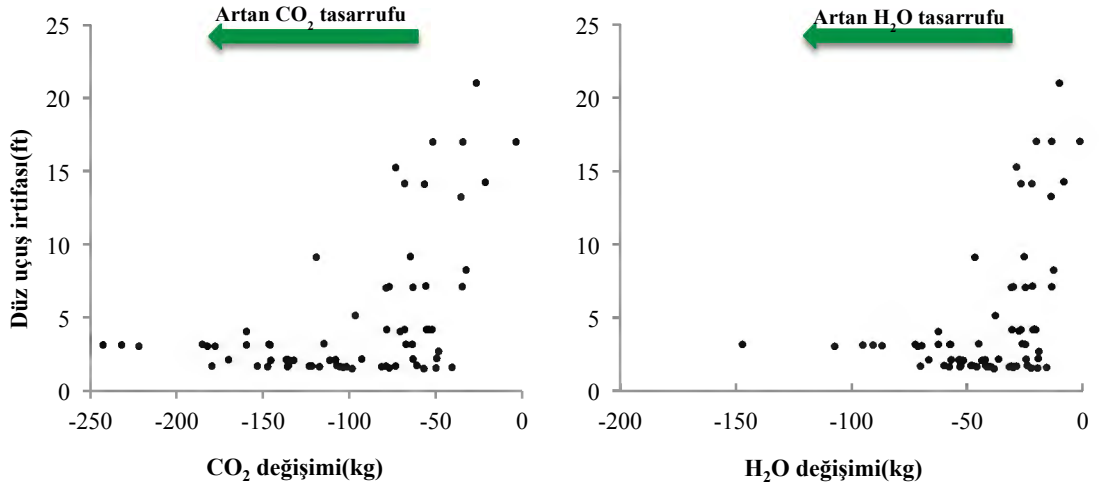
Düz uçuş bölümünün seyir irtifasında gerçekleşmesi durumunda uçağın özgül menzilineki değişimi gösteren grafik Şekil 3.15'te sunulmuştur.



Şekil 3.15. Düşük irtifa düz uçuşta ve seyir irtifasında özgül menzil (SR@L_OFF:düşük irtifada özgül menzil, SR@CRS:seyir irtifasında özgül menzil)

Uçuşun yüksek irtifalarda gerçekleştirdiği uçuşlarda 1 kg yakıt ile kat edilen mesafeyi gösteren Şekil 3.15'ten anlaşılmaktadır ki; düşük irtifalarda gerçekleştirilen uçuşlarda birim menzil başına tüketilen yakıt daha fazladır. Ayrıca, düşük irtifada gerçekleşen düz uçuşun irtifası seyir irtifasına yaklaştıkça özgül menzil değerleri arasındaki farkın giderek azaldığı bariz bir şekilde anlaşılmaktadır.

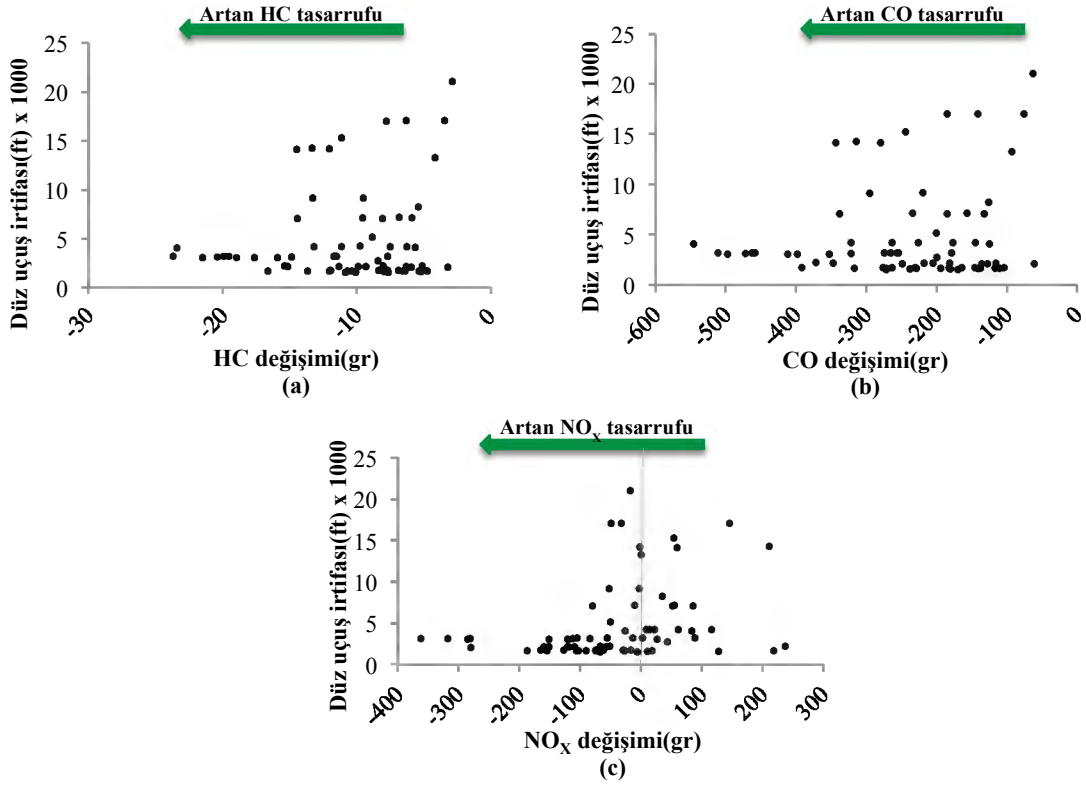
Düşük irtifa düz uçuş bölümlerinde meydana gelen ve yakıt tüketimine doğrudan bağlı olan CO₂ ve H₂O emisyonlarının sonuçları şekil 3.16'da sunulmuştur.



Şekil 3.16. *Düşük irtifa düz uçuşların uçuşun seyir fazında gerçekleşmesi durumunda oluşacak CO₂ ve H₂O emisyonlarının değişimi*

Yakıt tüketimi ile lineer değişen CO₂ ve H₂O emisyonlarının değişim grafiği yakıt-zaman grafiği ile benzerlik göstermektedir. Hem CO₂ hem de H₂O değişim grafiği düşük irtifa düz uçuş bölümlerinin seyir fazında gerçekleşmesi durumunda CO₂ ve H₂O emisyonlarında azalma olacağını göstermektedir. CO₂ değişim grafiği düz uçuş başına ortalama 105 kg CO₂ tasarrufu, H₂O değişim grafiği düz uçuş başına ortalama 41 kg H₂O tasarrufu sağlanması potansiyelini göstermektedir.

Analizi gerçekleştirilen CO, HC ve NO_x emisyonları, CO₂ ve H₂O emisyonlarının aksine atmosferik koşullardan, itkidən, hızdan ve uçuş fazından etkilenmektedir ve düşük irtifa düz uçuş bölümlerinin seyir irtifasında gerçekleştirilmesi durumunda farklı dağılımlar göstermektedir(Şekil 3.17’de sunulmuştur.).



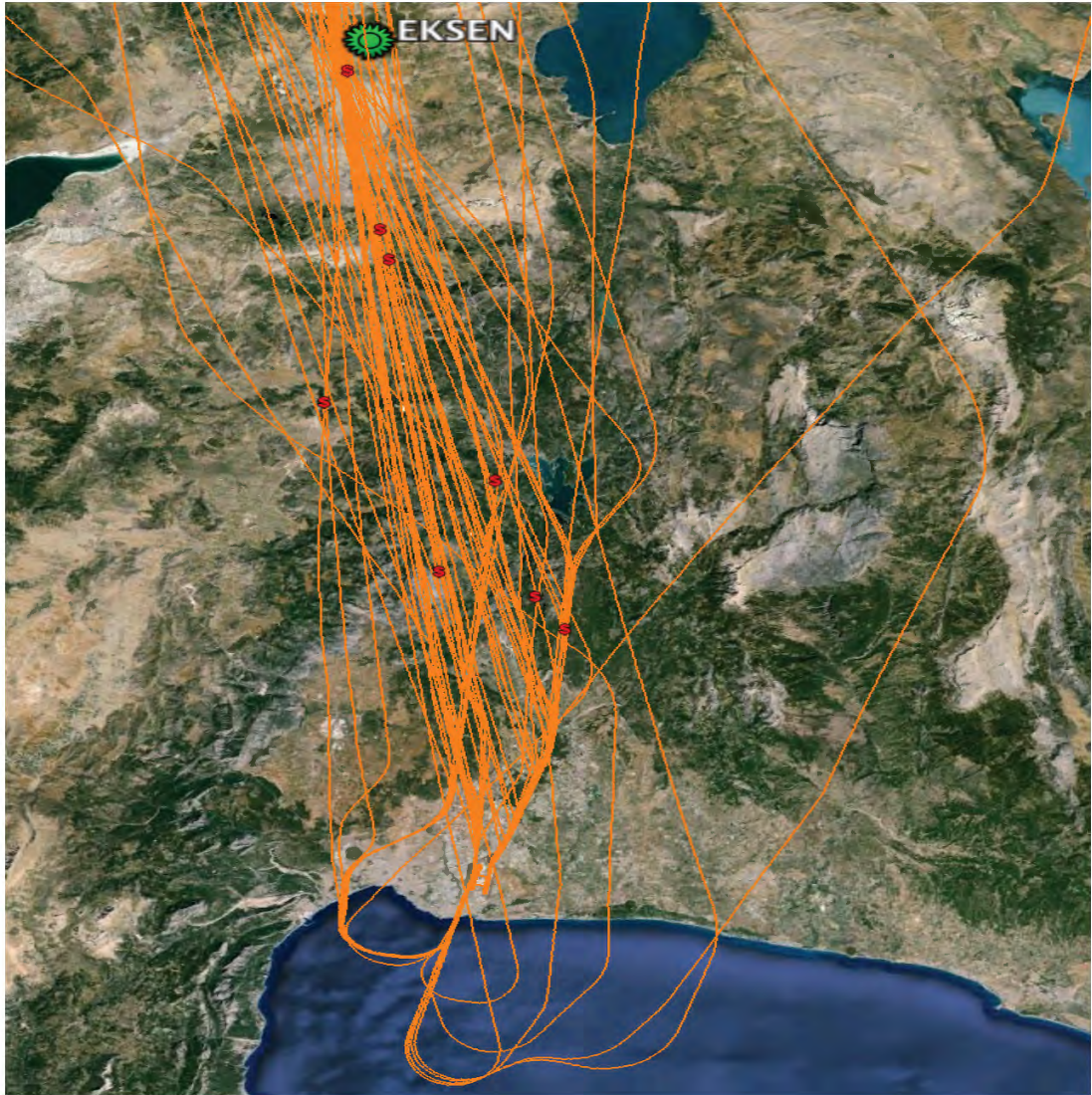
Şekil 3.17. Düşük irtifa düz uçuşların uçuşun seyir fazında gerçekleşmesi durumunda oluşacak HC, CO ve NO_x emisyonlarının değişimi

Düşük irtifa düz uçuş bölümlerinin seyir fazında gerçekleşmesi durumunda, motorun daha yüksek itkilerde daha yüksek yanma verimine sahip olması sebebi ile HC ve CO emisyon indeksi azalmaktadır. Bu sebeple, Şekil 3.17.a ve Şekil 3.17.b’de görüldüğü üzere hem HC ve CO emisyon indeksinin küçülmesi hem de düz uçuş bölümünün süresinin kısılması, HC ve CO emisyon miktarında azalma sağlamıştır. 71 düz uçuş bölümünün seyir irtifasında gerçekleşmesi senaryosunda düz uçuş başına ortalama 10,5 gr HC ve 239,8 gr CO daha az emisyonun atmosfere atılması durumu ortaya çıkmıştır.

Şekil 3.17.c’de görülen NO_x dağılım grafiği, yakıt-zaman ve diğer emisyonların dağılım grafiklerinden farklı bir dağılım göstermektedir. Yakıt akışı ile lineer değişen NO_x emisyon indeksi, daha yüksek itki ile daha yüksek hızda seyreden uçağın yakıt akış değerlerinin artması ile beraber artmaktadır. Düşük irtifada kat edilen mesafe seyirde daha kısa zamanda kat edilmesine rağmen, NO_x emisyon indeksinin artması sebebi ile bazı düz uçuş bölümlerinin seyir irtifasında gerçekleştirilmesi durumunda daha fazla NO_x emisyonunun atmosfere atılacağını göstermektedir. Toplamda ise düz uçuş başına 41.6 gr daha az NO_x emisyonunun atmosfere atılacağı sonucu çıkmıştır.

3.2.2. AYT havalimanı kalkış trafiği analizi

Antalya Havalimanı'ndan kalkış yapan 120 trafiğin 29 tanesi 18C pistinden ve 91 tanesi 36C/R pistinden kalkış gerçekleştirmiştir. SAW meydanına varış için kalkan trafiklerin yol safhasına dahil olana kadar tırmanma fazında izledikleri rotanın plan görünümü Şekil 3.18'de gösterilmiştir.



Şekil 3.18. AYT meydanından kalkan trafiklerinin izlediği rotanın plan görünümü

AYT meydanı 36C, 36R, 18C, 18L pisti için yayınlanan RNAV(GNSS) SID haritaları sırasıyla Ek-7, Ek-8 Ek-9 ve Ek-10'da sunulmuştur. AIP'de yayınlanmış SID haritaları ve Şekil 3.18 incelendiğinde, işaretlenen EKSEN yol noktası, SAW meydanına varış için 36 ve 18 konfigürasyonundaki pistlerden kalkış yapan uçakların

hepsinin çıkış yaptığı yol noktasıdır. 36C/R pistinden kalkış uçaklarının yayınlanmış olan RNAV SID yolları ile örtüştüğü görülmektedir. 18C pistinden kalkan uçaklardan, kalkıştan sonra sağdan dönerek EKSEN noktasına giden uçakların izlediği rotaların yine yayınlanmış olan RNAV SID rotaları ile örtüştüğü; soldan dönen uçakların izlediği rotaların ise yayınlanmış RNAV SID yolları ile örtüşmediği görülmektedir. Bu durum RNAV SID var olsa bile uçaklara vektör uygulaması yapıldığını göstermektedir. Bu durum havalimanında çalışan bir kontrolörden görüş alınarak doğrulanmıştır. Çalışan kontrolörün yaklaşımına bağlı olarak, uçak trafiği elverdiği durumlarda uçakların kısa rota uçmaları veya ayırmalar için vektör tekniği uygulandığı bilgisi edinilmiştir.

Kalkış trafiklerinin düz uçuş bölümü analizinde, 120 kalkış trafiğinden yalnızca 7 tanesinde toplam 9 tane düşük irtifa düz uçuş bölümü bulunmuştur. Bu düz uçuş bölümlerinden 2 tanesi 18C pistinden kalkan trafiklerde, 7 tanesi ise 36C/R pistinden kalkan trafiklerde meydana gelmiştir.

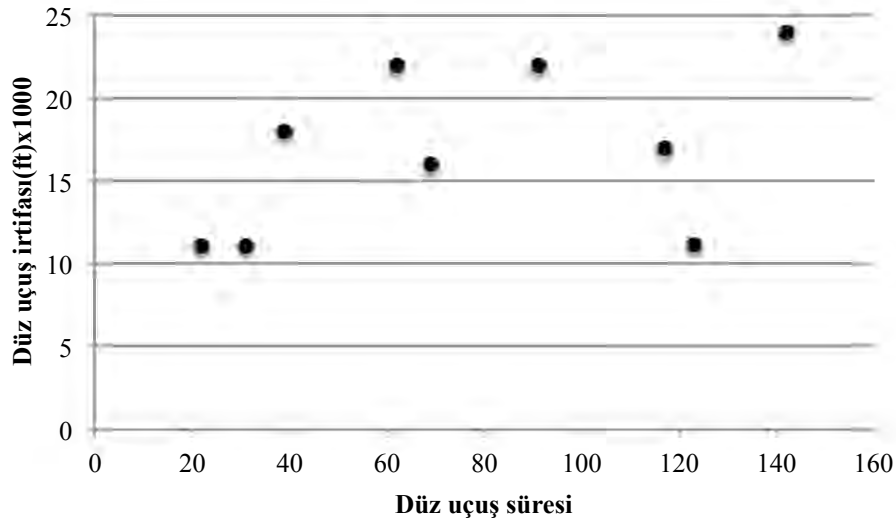
Çizelge 3.3. *Düz uçuş meydana gelen trafiklerin piste göre dağılımı*

	Toplam Trafik Sayısı	Düz Uçuş İçeren Trafik Sayısı	Toplam Düz Uçuş Sayısı
18C	29	2	2
36C/R	91	5	7
Toplam	120	7	9

AYT meydanından kalkış trafiklerinin tırmanma esnasında gerçekleştirdikleri düşük irtifa düz uçuş bölümleri, geliş trafiklerinin aksine çok az sayıdadır. İncelenen 128 geliş trafiğinden 95 tanesinde en az bir tane düşük irtifa düz uçuş görülürken(%74'e takabül etmektedir), 120 kalkış trafiğinden 7 tanesi en az bir tane düz uçuş içermektedir(%6'ya takabül etmektedir). Ancak, tırmanma fazı uçağın en ağır olduğu fazdır ve yüksek itki ile tırmandığı için düşük irtifalarda düz uçuş gerçekleştirip tekrar tırmanmaya başlaması yakıt sarfiyatına sebep olacaktır. Bu sebeple, az sayıda da olsa tırmanma fazında gerçekleşen düz uçuş bölümlerinin sebep olduğu yakıt sarfiyatını ve yakıt sarfiyatına bağlı atmosfere atılan ekstra emisyon değerlerini hesaplayarak, geliş trafikleri ile kıyaslamak önemli sonuçlar verecektir.

3.2.2.1 AYT'den kalkış trafiklerinin düz uçuş bölümlerinin irtifa dağılımı ve düz uçuş süresi

AYT meydanından kalkan trafiklerin gerçekleştirdiği düz uçuş bölümlerinin irtifa ve süre ortalamaları Şekil 3.19'da sunulmuştur.



Şekil 3.19. AYT'den kalkış trafiklerinin gerçekleştirdiği düz uçuş bölümlerinin irtifa ve süreleri

Kalkış trafiklerinin düz uçuş gerçekleştirdiği, 11.000 ft, 17.000 ft ve 22.000 ft irtifalarının tesadüf olmadığı, havacılık enformasyon yayınında Antalya TMA içerisindeki sektörler için yayınlanmış ayırma noktaları olan 11.500 ft, 18.500 ft ve 24.500 ft irtifaları ile örtüştüğü görülmektedir. Bu durumda, meydana gelen düz uçuş bölümlerinin muhtemel sebebinin sektörler arası trafik devri esnasındaki gecikmeler olduğu söylenebilir.

3.2.2.1 AYT'den kalkışta gerçekleşen düz uçuş bölümlerinin zaman, yakıt ve emisyon analizi

Meydana gelen düz uçuş bölümlerinden 11.000 ft, 17.000 ft ve 22.000 ft irtifa düz uçuşlarından 60 sn üzerinde seyreden düz uçuş bölümlerinden bir tanesi alınmış ve bu düz uçuş bölümlerinin seyir irtifasında gerçekleşmesi durumunda sağlanacak zaman, özgül menzil, yakıt ve emisyon kazanç değerleri karşılaştırılmıştır. Zaman, yakıt ve SR karşılaştırma sonuçları Çizelge 3.4'te, emisyon değerleri ise Çizelge 3.5'te sunulmuştur.

Çizelge 3.4. *Düşük irtifa düz uçuşların uçuşun seyir fazında gerçekleşmesi durumunda oluşacak yakıt, zaman ve SR değişimi*

		Süre (sn)	SR (NM/kg yakıt)	Toplam Yakıt (kg)
11.000 ft	Düz uçuşta	123	0,124	91,7
(63 Ton)	Seyirde(24.000ft)	90,2	0,175	65,2
	Değişim	- %26,6	+%41,1	-%29
17.000 ft	Düz uçuşta	117	0,129	104,5
(61 Ton)	Seyirde(30.000ft)	109,1	0,159	85,1
	Değişim	- %6,74	+%23,2	-%18,5
22.000 ft	Düz uçuşta	91	0,149	75,7
(61 Ton)	Seyirde(34.000ft)	90	0,204	55,4
	Değişim	- %1,1	+%37,1	-%27

Çizelge 3.5. *Düşük irtifa düz uçuşların uçuşun seyir fazında gerçekleşmesi durumunda oluşacak emisyonların değişimi*

		CO ₂ (kg)	H ₂ O (kg)	HC (gr)	CO (gr)	NO _x (gr)
11.000 ft	Düz uçuşta	289,5	113,5	10	189	810,5
(63 Ton)	Seyirde(24.000ft)	206	81	6	107	689
	Değişim	-%29	-%29	-%39	-%43	-%14
17.000 ft	Düz uçuşta	330	129,5	6,65	114	1175
(61 Ton)	Seyirde(30.000ft)	269	105,8	6,67	116	932
	Değişim	-%18,5	-%18,5	+%0,2	+%2	-%20,7
22.000 ft	Düz uçuşta	239,5	94	5,5	92,5	862
(61 Ton)	Seyirde(34.000ft)	175	68,5	6,28	112,7	533,5
	Değişim	-%27	-%27	+%17	+%22	-%38

Tırmanma fazında sektör geçişlerinde meydana gelen düz uçuşlardan seçilerek incelenen düz uçuş bölümlerinin Çizelge 3.4’te sunulan süre, SR ve yakıt karşılaştırma sonuçlarına göre düşük irtifa düz uçuşlarının ciddi bir yakıt ve zaman tasarrufu sağlayacağı görülmektedir. Bu karşılaştırmalar içerisinde, 22.000 ft irtifada gerçekleşen düz uçuşun seyir fazında da yaklaşık aynı TAS değerinde uçtuğu anlaşılmaktadır. Çünkü zaman tasarrufu çok azdır. Aynı hızda uçmalarına rağmen seyir fazında uçağın 1 kg yakıt ile kat ettiği mesafede %37 oranında önemli bir kazanç sağlandığı

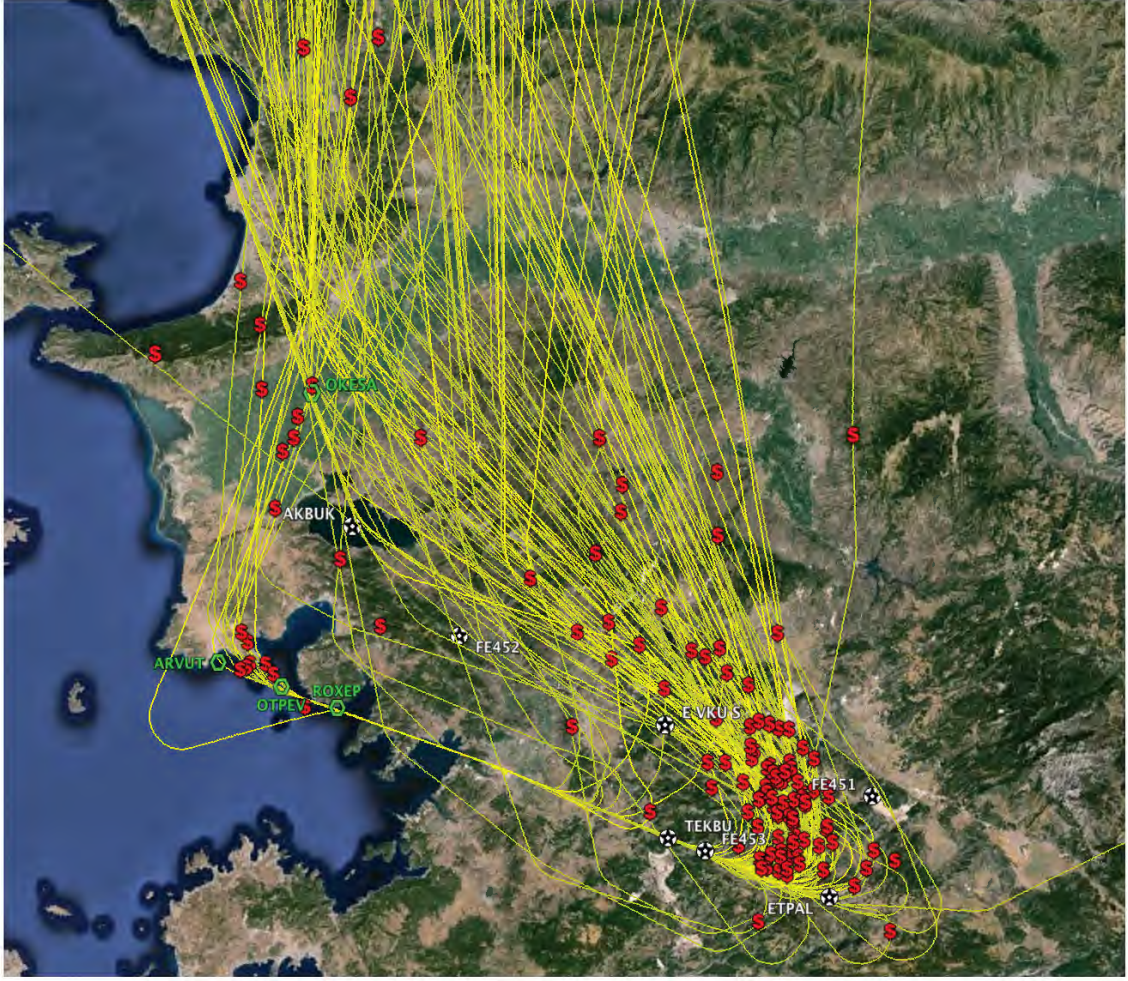
görülmektedir. Diğer taraftan aynı düz uçuş bölümünün emisyon değerlendirme sonuçlarında, CO₂ ve H₂O değerlerinin yakıt tasarrufu ile lineer değişmesi sebebi ile aynı oranda tasarruf sağlandığı; HC ve CO emisyon değerlerinde artış yaşanırken NO_x emisyonunda azalma gözlenmiştir. HC ve CO emisyonlarının seyir irtifasında artmasının sebebi, birim mesafenin seyir ve düşük irtifada yaklaşık aynı sürede kat edilmesi ve yakıt akış değerinin düşük olduğu seyir irtifasında, yakıt akışının azalması ile artan HC ve CO emisyon indekslerinin yüksek olmasındandır. NO_x emisyonunda azalma gerçekleşmesinin sebebi ise , birim mesafenin seyir ve düşük irtifada yaklaşık aynı sürede kat edilmesi ve yakıt akış değerinin düşük olduğu seyir irtifasında, yakıt akışının azalması ile azalan NO_x emisyon indeksinin düşük olmasından kaynaklanmaktadır.

3.3. Muğla Milas/Bodrum Havalimanı

Türkiye'nin Ege Bölgesindeki en yoğun meydanlarından biri olan Muğla Milas/Bodrum Havalimanı (ICAO kodu: LTFE, IATA kodu: BJV), 37° 14' 50'' N - 27° 40' 53'' E koordinatlarında, Muğla ili sınırları içinde, Milas'a 18 km ve Bodrum'a 35 km mesafede, 6,45 m rakıma sahip bir uluslararası havalimanıdır. 10/28 konfigürasyonunda tek pist bulunan havalimanında, 2014 istatistiklerine göre 20.036 iç hat trafiği ve 13.937 dış hat trafiği olmak üzere toplam 33.973 uçak trafiği gerçekleşmiştir [32]. Milas-Bodrum Havalimanı'na geliş ve kalkış operasyonlarının dikey profil analizi için Temmuz 2015 ve Ağustos 2015 aylarına ait 146 geliş trafiği, Ağustos ayına ait 100 kalkış trafiği incelenmiştir. İncelenen trafiklerin tamamı SAW-BJV meydanları arasında gerçekleştirilen uçuşlardır.

3.3.1. BJV havalimanı geliş trafiği analizi

Bodrum-Milas Havalimanı'na gelen 146 trafiğin 15 tanesi 10 pistine, 131 tanesi ise 28 pistine iniş gerçekleştirmiştir. SAW meydanından gelen trafiklerin 10/28 pistine alçalma ve yaklaşma fazında izledikleri rota ve alçalma esnasında meydana gelen düz uçuş bölümlerinin başlangıç noktalarının kırmızı olarak işaretlendiği görüntü Şekil 3.20'de gösterilmiştir.



Şekil 3.20. BJV meydanına geliş trafiklerinin izlediği rotanın plan görünümü ve düşük irtifa düz uçuşların başlama noktaları

BJV meydanı 10 pisti için yayınlanan RNAV(GNSS) STAR Ek-11'de, 28 pisti için yayınlanan RNAV(GNSS) STAR Ek-12'de sunulmuştur. Milas-Bodrum Havalimanı'na geliş trafikleri için yayınlanmış kapalı RNAV(GNSS) STAR bulunmaktadır. Kapalı STAR, uçağı yaklaşacağı pistin son yaklaşma fişine kadar getirmektedir. Açık STAR uygulamasında olduğu gibi uçağın son yaklaşma hattına dönüş için kontrolörden vektör talimatı bekleme ihtiyacı yoktur.

SAW meydanından BJV havalimanına geliş trafiklerinden 10 pistine inen uçakların OKESA yol noktasından girip OKESA 1F yolunu takip ederek; 28 pistine inen uçakların ise AKBUK noktasından girip AKBUK 1J yolunu takip ederek iniş gerçekleştirmesi beklenmektedir. Ancak, Şekil 3.18'de *gpsvisualizer* uygulaması ile *google earth* üzerine çizilen trafiklerin geliş rotalarına bakıldığında, büyük bir kısmının yayınlanan RNAV STAR rotaları ile örtüşmediği görülmektedir. Yayınlanan RNAV STAR rotalar yerine, geliş uçaklarına AIP'de Milas TMA için yayınlanmış olan

minimum radar vektör irtifası (MRVA: Minimum Radar Vectoring Altitude) haritasında (EK-17) bulunan gereklilikler kapsamında radar vektör tekniği uygulandığı anlaşılmaktadır.

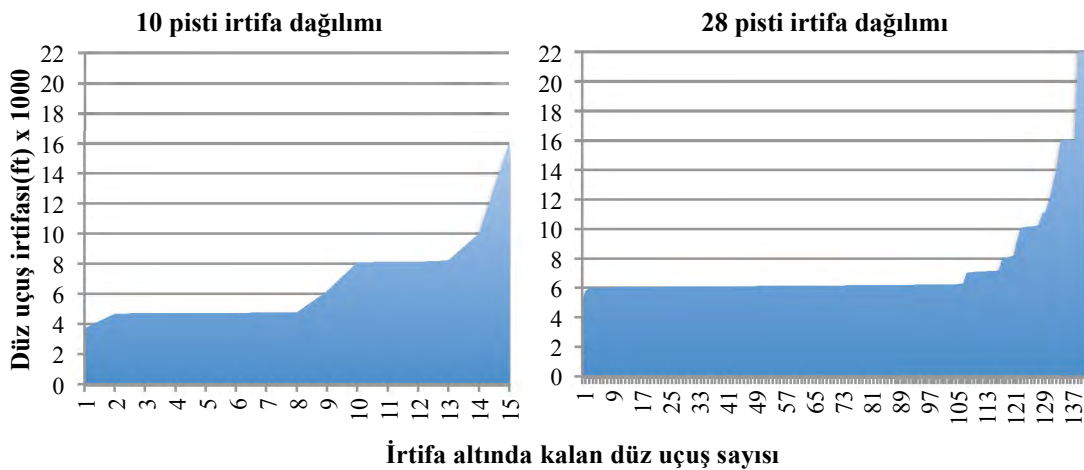
3.3.1.1 BJV'ye geliş trafiklerinin düz uçuş bölümlerinin irtifa dağılımı

BJV meydanına iniş gerçekleştiren toplam 146 trafiğin 117 tanesinde alçalma sırasında düz uçuş meydana gelmiştir. Bazı uçuşlarda alçalma esnasında birden fazla düz uçuş bölümü oluşmasından dolayı 117 trafikte toplam 156 tane düz uçuş bölümü oluşmuştur. Alçalma esnasında düz uçuş meydana gelen trafiklerin iniş pistine göre dağılımı Çizelge 3.6'da sunulmuştur.

Çizelge 3.6. Düz uçuş meydana gelen trafiklerin piste göre dağılımı

	Toplam Trafik Sayısı	Düz Uçuş İçeren Trafik Sayısı	Toplam Düz Uçuş Sayısı
10	15	10	15
28	131	107	141
Toplam	146	117	156

BJV meydanına gelen trafiklerin gerçekleştirdikleri düşük irtifa düz uçuş bölümlerinin irtifa dağılımını gösteren grafik Şekil 3.21'de sunulmuştur.



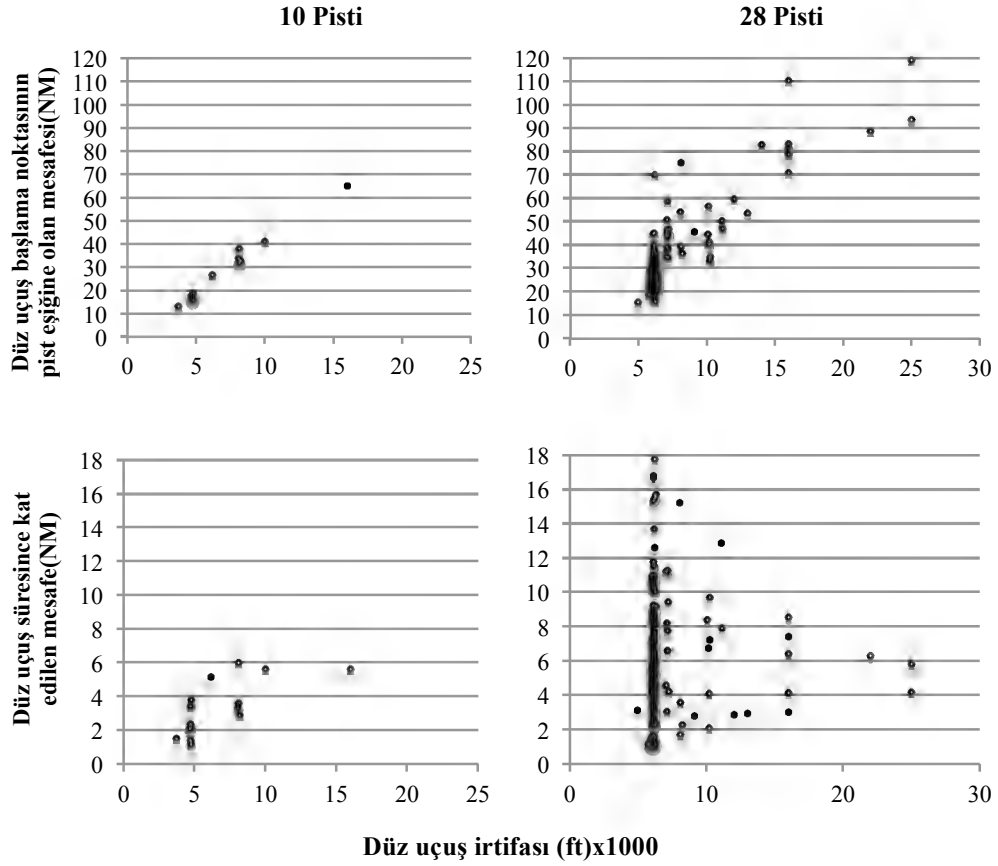
Şekil 3.21. 10 ve 28 pistine gelişte gerçekleşen düz uçuşların irtifa dağılımı

10 pistine geliş trafiklerinin izledikleri rotanın, OKESA 1F yol rotası ile uyduğu ancak OKESA 1F yolunun gereklilikleri ile örtüşmediği görülmektedir. Bu durum kontrolörlerin geliş trafiklerine MRVA irtifalarını kullanarak radar vektör tekniği ile uçakları getirdiklerini göstermektedir. OKESA 1F yolundan gelen uçakların, ARVUT WP'de 5.000 ft, OTPEV WP'de 4.000 ft ve son yaklaşma noktası olan ROXEP WP'de 3.600 ft irtifada olmaları şartı bulunmaktadır. Ancak meydana gelen düşük irtifa düz uçuş bölümlerinin en fazla 4.700 ft ve 8.000 ft irtifada gerçekleştiği görülmektedir. Son yaklaşıma dönüşlerde gerçekleşen 4.700 ft düz uçuşları ve 8.000 ft irtifada gerçekleşen düz uçuş bölümleri MRVA haritası ile örtüşmektedir.

28 pistine geliş trafiklerinin izledikleri rota, RNAV STAR haritasında yayınlanan AKBUK 1J yol rotası ve AKBUK 1J yol gereklilikleri ile uyuşmamaktadır. 28 pistine geliş trafiklerinin büyük bir bölümünün düz uçuş gerçekleştirdikleri irtifa 6.000 ft ile 7.000 ft irtifaları arasındadır. Bu iki irtifa aralığında gerçekleşen 117 düz uçuş bölümü, toplam düz uçuş sayısının %83'ünü oluşturmaktadır. Büyük çoğunluğu yaklaşma hattına dönüş öncesinde ve yaklaşma hattına döndükten sonra ILS hattını tutturmak için gerçekleştirilen düşük irtifa düz uçuş bölümlerinin MRVA gereklilikleri ile birebir örtüştüğü görülmektedir.

3.3.1.2 BJV'ye geliş trafiklerinin düz uçuş bölümlerinin yatay mesafesi ve pist eşiğinden olan uzaklıkları

BJV meydanına gelen uçakların alçalmaları esnasında meydana gelen düz uçuş bölümlerinin pist eşiğine olan uzaklıkları ve düz uçuş bölümü süresince kat edilen mesafeler aşağıda Şekil 3.22'de sunulmuştur.



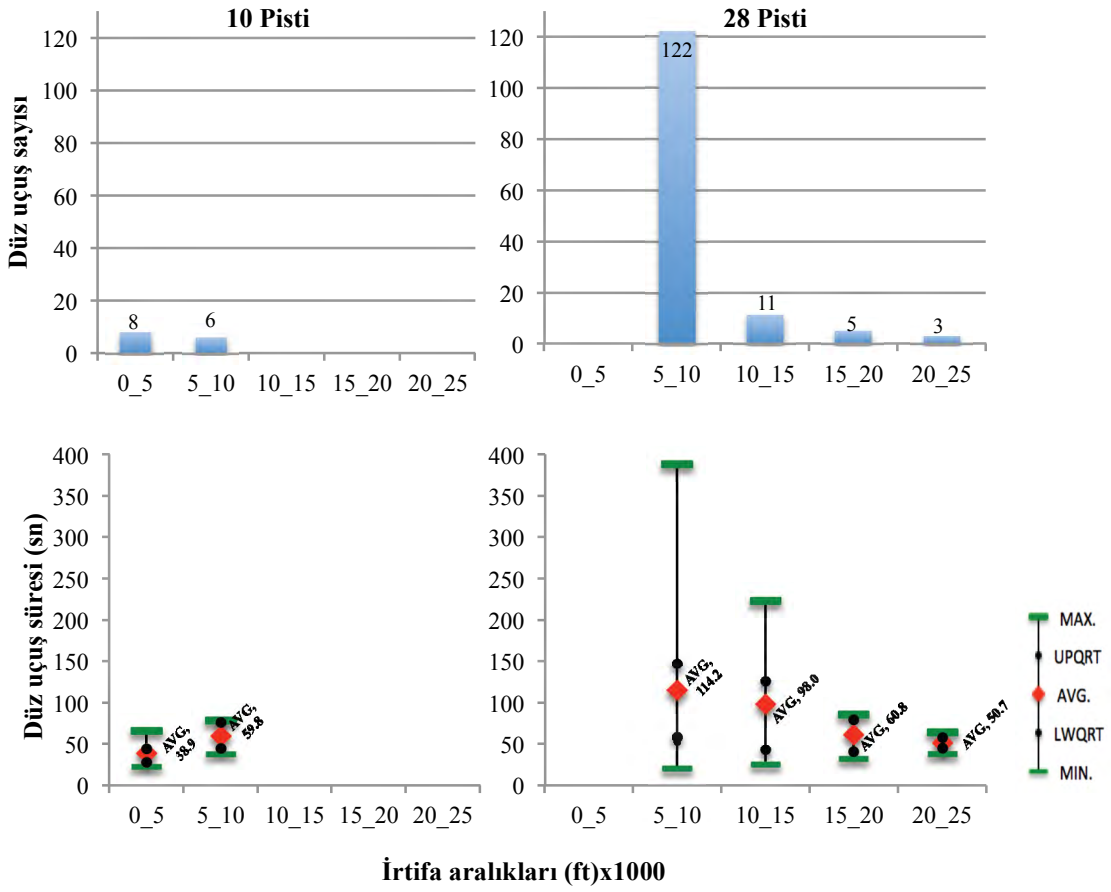
Şekil 3.22. Düz uçuş bölümlerinin başlangıç noktalarının pist eşiğine olan mesafeleri ve düz uçuş süresince kat edilen mesafeler

10 pistine gelen uçakların alçalma sırasında gerçekleştirdikleri düz uçuş bölümlerinin büyük çoğunluğu pist eşiğinden 15-35 NM aralığında değişen uzaklıkta, 1- 4 NM aralığında değişen yatay mesafe aralığında gerçekleştiği görülmektedir.

28 pistine gelen uçakların alçalma sırasında gerçekleştirdikleri düz uçuş bölümlerinin pist eşiğinden uzaklıklarının en fazla 15-40 NM arasında olduğu görülmektedir. Düz uçuş süresince kat edilen yatay mesafe aralığı oldukça geniş olan düz uçuş bölümleri, 1-18 NM aralığında değişmektedir.

3.3.1.3 BJV'ye gelişte gerçekleşen düz uçuş bölümlerinin ortalama süreleri

BJV meydanına iniş sırasında irtifa aralıklarında gerçekleşen düz uçuş bölümlerinin sayısını, maksimum ve minimum düz uçuş süresini, üst çeyrek ve alt çeyrek noktaları ile ortalama düz uçuş süresini gösteren grafik Şekil 3.23'te sunulmuştur.

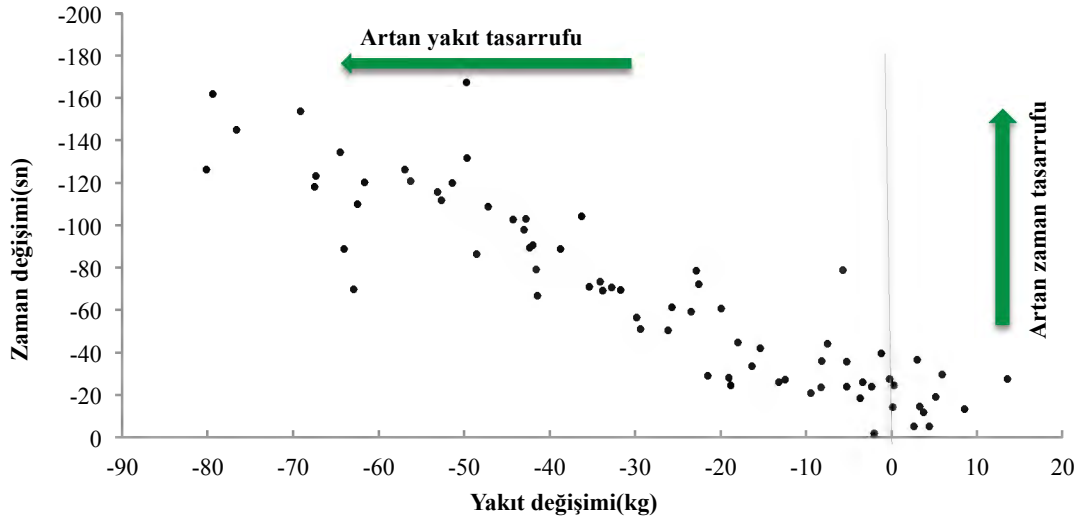


Şekil 3.23. 10 ve 28 pistine gelişte irtifa aralıklarında gerçekleşen düz uçuş sayısı ve ortalama düz uçuş süreleri (İrtifa aralıkları 0-5.000 ft, 5.001-10.000 ft, 10.001-15.000 ft, 15.001-20.000 ft ve 20.001-25.000 ft olarak alınmıştır.)

BJV meydanında geliş trafiğinin gerçekleştirdikleri düz uçuş bölümlerinin ortalama sürelerini bulmak için irtifa aralıkları kullanılmıştır. 10 pistine az sayıda gerçekleşen geliş trafiğinin gerçekleştirdikleri 14 adet düz uçuş bölümünün 8 tanesinin 0-5.000 ft irtifa aralığında, 6 tanesinin ise 5.001-10.000 ft arasında gerçekleştiği ve ortalama düz uçuş sürelerinin 38,9 sn ve 59,8 sn olduğu görülmektedir. 28 pistine geliş sırasında meydana gelen düz uçuş bölümlerinin ise en fazla 5.001-10.000 ft irtifa arasında meydana geldiği ve ortalama 114,2 sn olduğu görülmektedir. 5.001-10.000 ft arasındaki düz uçuşların %75'i 146 sn ve altında meydana gelmiş, %25'i ise 57 sn ve altında meydana gelmiştir.

3.1.1.4 BJV'ye geliŖte gerekleŖen düz uuŖ bölümlerinin Zaman, yakıt ve emisyon analizi

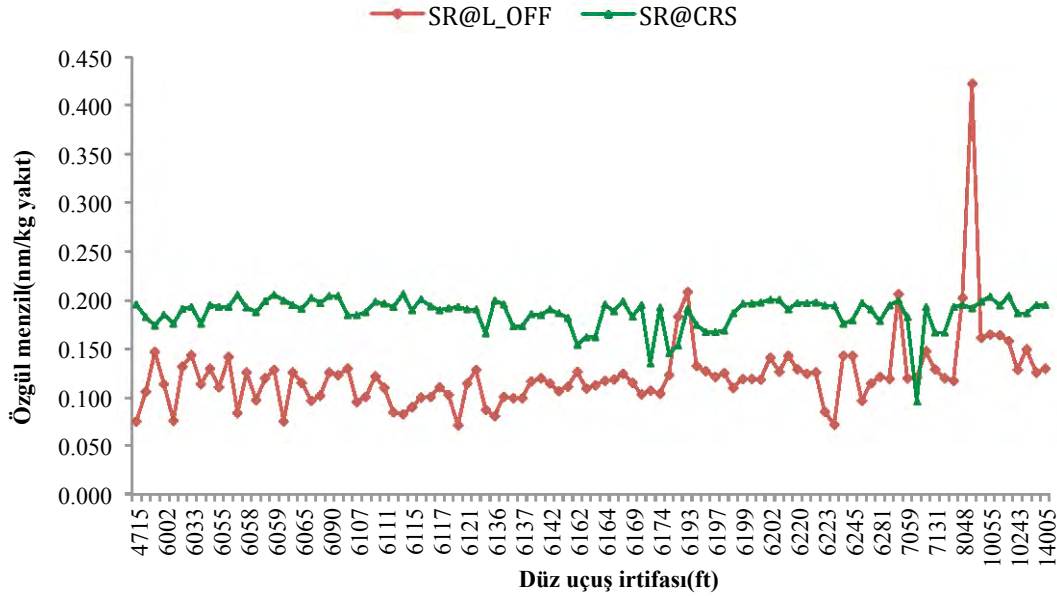
Zaman, yakıt ve emisyon analizinin gerekleŖtirilmesi için, BJV meydanına geliŖ trafiklerinden 117 tanesinde meydana gelen 146 adet düz uuŖ bölümüne 60 sn süre filtrelemesi uygulanması sonucu, düz uuŖ bölümü %26 oranında azalmıŖ ve 108 adet düz uuŖ bölümü kalmıŖtır. Filtrelenen dŖk irtifa düz uuŖ bölümlerinin her birinin uuŖun kendi seyir irtifasında gerekleŖmesi sonucunda elde edilen yakıt ve zaman tasarrufları aŖağıda Ŗekil 3.24'te sunulmuŖtur.



Ŗekil 3.24. DŖk irtifa düz uuŖların uuŖun seyir fazında gerekleŖmesi durumunda oluŖacak yakıt ve zaman deėiŖimi

Ŗekil 3.24'te sunulan yakıt-zaman deėiŖim grafiği, dŖk irtifa düz uuŖ bölümlerinin seyir irtifasında gerekleŖmesi durumunda, her bir uuŖta zaman tasarrufu sağlanacağını göstermektedir ve düz uuŖ baŖına ortalama zaman tasarrufu değeri 65,1 sn olarak hesaplanmıŖtır. Diğer taraftan, yakıt tüketimindeki deėiŖimin tüm düz uuŖ bölümleri için olumlu sonuçlanmadığı görülmektedir. Toplamda düz uuŖ baŖına ortalama 27 kg yakıt tasarrufu sağlanması potansiyeli ıkmıŖtır. Her bir düz uuŖ bölümünün seyir irtifasında gerekleŖmesi durumunda sürenin kısılmasına rağmen 108 düz uuŖtan 11 tanesinde seyir fazında daha fazla yakıt tketilmiŖtir. Hem zaman hem de yakıt tasarrufu sağlanan 97 düz uuŖ bölümünde ise, düz uuŖ baŖına ortalama 28,9 kg yakıt tasarrufu sağlandığı görülmektedir.

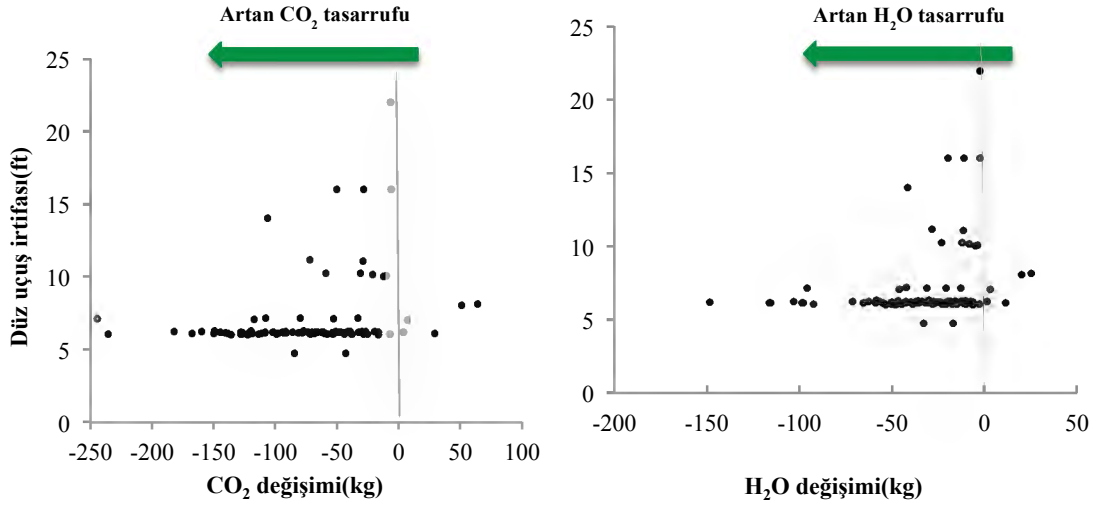
Düz uçuş bölümlerinin tümünde sürenin kısılmasına rağmen kimi uçuşlarda yakıt tasarrufunun sağlanamamasını açıklamak için kullanılacak özgül menzil, düşük irtifa düz uçuş bölümleri için ve düz uçuşun seyir fazı için Şekil 3.25'te sunulmuştur.



Şekil 3.25. Düşük irtifa düz uçuşta ve seyir irtifasında özgül menzil (SR@L_OFF:düşük irtifada özgül menzil, SR@CRS:seyir irtifasında özgül menzil)

Düşük irtifalarda 1 kg yakıt ile kat edilen mesafenin yüksek irtifalarda 1 kg yakıt ile kat edilen mesafeden daha az olduğu Şekil 3.25'te de ortaya çıkmaktadır. Ancak, bazı düşük irtifa düz uçuş bölümlerinin SR değerleri, seyir irtifasının SR değerlerinden yüksek çıkmıştır. Bu düz uçuş bölümleri beklendiği üzere yakıt sarfiyatına neden olmuştur.

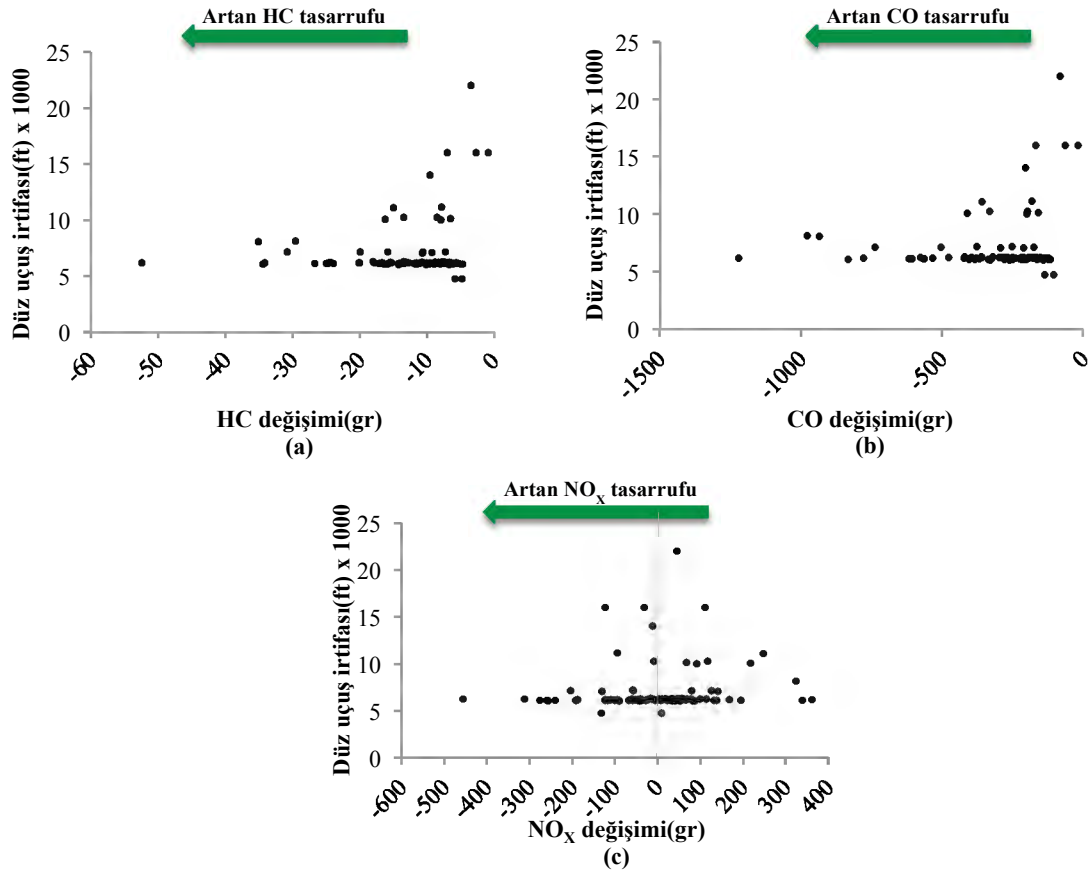
Düşük irtifa düz uçuş bölümlerinde meydana gelen ve yakıt tüketimine doğrudan bağlı olan CO₂ ve H₂O emisyonlarının sonuçları şekil 3.26'da sunulmuştur.



Şekil 3.26. *Düşük irtifa düz uçuşların uçuşun seyir fazında gerçekleşmesi durumunda oluşacak CO₂ ve H₂O emisyonlarının değişimi*

Yakıt tüketimi ile lineer değişen CO₂ ve H₂O emisyonlarının değişim grafiği yakıt-zaman grafiği ile benzerlik göstermektedir. Bu sebeple bazı düz uçuş bölümlerinde yakıt sarfiyatı olmasına rağmen, CO₂ değişim grafiği düz uçuş başına ortalama 85,15 kg CO₂ tasarrufu, H₂O değişim grafiği düz uçuş başına ortalama 33,37 kg H₂O tasarrufu sağlanması potansiyelini göstermektedir.

Analizi gerçekleştirilen CO, HC ve NO_x emisyonları, CO₂ ve H₂O emisyonlarının aksine atmosferik koşullardan, itkidenden, hızdan ve uçuş fazından etkilenmektedir ve düşük irtifa düz uçuş bölümlerinin seyir irtifasında gerçekleştirilmesi durumunda farklı dağılımlar göstermektedir(Şekil 3.27’de sunulmuştur.).



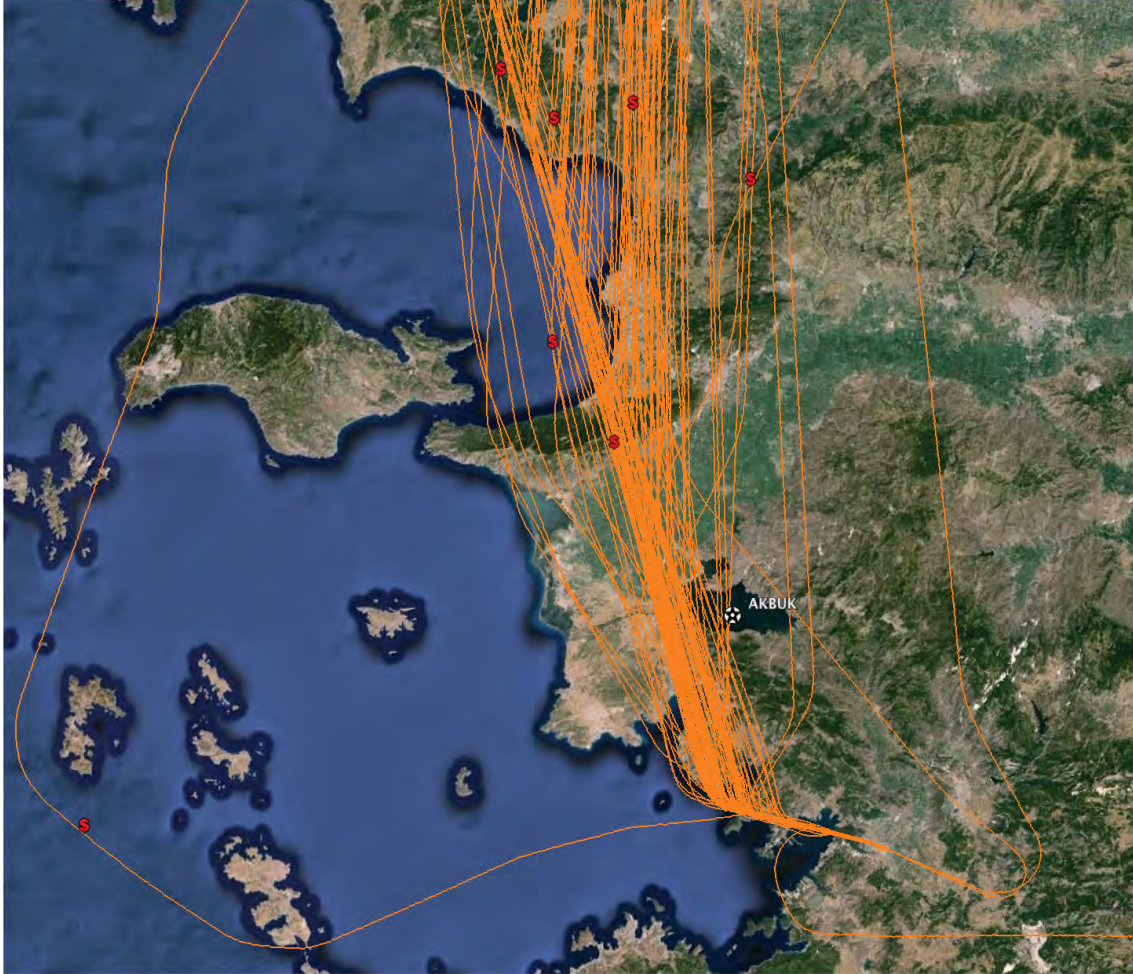
Şekil 3.27. *Düşük irtifa düz uçuşların uçuşun seyir fazında gerçekleşmesi durumunda oluşacak HC, CO ve NO_x emisyonlarının değişimi*

Şekil 3.27.a ve Şekil 3.27.b’de görüldüğü üzere hem HC ve CO emisyon indeksinin küçülmesi hem de düz uçuş bölümünün süresinin kısılması, HC ve CO emisyon miktarında azalma sağlamıştır. 97 düz uçuş bölümünün seyir irtifasında gerçekleşmesi senaryosunda düz uçuş başına ortalama 12,65 gr HC ve 301,5 gr CO daha az emisyonun atmosfere atılması durumu ortaya çıkmıştır.

Şekil 3.27.c’de görülen NO_x dağılım grafiği, yakıt-zaman ve diğer emisyonların dağılım grafiklerinden farklı bir dağılım göstermektedir. 97 düz uçuş bölümünün seyir fazında gerçekleşmesi durumunda yarısından fazlasının daha fazla NO_x emisyonunun atmosfere salınmasına neden olacağını göstermektedir. Toplamda ise düz uçuş başına 6,7 gr daha az NO_x emisyonunun atmosfere atılacağı sonucu çıkmıştır.

3.3.2. BJV havalimanı kalkış trafiği analizi

Milas-Bodrum Havalimanı'ndan kalkış yapan 100 trafiğin 2 tanesi 10 pistinden ve 98 tanesi 28 pistinden kalkış gerçekleştirmiştir. SAW meydanına varış için kalkan trafiklerin yol safhasına dahil olana kadar tırmanma fazında izledikleri rotanın plan görünümü ve meydana gelen düz uçuş bölümlerinin başlangıç noktaları Şekil 3.28'de gösterilmiştir.



Şekil 3.28. BJV meydanından kalkan trafiklerinin izlediği rotanın plan görünümü

BJV meydanı 10 ve 28 pisti için yayınlanan RNAV(GNSS) SID haritaları sırasıyla Ek-13 ve Ek-14'te; geleneksel SID haritaları sırası ile EK-15 ve EK-16'da sunulmuştur. AIP'de 28 pisti için yayınlanmış geleneksel SID ve RNAV SID rotaları incelenerek, kalkış trafiklerinin izlediği rotalar ile karşılaştırılmıştır. Uçuş rotalarının yayınlanmış RNAV SID gerekliliklerinin örtüştüğü görülmektedir. Yayınlanmış olan RNAV SID yollarının tümünde 2.400 ft'e kadar en az %4 (245ft/NM) tırmanma gradyeni zorunluluğu vardır. SAW meydanı için kalkış yapan uçakların AKBUK 1V

yolunu izleyerek AKBUK noktasından yola dahil olduğu anlaşılmaktadır. AKBUK 1V yol şartlarında ise 2.400 ft'e kadar minimum %4 tırmanma gradyeni ile tırmandıktan sonra AKBUK noktasına yönelerek yol safhasına dahil olma şartı bulunmaktadır. Kalkış trafiklerinin rotaları incelendiğinde pist eşiğinden 8 NM ile 14 NM arasında değişen mesafeden sonra yol safhasına direk kat edişlerin olduğu görülmektedir. Kalkış trafiklerinin bazıları rastgele seçilerek FDR kayıtları incelenmiştir ve ortalama 5.000 ft irtifadan sonra uçakların AKBUK noktasına doğru dönüşe başladıkları anlaşılmıştır.

Kalkış trafiklerinin düz uçuş bölümü analizinde, 100 kalkış trafiğinden yalnızca 6 tanesinde toplam 6 tane düşük irtifa düz uçuş bölümü bulunmuştur. Bu düz uçuş bölümlerinin tamamı 28 pistinden kalkan trafiklerde meydana gelmiştir.

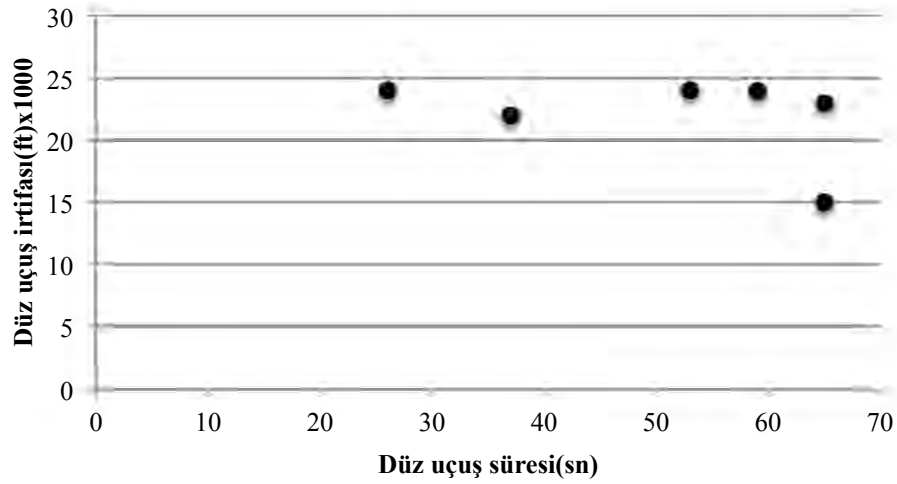
Çizelge 3.7. Düz uçuş meydana gelen trafiklerin piste göre dağılımı

	Toplam Trafik Sayısı	Düz Uçuş İçeren Trafik Sayısı	Toplam Düz Uçuş Sayısı
10	2	0	0
28	98	6	6
Toplam	100	6	6

BJV meydanından kalkış trafiklerinin tırmanma esnasında gerçekleştirdikleri düşük irtifa düz uçuş bölümleri, geliş trafiklerinin aksine çok az sayıdadır. İncelenen 146 geliş trafiğinden 117 tanesinde en az bir tane düşük irtifa düz uçuş görülürken(%80'e takabül etmektedir), 100 kalkış trafiğinden 6 tanesi en az bir tane düz uçuş içermektedir(%6'ya takabül etmektedir).

3.3.2.1 BJV'den kalkış trafiklerinin düz uçuş bölümlerinin irtifa dağılımı ve düz uçuş süresi

BJV meydanından kalkan trafiklerin gerçekleştirdiği düz uçuş bölümlerinin irtifa ve süre ortalamaları Şekil 3.29'da sunulmuştur.



Şekil 3.29. *BJV'den kalkış trafiklerinin gerçekleştirdiği düz uçuş bölümlerinin irtifa ve süreleri*

Kalkış trafiklerinin düz uçuş gerçekleştirdiği irtifalardan birisi hariç diğerleri 24.000 ft ve yakın bir seviyededir. Düz uçuş bölümlerinin gerçekleştirdiği bu irtifalarının AIP'de Milas TMA içerisindeki üst sektör için yayınlanmış ayırma noktası olan 24.500 ft irtifasından önce meydana geldiği görülmektedir. Antalya meydanında olduğu gibi, Milas-Bodrum Havalimanı'ndan kalkış trafiklerinin bazılarının yola devrolmadan önce sektörler arası koordinasyon esnasında düz uçuş gerçekleştirmiş olması ihtimali yüksek görünmektedir.

3.3.2.1 BJV'den kalkış trafiklerinin düz uçuş bölümlerinin zaman, yakıt ve emisyon analizi

Milas yaklaşma üst sektöründen yol safhasına devir sırasında gerçekleşmiş olması muhtemel olan 24.000 ft irtifa düz uçuşlarından 59 sn süren düz uçuş bölümü alınmış ve bu düz uçuş bölümünün seyir irtifasında gerçekleşmesi durumunda sağlanacak zaman, özgül menzil, yakıt ve emisyon kazanç değerleri karşılaştırılmıştır. Zaman, yakıt ve SR karşılaştırma sonuçları Çizelge 3.8'de, emisyon değerleri ise Çizelge 3.9'da sunulmuştur.

Çizelge 3.8. *Düşük irtifa düz uçuşların uçuşun seyir fazında gerçekleşmesi durumunda oluşacak yakıt, zaman ve SR değişimi*

		Süre (sn)	SR (NM/kg yakıt)	Toplam Yakıt(kg)
24.000 ft	Düz uçuşta	59	0,139	41,5
(61 Ton)	Seyirde(34.000ft)	56	0,203	34
	Değişim	- %5	+%46	-%18

Çizelge 3.9. *Düşük irtifa düz uçuşların uçuşun seyir fazında gerçekleşmesi durumunda oluşacak emisyonların değişimi*

		CO ₂ (kg)	H ₂ O (kg)	HC (gr)	CO (gr)	NO _x (gr)
24.000 ft	Düz uçuşta	131,5	51,5	4,33	79,3	419
(61 Ton)	Seyirde(34.000ft)	107,5	42	4,65	87,5	315
	Değişim	-%18	-%18	+%7	+%10	-%25

Analiz için seçilen düz uçuşun, seyir irtifasındaki TAS hızı ile yaklaşık aynı olduğu görülmektedir. Yaklaşık aynı atmosfer koşullarında, aynı hızda ve aynı ağırlıkta ancak farklı irtifada gerçekleşen iki düz uçuşu karşılaştırmak irtifa etkisini görmek için faydalı olacaktır. 24.000 ft irtifa yerine 34.000 ft seyir irtifasında gerçekleşecek bir düz uçuşta özgül menzili %46 oranında arttığı ve harcanan yakıtın %18 azaldığı görülmektedir. Seyir irtifasındaki özgül menzilin daha yüksek olması, yakıt akışının seyir fazında daha düşük olduğunu göstermektedir. Seyir fazında azalan yakıt akışına bağlı olarak, yakıt akışı ile ters orantılı olan HC ve CO emisyonları %7 ve %10 artarken; yakıt akışı ile lineer değişen CO₂, H₂O ve NO_x emisyonları sırası ile %18, %18 ve %25 azalmıştır.

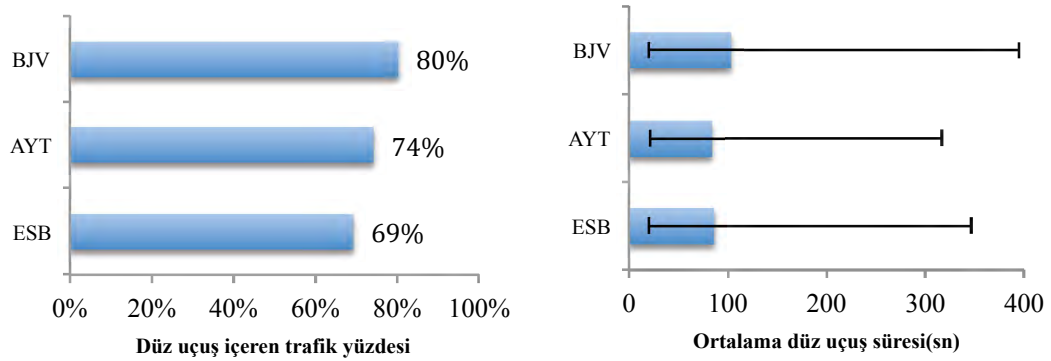
3.4. Havalimanlarının Karşılaştırılması

Geliş ve kalkış trafikleri incelenen ESB, AYT ve BJV meydanlarının sonuçları bu bölümde ele alınmıştır.

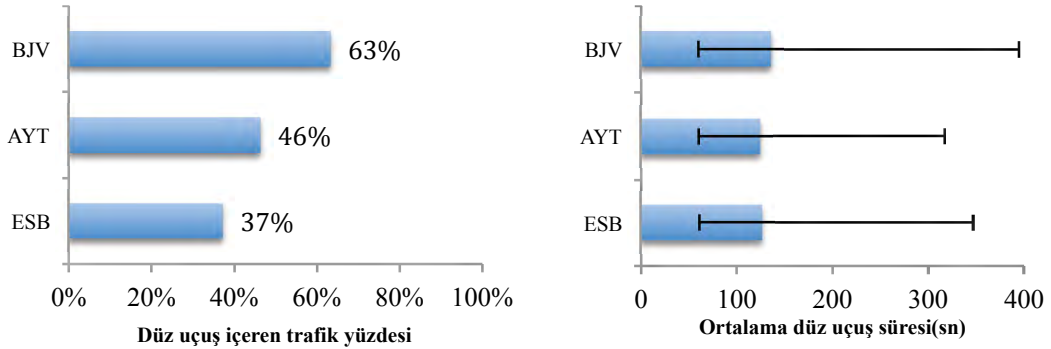
3.4.1. Geliş trafiklerinin karşılaştırılması

Geliş trafikleri incelenen meydanlar arasındaki karşılaştırmaya, geliş trafiklerinin yüzde kaçında düz uçuş bölümü meydana geldiği ve meydana gelen düz uçuş

bölümlerinin ortalama sürelerinin kıyaslanması ile başlanmıştır. Ancak, düşük irtifa uçuş bölümlerinin seyir irtifasına çekilmesi ile elde edilecek potansiyel fayda analizinde zaman, yakıt ve emisyon analizi için minimum 60 sn sınırı konulduğu için ESB, AYT ve BJV havalimanlarına SAW meydanından gelen trafiklerin yüzde kaçının düz uçuş içerdiğini ve ortalama düz uçuş süresini gösteren iki farklı grafik sunulmuştur(Şekil 3.30'da sunulmuştur.).



a) 20 sn ve üzeri düz uçuş içeren trafiklerin toplam trafikteki yüzdesi ve ortalama süresi



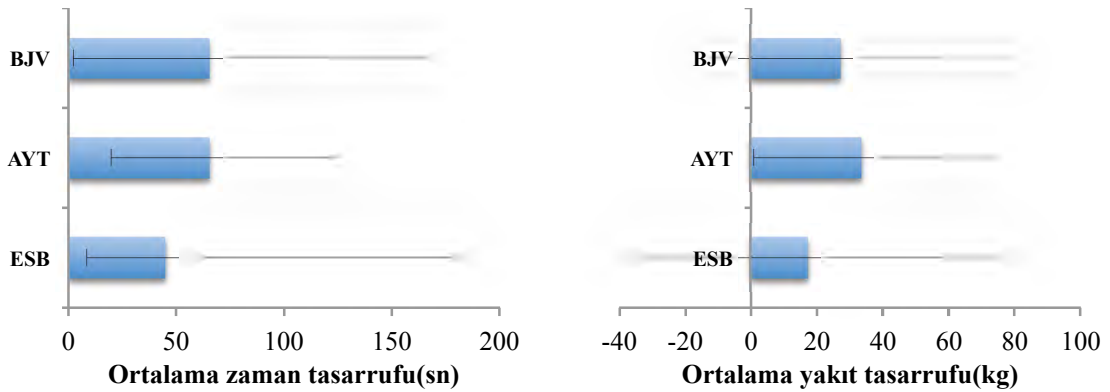
b) 60 sn ve üzeri düz uçuş içeren trafiklerin toplam trafikteki yüzdesi ve ortalama süresi

Şekil 3.30. Düz uçuş süresinin en az 20 sn ve en az 60 sn koşullarında, düz uçuş içeren trafiklerin toplam trafikteki yüzdelik payı ve ortalama düz uçuş süresi

Şekil 4.1'de bulunan grafiklerden anlaşılaçağı üzere, geliş trafiklerinde en fazla düz uçuş görülen ve ortalama düz uçuş süresi en uzun olan meydan BJV meydanıdır. AYT ve ESB meydanına geliş trafiklerinden düz uçuş içeren trafiklerin toplam trafikteki yüzdesi ve düz uçuş bölümlerinin ortalama süresi yakın çıkmıştır. Minimum düz uçuş süresi 60 sn olarak alındığında, BJV meydanına geliş trafiklerinin içerdiği düz uçuş bölümü %80'den %63'e düşen BJV meydanı, en az değişimi göstermiş ve yine geliş trafikleri en fazla düz uçuşa maruz kalan havalimanı çıkmıştır. Bunun yanı sıra 60

sn alt sınırı sonrası, BJV meydanına geliş trafiklerinin ortalama düz uçuş süresi 102,4 sn'den 135,2 sn'ye çıkmıştır ancak, 20 sn düz uçuş ortalaması ile fark en az olan meydan çıkmıştır. Bu durum BJV meydanındaki düz uçuş bölümlerinin uzun süreli olduklarını göstermektedir. AYT ve ESB meydanlarında ise 60 sn alt sınırı düz uçuştan etkilenen trafik sayısını ciddi oranda azaltmıştır ve en fazla düşüş ESB meydanında %69'dan % 37'ye düşüş ile olmuştur. 60 sn filtrelemesi sonrası AYT ve ESB meydanına geliş trafiklerinin ortalama düz uçuş süreleri, BJV meydanına göre daha fazla artmıştır. Bu durum AYT ve ESB meydanlarına geliş trafiklerinin daha fazla kısa süreli düz uçuş gerçekleştirdiklerini göstermektedir.

Düşük irtifa düz uçuşların seyir irtifasında gerçekleşmesi senaryosunda elde edilecek zaman, yakıt ve emisyon fayda analizi 60 sn ve daha fazla süren düz uçuş bölümleri için yapılmıştır. Yapılan analizler sonucunda ESB, AYT ve BJV meydanına geliş trafiklerinde sağlanacak potansiyel fayda analizi sonuçlarından ortalama zaman ve yakıt tasarrufu karşılaştırma grafikleri Şekil 3.31'de sunulmuştur.

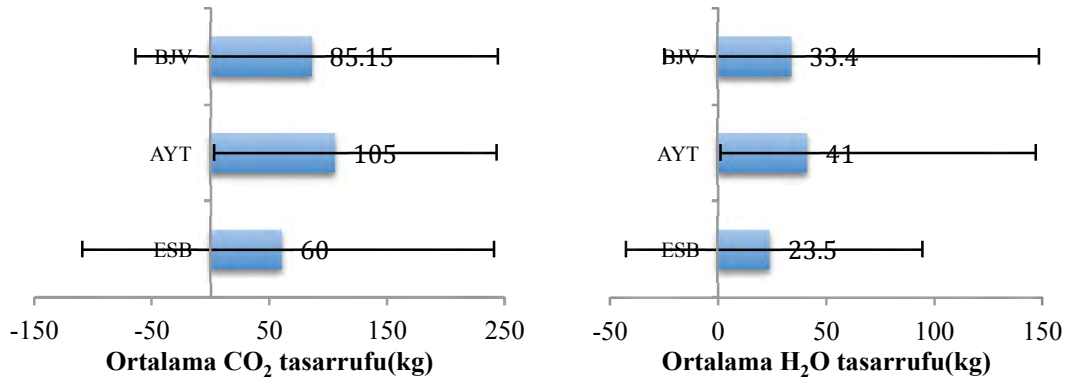


Şekil 3.31. ESB, AYT ve BJV meydanlarının ortalama zaman ve yakıt tasarruf değerleri

Şekil 3.31'de bulunan zaman tasarruf grafiği, BJV ve AYT meydanlarında düz uçuş başına ortalama zaman tasarruf değerlerinin aynı ve 65 sn olduğunu, ESB meydanında ise BJV ve AYT meydanlarına göre daha az ve 45 sn olduğunu göstermektedir. Şekil 4.2'de bulunan düz uçuş başına ortalama yakıt tasarrufunu gösteren grafik ise en fazla tasarruf potansiyelinin sırası ile AYT (33,4 kg), BJV (27 kg) ve ESB (17 kg) meydanlarında olduğunu göstermektedir. AYT ve BJV meydanlarında düz uçuş başına zaman tasarrufu aynı çıkmasına rağmen, düz uçuş başına yakıt tasarrufunun AYT meydanında daha fazla olduğu görülmektedir. Bu durumun

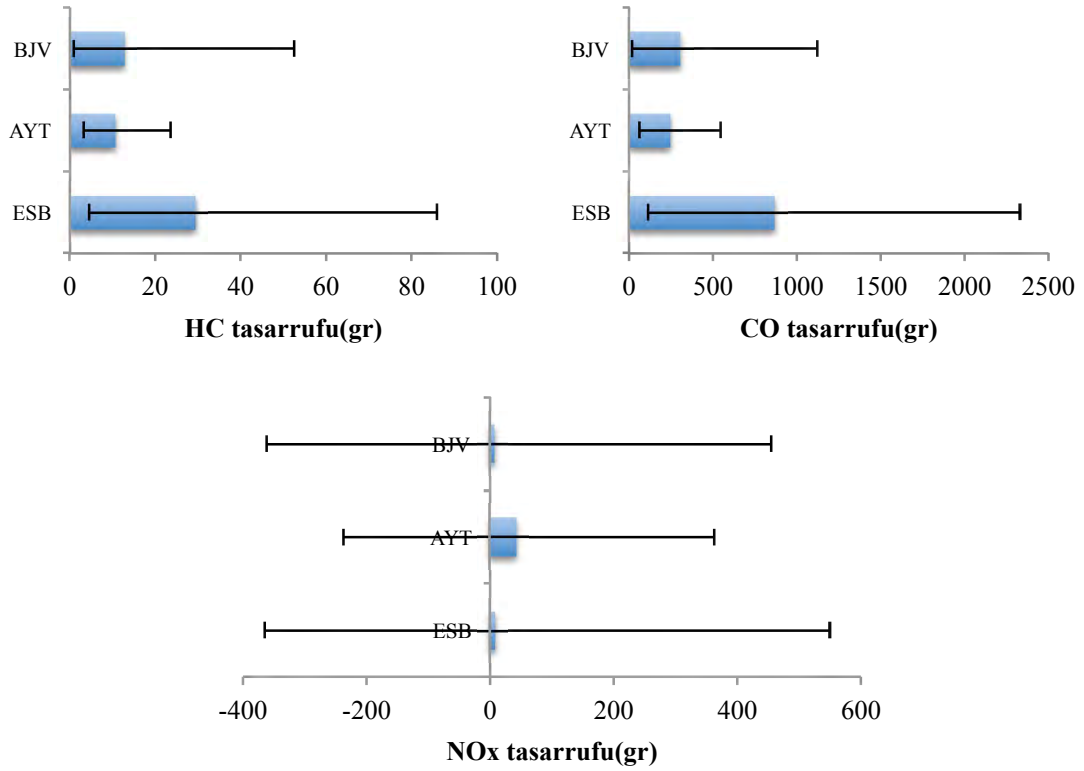
muhtemel sebebi AYT meydanına geliş trafiklerinin gerçekleştirdikleri düz uçuş irtifalarının çok düşük seviyelerde gerçekleşmesinden dolayıdır.

Şekil 3.32’de CO₂ ve H₂O emisyon tasarruf grafikleri verilmiştir. Yakıt tüketimi ile lineer değişen CO₂ ve H₂O emisyonları, yakıt tasarruf grafiği ile aynı oranlara fakat farklı değerlere sahiptir. Düz uçuş başına en fazla emisyon tasarrufu 105 kg CO₂ ve 41 kg H₂O ile AYT meydanında iken, 60 kg CO₂ ve 23,5 kg H₂O en az ESB meydanında çıkmıştır.



Şekil 3.32. CO₂ ve H₂O emisyonlarının düz uçuş başına ortalama tasarruf değerleri

Yakıt tüketimi ile lineer bir değişime sahip olmayan, atmosferik şartlar, itki ve irtifa gibi parametrelerden etkilenen HC, CO ve NO_x emisyonlarının her bir havalimanı için düz uçuş başına ortalamaları Şekil 3.33’te sunulmuştur.



Şekil 3.33. HC, CO ve NO_x emisyonlarının düz uçuş başına ortalama tasarruf değerleri

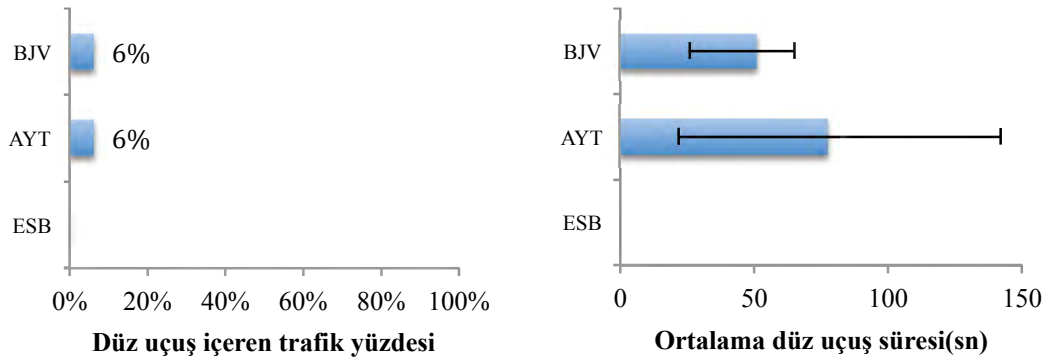
Yakıt, zaman, CO₂ ve H₂O için potansiyel fayda analizinde hep BJV meydana ön sıradaydı. Düz uçuş başına HC ve CO emisyon tasarruf değerlerinde ise ESB meydana en yüksek çıkmıştır. Düz uçuş başına sağlanan ortalama zaman ve yakıt tasarrufunda son sırada olmasına rağmen ESB meydanın düz uçuş başına ortalama HC ve CO emisyon tasarrufunda ilk sırada olması, düşük irtifa düz uçuş bölümlerindeki yakıt akış değerleri ile seyir irtifası yakıt akış değerleri arasında daha fazla fark olduğunu göstermektedir.

Analizi gerçekleştirilen NO_x emisyon indeksi en çok değişkenlik gösteren emisyon olmuştur. Yakıt tasarrufu ve zaman tasarrufu sağlandığı halde NO_x emisyonunun seyir irtifasında arttığı görülen bir çok düz uçuş bölümü bulunmaktadır. NO_x emisyon indeksi yakıt akışı ile lineer değişen bir profile sahiptir. Düz uçuşun seyir irtifasında gerçekleşmesi senaryosunda uçağın seyir irtifasında daha hızlı gitmesi sebebi ile yakıt akışı daha yüksek olmaktadır ve NO_x emisyon indeksi artmaktadır. Hızlı giden uçağın zamandan sağladığı fayda, emisyon indeksindeki artışı karşılamıyorsa seyir fazında daha fazla NO_x emisyonu sonucu çıkmaktadır. Ancak toplamda bakıldığı

zaman, düz uçuş bölümlerinin seyir irtifasına taşınması azda olsa tasarruf sağlamaktadır ve düz uçuş başına ortalama en fazla NO_x tasarrufu AYT meydanında çıkmıştır.

3.4.2. Kalkış trafiklerinin karşılaştırılması

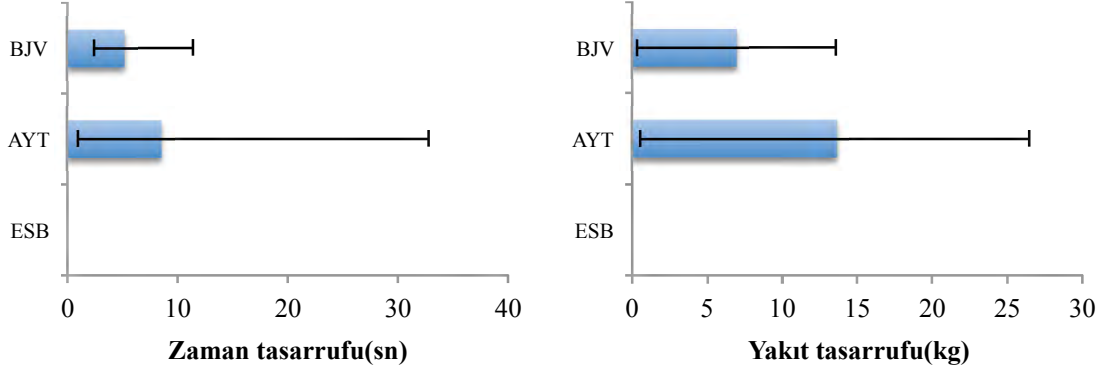
ESB, AYT ve BJV meydanlarından kalkış trafiklerinde gerçekleşen düşük irtifa düz uçuş bölümleri, geliş trafiklerinde meydana gelen düz uçuş bölümlerinin aksine çok az sayıdadır. ESB meydanından kalkan trafiklerin hiçbirisinde düz uçuş bölümü görülmezken, AYT ve BJV meydanından kalkan trafiklerden %6'sında düz uçuş bölümüne rastlanmıştır. Az sayıda düz uçuş bölümü olması sebebi ile sadece tüm düz uçuş bölümlerinin yüzdesinin ve ortalama süresini veren grafikler Şekil 3.34.'te sunulmuştur.



Şekil 3.34. Kalkışta düz uçuş içeren trafiklerin toplam trafikteki yüzdelik payı ve ortalama düz uçuş süresi

Şekil 3.34'e göre aynı oranda düz uçuş bölümü içeren AYT ve BJV meydan kalkışlarından AYT meydanından kalkan trafiklerin 77,3 sn ve BJV meydanından kalkan trafiklerin 50,8 sn düz uçuş ortalamasına sahip oldukları görülmektedir.

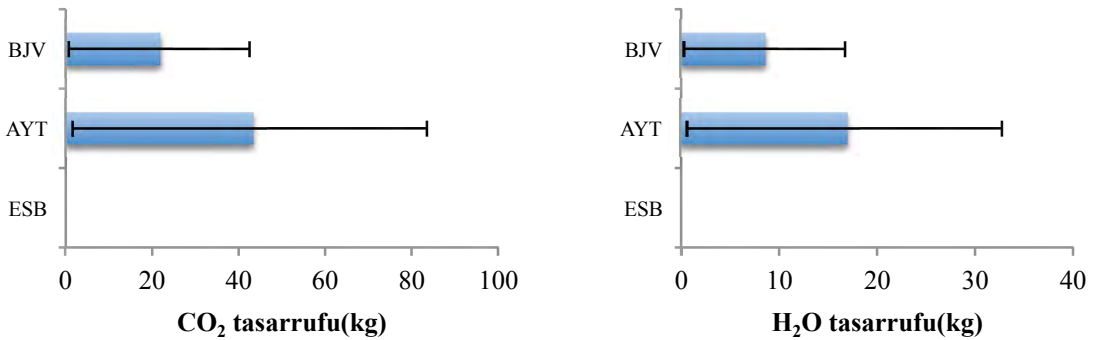
Düşük irtifa düz uçuşların seyir irtifasında gerçekleşmesi senaryosunda sağlanacak potansiyel fayda analizi sonuçlarından ortalama zaman ve yakıt tasarrufu karşılaştırma grafikleri Şekil 3.35'de sunulmuştur.



Şekil 3.35. Düz uçuş başına ortalama zaman ve yakıt tasarruf değerleri

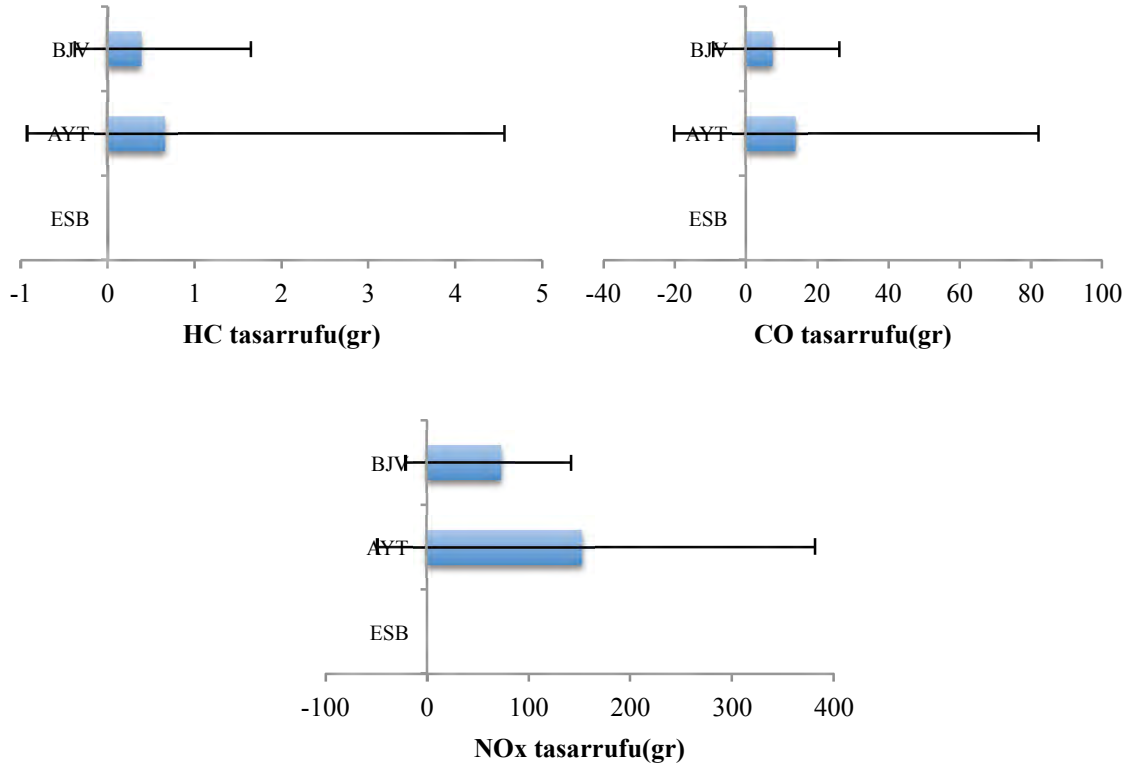
AYT meydanından kalkan trafiklerin gerçekleştirdikleri düz uçuş bölümlerinin seyir irtifasına çekilmesi durumunda sağlanması muhtemel zaman ve yakıt tasarrufu, BJV meydanında gerçekleşen düz uçuş bölümlerinin seyir irtifasına çekilmesi durumunda sağlanacak zaman ve yakıt tasarrufundan fazladır. Bu durumun bir sebebi, AYT meydanındaki düz uçuş bölümlerinin uzun süreye sahip olması, diğer önemli sebebi ise AYT meydanında tırmanma sırasında gerçekleşen düz uçuşların daha düşük irtifada gerçekleşmesi sebebi ile düşük irtifa düz uçuş hızı ile seyir hızı arasında daha büyük fark olmasıdır.

Yakıt tasarrufu ile paralellik gösteren CO₂ ve H₂O tasarruf ortalamaları Şekil 3.36'da gösterilmiştir. AYT meydanında düz uçuş başına 43 kg CO₂ ve 17 kg H₂O tasarruf sağlanırken, BJV meydanında 22 kg CO₂ ve 9 kg H₂O tasarrufu sağlandığı görülmektedir.



Şekil 3.36. CO₂ ve H₂O emisyonlarının düz uçuş başına ortalama tasarruf değerleri

Kalkış trafiklerinin HC, CO ve NO_x emisyonlarına ait ortalama tasarruf değerleri Şekil 3.37'de sunulmuştur.



Şekil 3.37. HC, CO ve NO_x emisyonlarının düz uçuş başına ortalama tasarruf değerleri

HC, CO ve NO_x emisyonları bazı düz uçuş bölümlerinin seyir irtifasına alınması durumunda negatif etki yaratmış olsa da, ortalamaların üç emisyonda da seyir irtifasında azalma sağlanacağını göstermektedir.

4. SONUÇ

Bu çalışmada, öncelikle uçakların bir meydana geliş ve bir meydana kalkış operasyonlarında maruz kaldıkları dikey uçuş verimsizliği, dikey uçuş verimsizliğini minimuma indireyecek veya ortadan kaldıracak yöntemlerden biri olarak görülen devamlı alçalma operasyonları ve devamlı tırmanma operasyonları anlatılmıştır. Çalışmada, dikey uçuş verimsizliğinin kaynağı olan düşük irtifa düz uçuş (level off) bölümlerini belirlemek ve verimsizlik meydana gelen noktalarda yapılabilecek iyileştirmelerin sağlayacağı potansiyel faydayı ortaya koymak amacı ile, Türkiye’de bulunan ve en yoğun ilk on havalimanı arasında bulunan ESB, AYT ve BJV havalimanlarının geliş ve kalkış trafiklerinin dikey profil analizi gerçek uçuş verilerine dayalı olarak gerçekleştirilmiştir. Potansiyel fayda analizinde, geliş veya kalkış fazında gerçekleşen düz uçuş bölümlerinin seyir irtifasında gerçekleşmesi senaryosu düşünülmüştür. Bir başka deyişle, geliş trafiğinin devamlı alçalma profili ile alçaldığı, kalkış trafiğinin ise devamlı tırmanma profili ile tırmandığı durumda, düz uçuş içeren geliş veya kalkış profiline göre elde edilmesi muhtemel zaman, yakıt ve emisyon tasarrufu potansiyeli ortaya konulmuştur.

Seçilen meydanların geliş ve kalkış trafiklerinde gerçekleşen düz uçuş bölümlerinin yakıt ve emisyon analizi gerçekleştirilmeden önce her bir meydan için düz uçuş bölümleri için istatistiksel analiz sonuçları ortaya konulmuştur. Bu istatistiksel değerlendirmede düz uçuş bölümü içeren trafiğin toplam trafikteki oranı ve düz uçuş bölümlerinin ortalama süresi en önemli parametreler olmuştur. Meydana gelen düz uçuş bölümlerinin frekans ve süre ortalamalarının değerlendirme sonuçlarına göre;

- Geliş trafiklerinin %80’inde en az bir tane 20 sn ve üzerinde düşük irtifa düz uçuş gerçekleşen Milas-Bodrum Havalimanı birinci, %76 ile Antalya Havalimanı ikinci ve %69 ile Ankara Esenboğa Havalimanı üçüncü sırada çıkmıştır.
- Kalkış trafiklerinde, Milas-Bodrum ve Antalya Havalimanlarının oranı aynı çıkmıştır ve kalkış yapan trafiklerin %6’sında en az bir tane 20 sn ve üzerinde düşük irtifa düz uçuş bölümüne rastlanmıştır. Ankara Esenboğa Havalimanı’ndan kalkan trafiklerde ise düz uçuş bölümlerine rastlanmamıştır.
- Geliş trafiklerinde meydana gelen 20 sn ve üzeri düşük irtifa düz uçuş bölümlerinin ortalama düz uçuş süreleri en yüksek BJV meydanında çıkmıştır

ve BJV, ESB ve AYT meydanları için sırası ile 102,4 sn, 85sn ve 83,4 sn olarak bulunmuştur.

- Kalkış trafiklerinde meydana gelen 20 sn ve üzeri düşük irtifa düz uçuş bölümlerinin ortalama düz uçuş süreleri AYT için 77,3 sn ve BJV için 50,8 sn çıkmıştır.
- BJV meydanı hem düşük irtifa düz uçuş içeren trafik yüzdesinde hem de ortalama düz uçuş süresinde ilk sırada bulunmaktadır. AYT meydanına geliş trafiklerinde düz uçuş içeren trafik yüzdesi ESB meydanından yüksek çıkmıştır ancak ESB meydanına geliş trafiklerinin ortalama düz uçuş süresi AYT'den yüksek çıkmıştır.

Düz uçuş bölümlerinin frekans ve ortalama süre analizlerinden sonra, düşük irtifada gerçekleşen bu düz uçuş bölümlerinin her birinin kendi seyir irtifasında gerçekleşmesi durumunda tasarruf edilmesi muhtemel zaman, yakıt ve CO₂, H₂O, HC, CO ve NO_x emisyon hesaplamaları gerçekleştirilmiştir. Ancak, bu analizler için düz uçuş süresi 60 sn ve üzerindeki düz uçuş bölümleri kullanılmıştır. Gerçekleştirilen analiz ve hesaplama sonuçlarına göre her bir meydan için düz uçuş başına ortalama tasarruf değerleri aşağıdaki gibidir:

- Geliş trafiklerinde düz uçuş başına ortalama potansiyel zaman tasarruf değeri BJV ve AYT meydanlarında yaklaşık aynı çıkmıştır ve 65 sn'dir. ESB meydanında ise 45 sn'dir.
- Geliş trafiklerinde düz uçuş başına ortalama potansiyel zaman tasarruf değeri BJV ve AYT meydanlarında yaklaşık aynı çıkmasına rağmen, AYT meydanında düz uçuş başına ortalama yakıt tasarruf değeri 33,4 kg ile 27 kg olan BJV meydanından daha fazla çıkmıştır. Bu durumun sebebi, AYT meydanında gerçekleşen düz uçuş bölümlerinin çok daha düşük irtifalarda meydana gelmesindendir. ESB meydanında ise ortalama yakıt tasarruf değeri 17 kg çıkmıştır.
- Kalkış trafiklerinde, AYT meydanından kalkan trafiklerin gerçekleştirdikleri düz uçuş bölümlerinin seyir fazında gerçekleşmesi muhtemel zaman ve yakıt tasarruf değerleri sırası ile 8,4 sn ve 13,5 kg bulunmuştur ve 5 sn ve 7 kg bulunan BJV meydanından daha yüksektir. Bu durumun sebebi ise BJV meydanından kalkışta gerçekleşen düz uçuş bölümlerinin irtifasının AYT

meydanından yüksek çıkması ve seyir irtifasına yakın olmasındandır. ESB meydanından kalkış trafiklerinin tırmanma profili devamlı tırmanma operasyonlarına yakın çıkmış ve düz uçuş bölümü bulunamamıştır.

- Geliş trafiklerinde, CO₂ ve H₂O emisyonlarının yakıt tüketimi ile lineer değişimi sebebi ile yakıt tasarrufu ile aynı eğilimi göstermiştir. Bu sebeple, 105 kg CO₂ ve 41 kg H₂O ile AYT meydanı en fazla emisyon tasarruf potansiyeline sahip meydan çıkmıştır. İkinci sırada 85 kg CO₂ ve 33,4 kg H₂O ile BJV meydanı çıkarken 60 kg CO₂ ve 23,5 kg H₂O ile en az ESB meydanı çıkmıştır.
- Kalkış trafiklerinde, AYT meydanında düz uçuş başına 43 kg CO₂ ve 17 kg H₂O tasarruf sağlanırken, BJV meydanında 22 kg CO₂ ve 9 kg H₂O tasarrufu sağlandığı görülmektedir.
- Geliş trafiklerinde, HC, CO emisyonlarının düz uçuş başına tasarruf değeri en fazla ESB meydanında, NO_x emisyonu ise AYT meydanında en fazla çıkmıştır. Düz uçuş başına potansiyel HC tasarruf değeri ESB, AYT ve BJV meydanları için sırası ile 29 gr, 10,5 gr ve 13 gr ; CO tasarruf değeri ESB, AYT ve BJV meydanları için sırası ile 865 gr, 240 gr ve 301,5 gr ve NO_x tasarruf değeri ESB, AYT ve BJV meydanları için sırası ile 7,6 gr, 41,6 gr ve 6,7 gr çıkmıştır.
- Kalkış trafiklerinde, AYT meydanında düz uçuş başına HC, CO ve NO_x emisyonlarının tasarruf değerleri BJV meydanından yüksek çıkmıştır. ESB meydanında düz uçuş bulunmaması nedeniyle tasarruf değeri yoktur. Düz uçuş başına potansiyel HC tasarruf değeri AYT ve BJV meydanları için sırası ile 0,65 gr, 0,4 gr ; CO tasarruf değeri AYT ve BJV meydanları için sırası ile 14 gr, 7,5 gr ve NO_x tasarruf değeri AYT ve BJV meydanları için sırası ile 152 gr, 72 gr ve çıkmıştır.

Yapılan analizler sonucunda, incelenen üç meydana SAW meydanından gelen ve SAW meydanına giden trafiklerin geliş ve kalkış profillerinde gerçekleşen dikey verimsizlik noktalarının ortadan kaldırılması ile düz uçuş başına elde edilmesi muhtemel zaman, yakıt ve emisyon tasarruf değerleri sunulmuştur. DHMİ 2014 yıllık

istatistiğinde verilen tiplere göre uçak trafiği istatistiği, ESB'ye geliş ve kalkış trafiklerinin yaklaşık %72'sinin, AYT'ye geliş ve kalkış trafiklerinin yaklaşık %46'sının ve BJV'ye geliş ve kalkış trafiklerinin yaklaşık %41'inin B737 serisi olduğunu göstermektedir. Geriye kalan trafiklerin ise özellikle Antalya ve Milas-Bodrum Havalimanında büyük gövdeli uçaklardan oluştuğu görülmektedir. Tiplere göre trafik istatistiği de göstermektedir ki, B738 tipi uçağa ait CFM56-7B26E motoru referans alınarak bulunan ortalama tasarruf değerleri, meydan bazında veya yıllık bazda tahminler için önemli bir temsil gücüne sahiptir. Analiz sonuçlarına, yıllık trafik istatistiklerine ve meydanlarda uygulanan prosedürlerin dayandığı seyrüsefer yöntemlerine dair veriler kullanılarak aşağıdaki tahminleri sunmak mümkündür:

- DHMİ 2014 yıllık istatistiğine göre, bir yılda SAW meydanından ESB, AYT ve BJV meydanlarına sırası ile 12.851, 12.990 ve 6.784 iç hat ticari uçuş gerçekleşmiştir. 60 sn ve üzerinde gerçekleşen düşük irtifa düz uçuş analizlerinde, ESB meydanına geliş trafiklerinde % 37 oranında en az bir düz uçuş, AYT meydanına geliş trafiklerinde % 46 oranında en az bir düz uçuş, BJV meydanına geliş trafiklerinde % 63 oranında en az bir düz uçuş bulunmuştur. Seçilen meydanlara bu yüzdelik oranlar ve ortalama tasarruf değerleri uygulandığında, sadece SAW meydanından gelen trafiklerde yıllık tasarruf değerleri;

1. ESB için 59,4 saat zaman, 80,8 ton yakıt, 285,3 ton CO₂, 111,7 ton H₂O, 138 kg HC, 4113 kg CO ve 36,13 kg NO_x tasarruf potansiyeli,
2. AYT için 107,9 saat zaman, 101,6 ton yakıt, 627,5 ton CO₂, 245 ton H₂O, 62,7 kg HC, 1434 kg CO ve 248,5 kg NO_x tasarruf potansiyeli,
3. BJV için 77,2 saat zaman, 72,6 ton yakıt, 256,5 ton CO₂, 100,5 ton H₂O, 55,5 kg HC, 1288,5 kg CO ve 28,5 kg NO_x tasarruf potansiyeli,

bulunmuştur.

- DHMİ 2014 yıllık istatistiğine göre, bir yılda ESB, AYT ve BJV meydanlarından SAW meydanına sırası ile 12.724, 13.173 ve 6.832 iç hat ticari uçuş gerçekleşmiştir. AYT meydanından kalkış trafiklerinde %6 oranında en az bir düz uçuş, BJV meydanından kalkış trafiklerinde % 6 oranında en az bir düz uçuş bulunmuştur. ESB meydanından kalkış trafiklerinde ise düz uçuş bölümüne rastlanmamıştır. Seçilen meydanlara bu

yüzdelik oranlar ve ortalama tasarruf değerleri uygulandığında, üç meydana SAW meydana kalkış trafiklerinde yıllık tasarruf değerleri;

1. AYT için 1,87 saat zaman, 10,7 ton yakıt, 34 ton CO₂, 13,5 ton H₂O, 0,51 kg HC, 11 kg CO ve 120 kg NO_x tasarruf potansiyeli,
2. BJV için 0,57 saat zaman, 2,9 ton yakıt, 9 ton CO₂, 3,7 ton H₂O, 0,16 kg HC, 3 kg CO ve 62,3 kg NO_x tasarruf potansiyeli,

olarak bulunmuştur.

DHMI verilerine göre Türkiye’deki iç ve dış hat toplam trafik sayısı 2006-2015 yılları arasında ortalama %9,8 artış göstermiştir [35]. Yıllık trafik sayısındaki artış, terminal sahalarındaki trafiğin artışı ve daha fazla bekleme, ve düşük irtifa düz uçuş bölümlerine sebep olabilir. Daha fazla düz uçuş bölümü ise daha fazla zaman kaybı, yakıt sarfiyatı ve emisyon anlamına gelmektedir.

Bu çalışmada gerçekleştirilen analizlere ek olarak aşağıdaki çalışmalar gerçekleştirilebilir:

- Türkiye’deki diğer meydanlar için benzer çalışma yürütülebilir. Benzer çalışmaların diğer meydanlara uygulanması hem meydan bazında hem de Türk hava sahasındaki geliş ve kalkış trafiklerindeki dikey verimsizliklerden kaynaklı yakıt ve emisyon sarfiyatını ortaya koyacaktır.
- Literatürde (cut off) olarak geçen tırmanma ve alçalma fazında kısa süreli düz uçuş bölümlerinin yakıt tüketim etkileri değerlendirilebilir.
- Özellikle yoğun meydanlarda geliş ve kalkış trafiklerinin rota etkileşiminden kaynaklı düşük irtifa düz uçuş bölümlerinin tespit edilmesi durumunda, “Alçalan uçağa mı yoksa tırmanan uçağa mı yol verilmesi daha fazla yakıt ve emisyon tasarrufu sağlayacaktır” sorusuna cevap aranabilir.
- Literatürde özellikle alçalma açısının yakıt tüketimine etkisine yönelik çalışmalar yer almaktadır. Çalışmanın devamında tırmanma açısının yakıt tüketim etkileri incelenebilir.
- Çalışmada, kalkış ve gelişlerde ağırlıklı vektör yönteminin uygulandığı görülmektedir. Çalışmanın devamında devamlı alçalma veya devamlı tırmanmaya olanak sunabilecek yeni yol yapıları ve prosedürleri geliştirilebilir.

KAYNAKÇA

- [1] Lee, J. and Mo, J. (2011). Analysis of technological innovation and environmental performance improvement in aviation sector. *International journal of environmental research and public health*, 8(9), 3777-3795.
- [2] International Civil Aviation Organization Doc 9931. (2010). *Continuous Descent Operations (CDO) MANUAL* (First Edition).
- [3] International Civil Aviation Organization Doc 9993. (2013). *Continuous Climb Operations (CCO) Manual* (First Edition).
- [4] FAA Office of Environment and Energy. (2015). *Aviation Emissions, Impacts & Mitigation A Primer*
- [5] Masiol, M. and Harrison, R. M. (2014). Aircraft engine exhaust emissions and other airport-related contributions to ambient air pollution: A review. *Atmospheric Environment*, 95, 409-455.
- [6] Baukal, C. (2005). Everything you need to know about NOx: Controlling and minimizing pollutant emissions is critical for meeting air quality regulations. *Metal finishing*, 103(11), 18-24.
- [7] International Civil Aviation Organization Doc 8168. (2006). *Procedures For Air Navigation Services Aircraft Operations (PANS-OPS)*. (Fifth edition)
- [8] Kettunen, T., Hustache, J., Fuller, I., Howell D., Bonn J. (2005). *Flight Efficiency Studies In Europe And The United States*. 6th USA/Europe Seminar on ATM Research and Development Baltimore, Maryland.
- [9] Reynolds, T. G. (2008). Analysis of lateral flight inefficiency in global air traffic management. In *8th AIAA Aviation Technology, Integration and Operations Conference, Anchorage, Alaska, USA*.
- [10] Alcabin, M., Schwab, R. W., Soncrant, C., Tong, K. O., Cheng, S. S. (2009). Measuring Vertical Flight Path Efficiency in the National Airspace System. In *9th AIAA Aviation Technology, Integration, and Operations Conference (ATIO)*. Hilton Head Island, SC, USA.
- [11] Dorfman, S., Daily, J., Gonzalez, T., Kondo, G. S. (2012). NAS-wide vertical profile analysis: Level segments in arrival and departure flows. In *Integrated Communications, Navigation and Surveillance Conference (ICNS)*. IEEE. Herndon, VA.
- [12] Belle, A., Sherry, L., Wambsganss, M., Mukhina, A. (2013, April). A methodology for airport arrival flow analysis using track data—A case study for MDW arrivals. In *Integrated Communications, Navigation and Surveillance Conference (ICNS), 2013* (pp. 1-10). IEEE. Herndon, VA.
- [13] Reynolds, T. G. (2014). Air traffic management performance assessment using flight inefficiency metrics. *Transport Policy*, 34, 63-74.

- [14] DeArmon, J., Mahashabde, A., and Hogan, B. (2014). Departure flow efficiency and the identification of causes for inefficiencies. In *Digital Avionics Systems Conference (DASC), 2014 IEEE/AIAA 33rd* (pp. 7A4-1). IEEE.
- [15] Eurocontrol Performance Review Unit.(2016). Vertical flight efficiency during climb and descent. PRU information bulletin.
- [16] Sprong, K. R., Haltli, B. M., DeArmon, J. S., Bradley, S. (2005). Improving flight efficiency through terminal area RNAV. In *6th USA/Europe Air Traffic Management R&D Seminar*. Baltimore, MD, USA.
- [17] Sprong, K. R. (2005, October). Measuring the effects of RNAV departure procedures on airport efficiency. In *Digital Avionics Systems Conference. The 24th* (Vol. 1, pp. 2-D). IEEE.
- [18] Shresta, S., Neskovic, D. and Williams, S. (2009). Analysis of continuous descent benefits and impacts during daytime operations. In *8th USA/Europe Air Traffic Management Research and Development Seminar*. Napa, CA,USA.
- [19] Wubben, F. J. M. and Busink, J. J. (2000). Environmental benefits of continuous descent approaches at Schiphol Airport compared with conventional approach procedures. National Aerospace Laboratory (NLR).
- [20] Wilson, I. and Hafner, F. (2005). Benefit assessment of using continuous descent approaches at Atlanta. In *Digital Avionics Systems Conference. The 24th* (Vol. 1, pp. 2-B). IEEE.
- [21] Sprong, K. R., Klein, K. A., Shiotsuki, C., Arrighi, J., Liu, S. (2008). Analysis of AIRE continuous descent arrival operations at Atlanta and Miami. In *Digital Avionics Systems Conference. IEEE/AIAA 27th* (pp. 3-A). IEEE.
- [22] Stibor, J., and Nyberg, A. (2009). Implementation of continuous descent approaches at Stockholm Arlanda airport, Sweden. In *Digital Avionics Systems Conference. IEEE/AIAA 28th* (pp. 2-C). IEEE.
- [23] Thompson T., Mille B., Murphy C., Augustine S., White T., Souihi S. (2013). Environmental impacts of continuous-descent operations in Paris and New York regions. Isolation of ATM/airspace effects and comparison of models. Tenth USA/Europe Air Traffic Management Research and Development Seminar. Chicago, Illinois, USA.
- [24] Jin, L., Cao, Y. and Sun, D. (2013). Investigation of potential fuel savings due to continuous-descent approach. *Journal of aircraft*, 50(3), 807-816.
- [25] Clarke, J. P., Brooks, J., Nagle, G., Scacchioli, A., White, W., Liu, S. R. (2013). Optimized profile descent arrivals at Los Angeles international airport. *Journal of aircraft*, 50(2), 360-369.

- [26] Roach, K. and Robinson, J. (2010). A terminal area analysis of continuous ascent departure fuel use at dallas/fort worth international airport. In AIAA Aviation Technology, Integration and Operations Conference (ATIO). Fort Worth, Texas, USA.
- [27] McConnachie D., Bonnefoy F. and Belle A. Hamilton B.A. (2015). Investigating Benefits from Continuous Climb Operating Concepts in the National Airspace System: Data and Simulation Analysis of Operational and Environmental Benefits and Impacts. *Eleventh USA/Europe Air Traffic Management Research and Development Seminar*. Boston, MA, USA.
- [28] Turgut, E. T. and Rosen, M. A. (2010). Assessment of emissions at busy airports. *International Journal of Energy Research*, 34(9), 800-814.
- [29] Schaefer M. (2006). *Methodologies for Aviation Emission Calculation – A comparison of alternative approaches towards 4D global inventories*. Thesis. Berlin: Berlin University of Technology
- [30] DuBois, D. and Paynter, G. C. (2006). “Fuel Flow Method2” for estimating aircraft emissions . SAE Technical Paper.
- [31] <https://www.easa.europa.eu/document-library/icao-aircraft-engine-emissions-databank> (Eriřim tarihi: 01.11.2015)
- [32] Devlet Hava Meydanları İşletmesi (DHMI). (2014). *İstatistik yillığı*.
- [33] Rudey, R. A. and Kempke, E. E. (1975). *Technology for reducing aircraft engine pollution*. NASA Technical Reports Server(NTRS).
- [34] Teledyne Controls. (2015). *Flight Analysis Program Application Note*.
- [35] Devlet Hava Meydanları İşletmesi (DHMI). (2016). *Türkiye Geneli Havalimanları Uçak, Yolcu Ve Yük Trafiğı İstatistikleri (2002-2015)*.

EK-1. Ankara Esenboğa Havalimanı 03L/R Pisti Standart Aletli Geliş Chart'ı

AIP
TURKEY

AD 2 LTAC STAR - 1
11 DEC 14

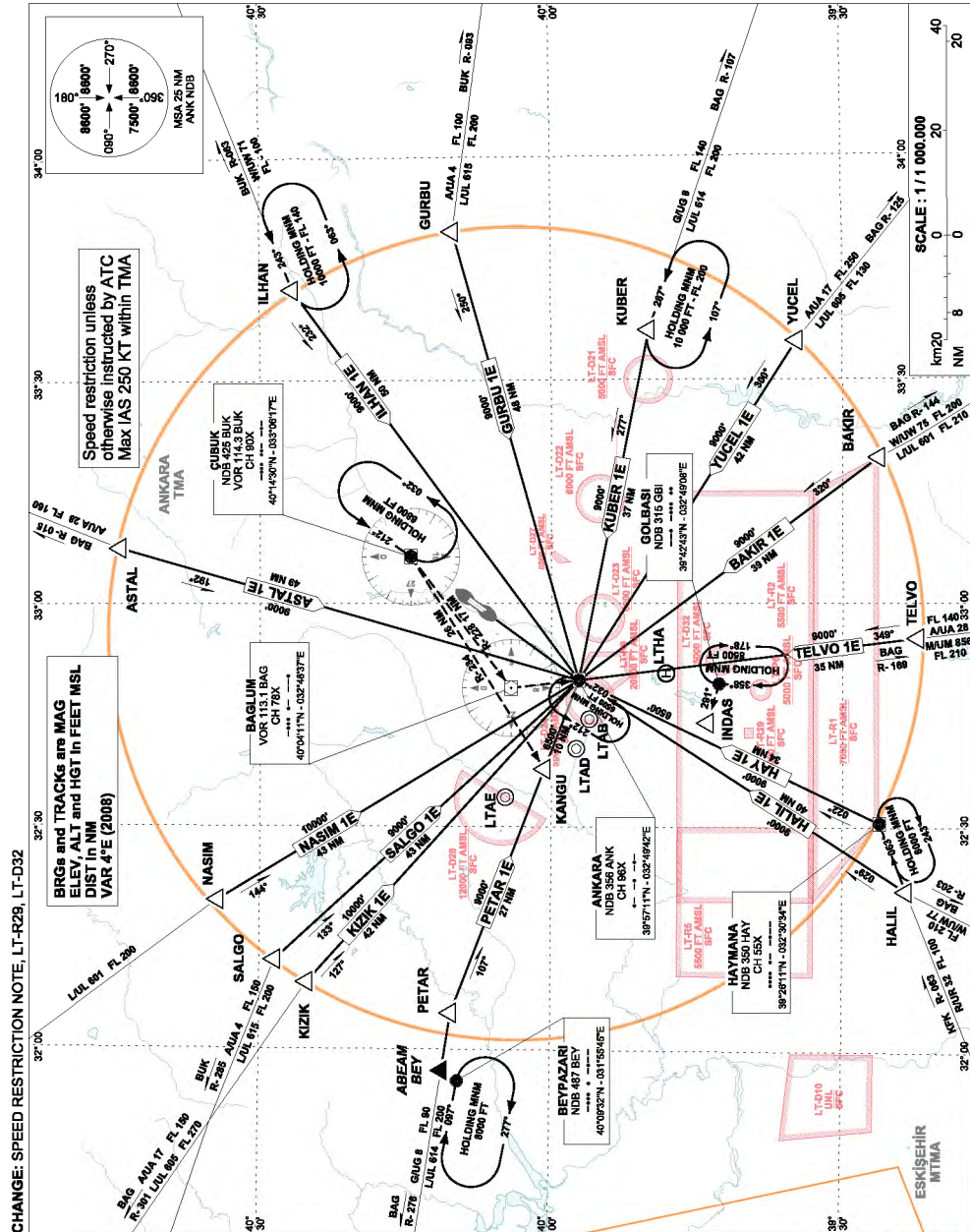
STANDARD ARRIVAL CHART
INSTRUMENT (STAR) - ICAO

TRANSITION ALTITUDE
10 000 FT

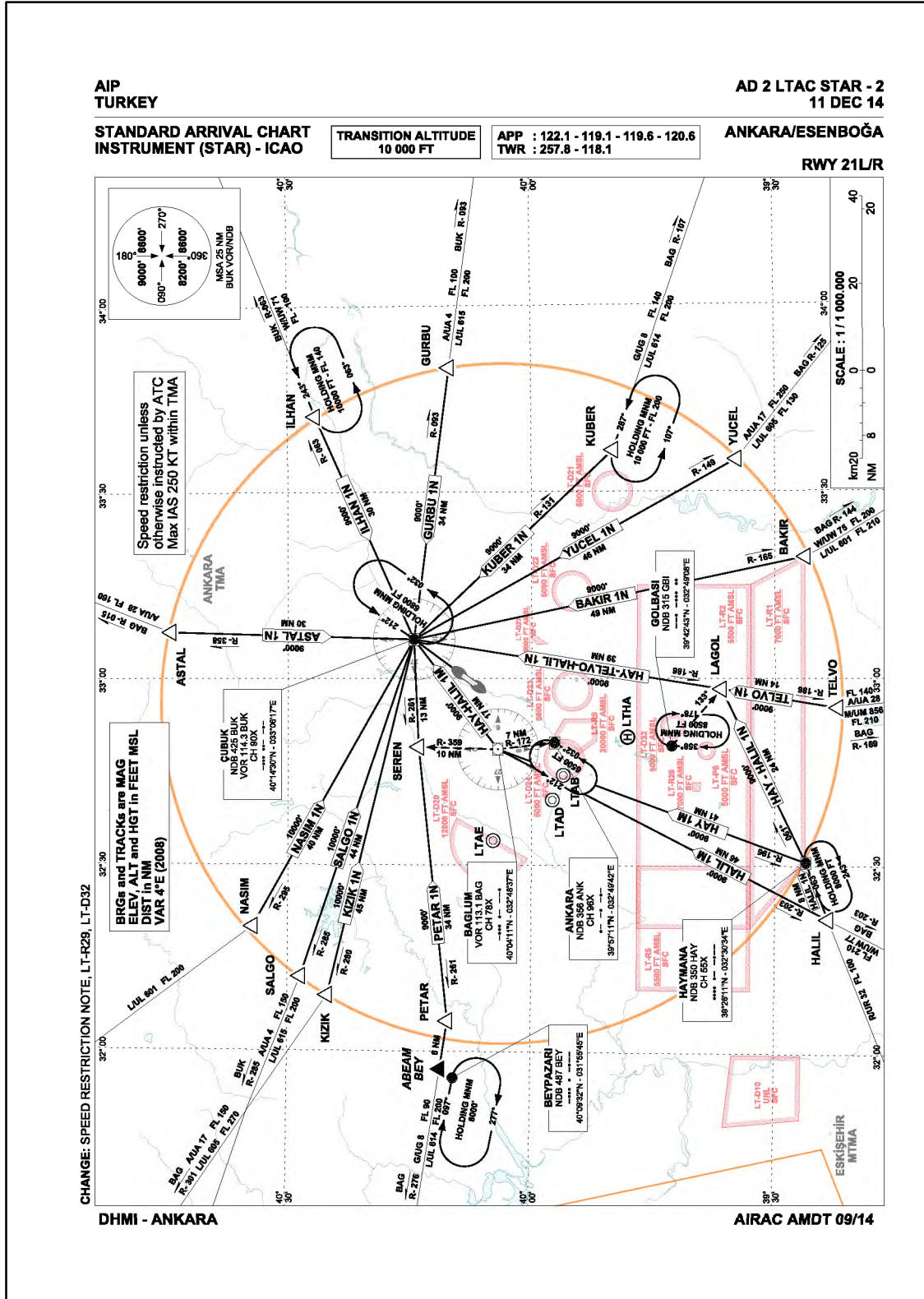
APP : 122.1 - 119.1 - 119.6 - 120.6
TWR : 257.8 - 118.1

ANKARA/ESENBOĞA

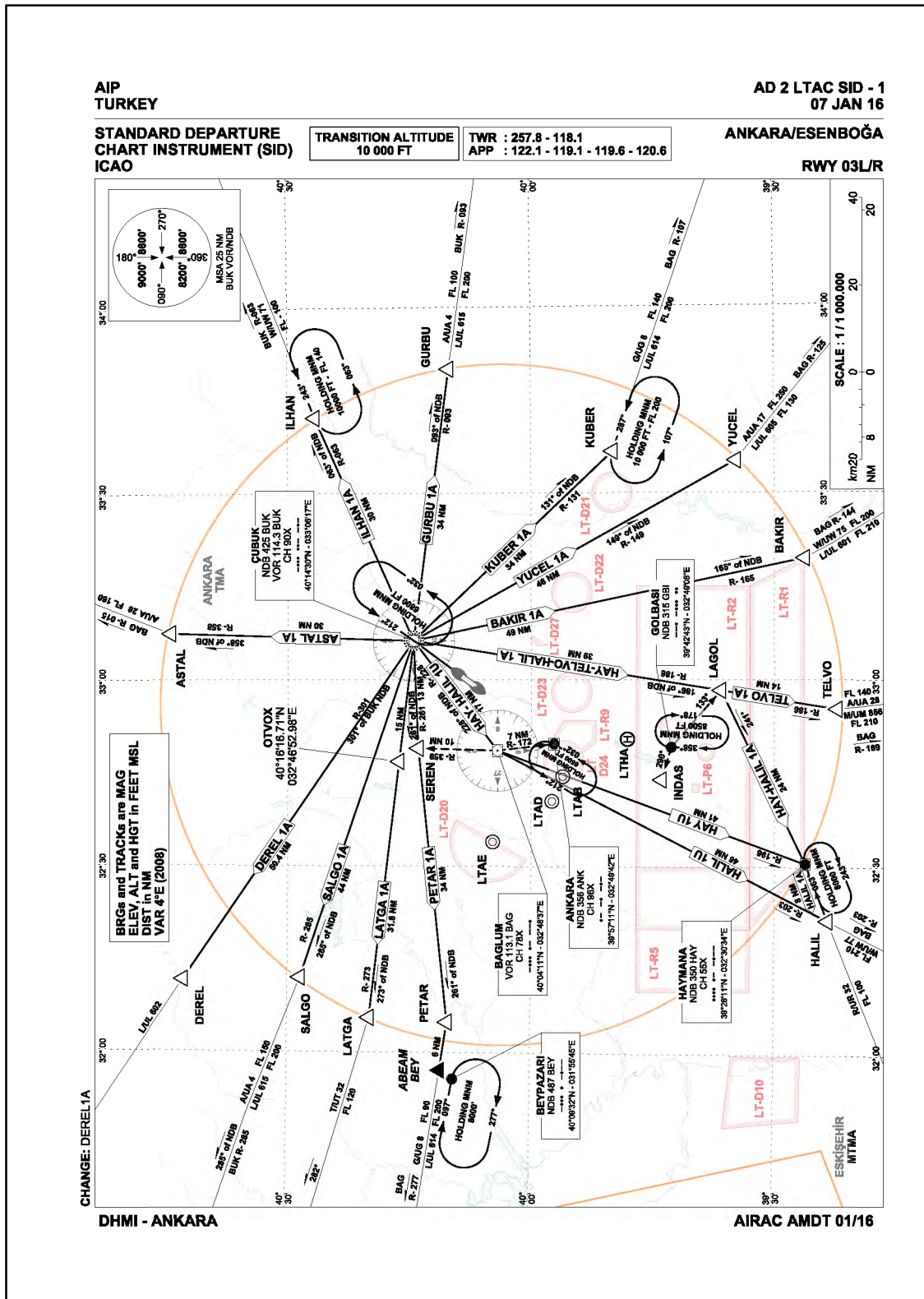
RWY 03L/R



EK-2. Ankara Esenboğa Havalimanı 21L/R Pisti Standart Aletli Geliş Chart'ı

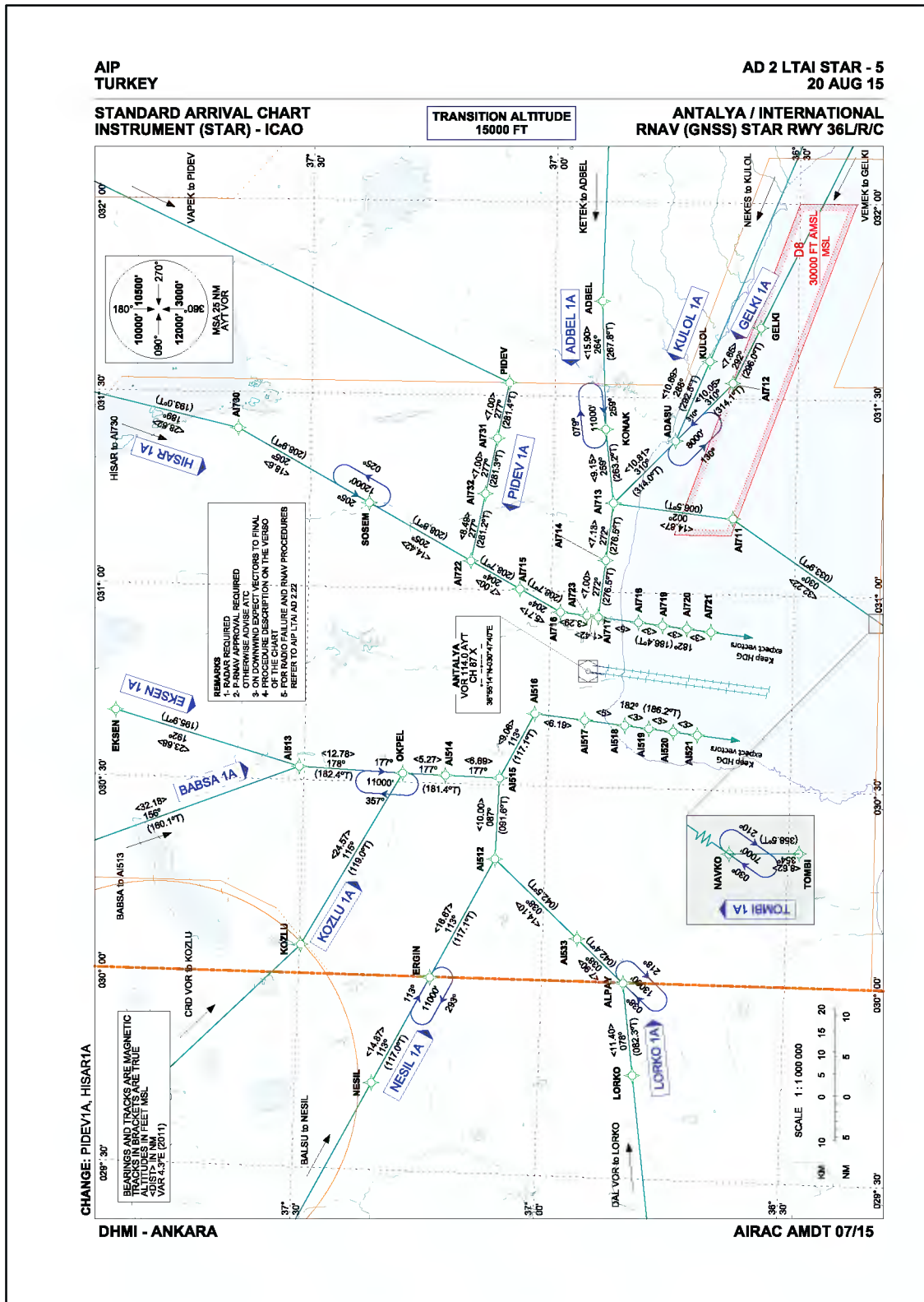


EK-3. Ankara Esenboğa Havalimanı 03L/R Pisti Standart Aletli Kalkış Chart'ı

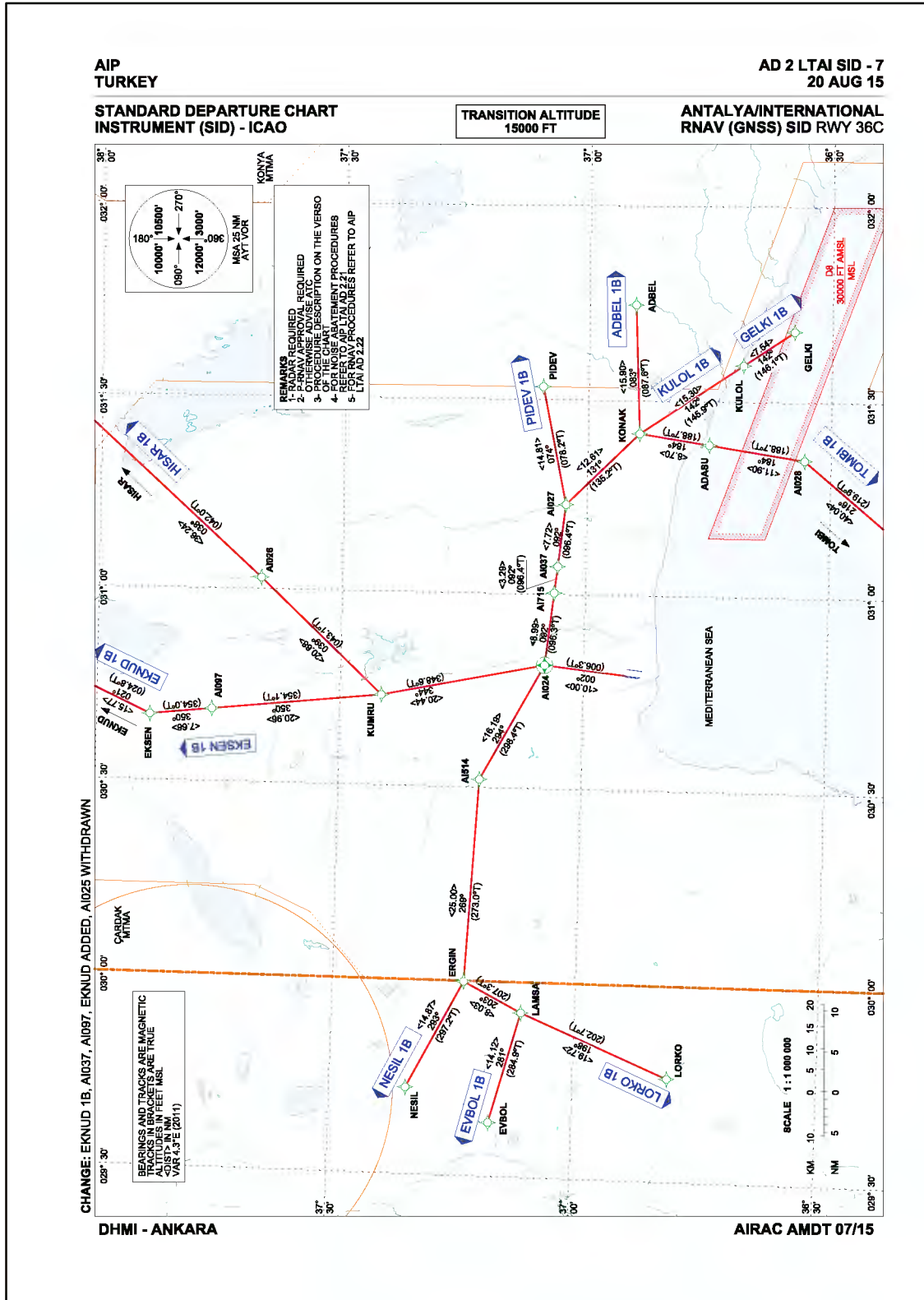


AIRAC AMDT 01/16

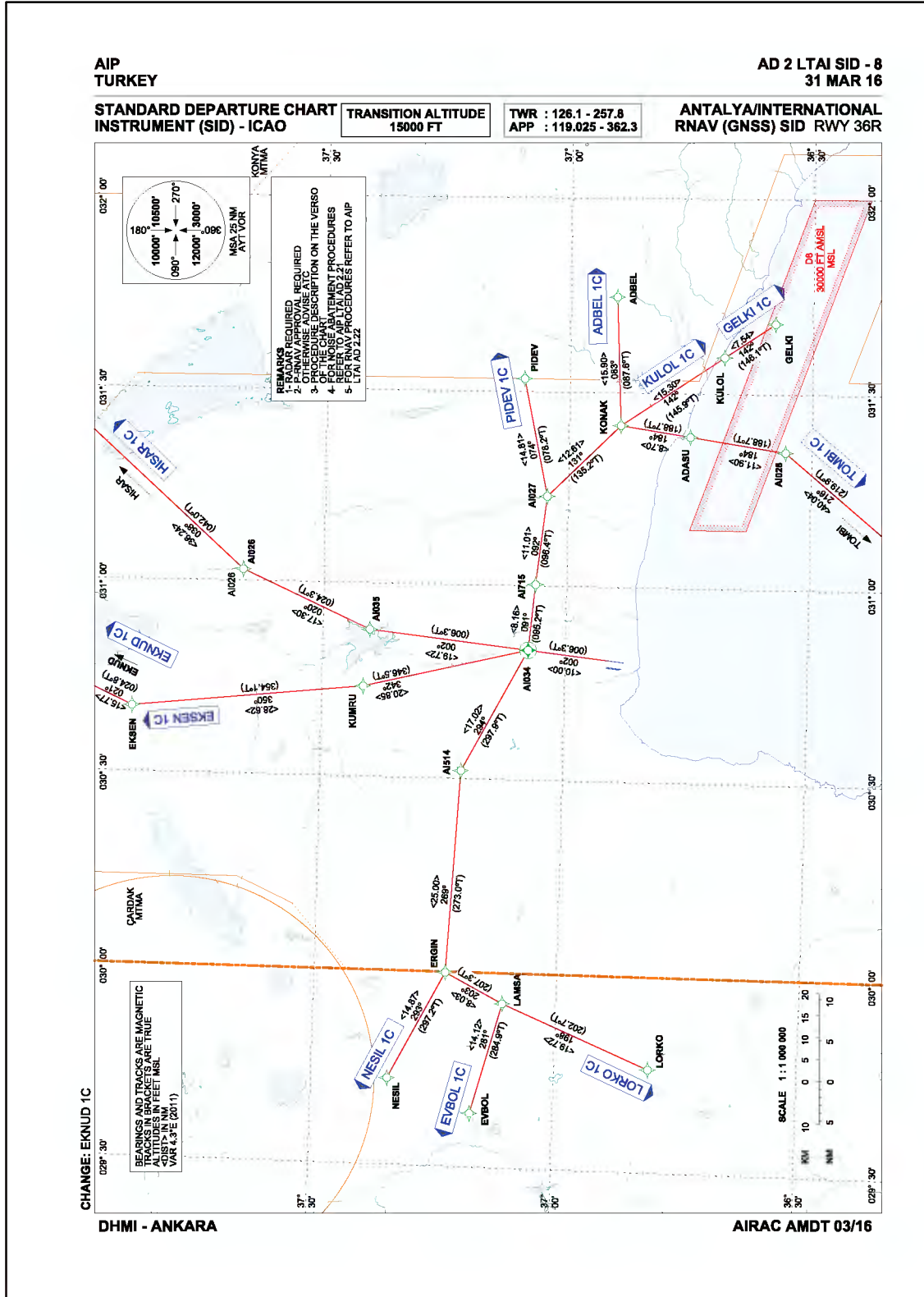
EK-5. Antalya Havalimanı 36L/C/R Pisti RNAV(GNSS) Standart Aletli Geliş Chart'ı

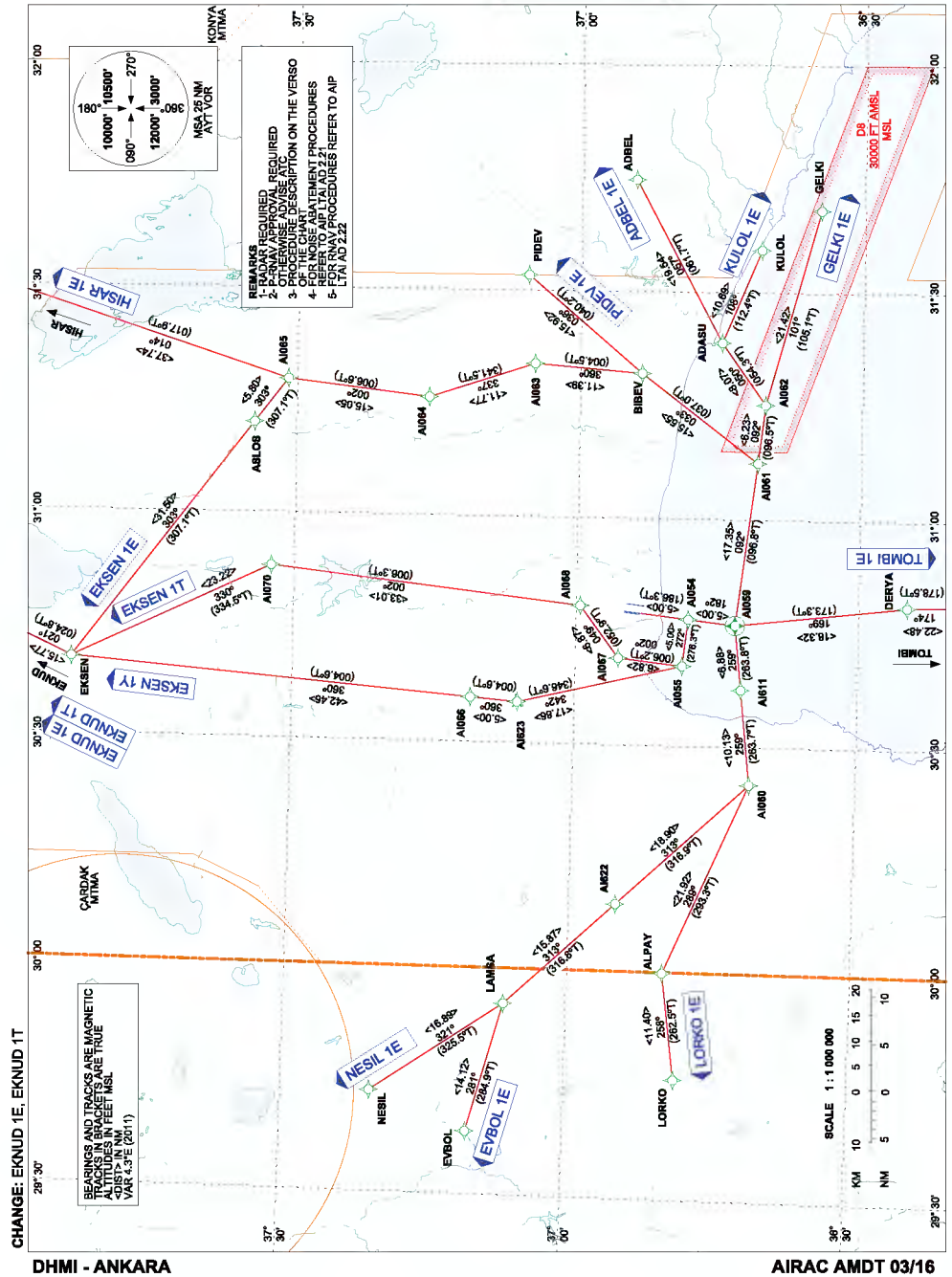


EK-7. Antalya Havalimanı 36C Pisti RNAV(GNSS) Standart Aletli Kalkış Chart'ı

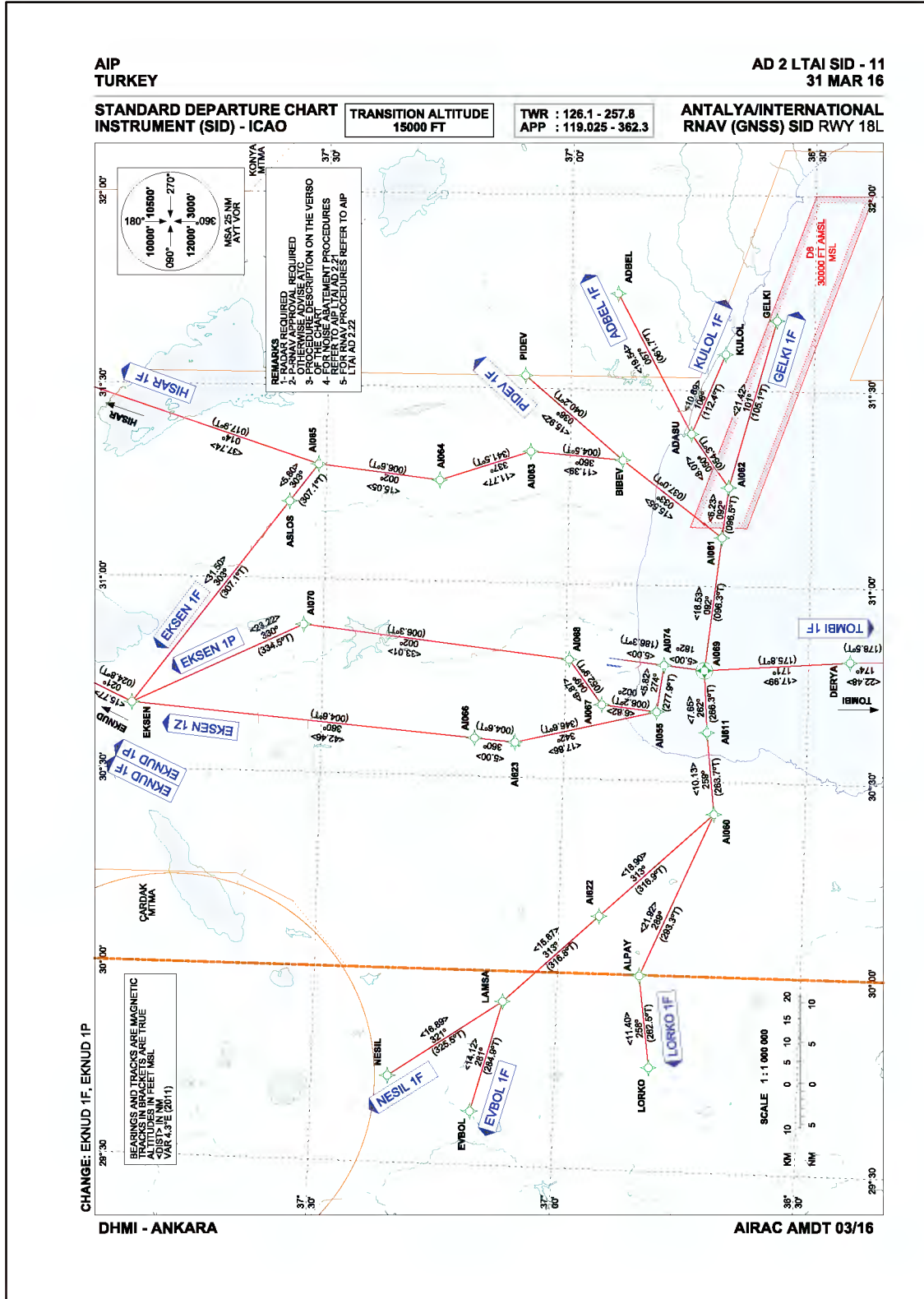


EK-8. Antalya Havalimanı 36R Pisti RNAV(GNSS) Standart Aletli Kalkış Chart'ı





EK-10. Antalya Havalimanı 18L Pisti RNAV(GNSS) Standart Aletli Kalkış Chart'ı



AIRAC AMDT 04/16

AIRAC AMDT 04/16

[illegible]

**AIP
TURKEY**

**AD 2 LTFE SID - 4
04 FEB 16**

**STANDARD DEPARTURE CHART
INSTRUMENT (SID) - ICAO**

TRANSITION ALTITUDE
10000 FT

MUGLA/MILAS-BODRUM

RNAV (GNSS) RWY 28

DESIGNATOR	FORMAL DESCRIPTION	ABBREVIATED DESCRIPTION
ANGLUK IV	The FE071 on course 283°M at 2400 ft minimum, turn right to follow.	FE071(M283-2400)-RJ-ANGLUK
YUNUS IV	The FE072 on course 283°M at 2400 ft minimum, turn left to follow.	FE072(M283-2400)-LJ-FE072LL-
AKSEK IV	The FE073 on course 283°M at 2400 ft minimum, turn left to follow.	FE073(M283-2400)-LJ-FE073LL-
KAVAK IV	The FE074 on course 283°M at 2400 ft minimum, turn left to follow.	FE074(M283-2400)-LJ-FE074LL-

Note : All SIDs require minimum climb gradient 4 % (245 FT/NM) up to 2400 FT

*Check ATIS to confirm the published frequency is the current one in use. At first contact report only call sign.

REMARKS:
1- RADAR REQUIRED
2- P-RNAV APPROVAL REQUIRED OTHERWISE ADVISE ATC
3- PROCEDURE DESCRIPTION DEPICTED ON THE CHART.

TYPE	FIX IDENTIFIER (WATPOINT NAME)	LATITUDE	LONGITUDE
FLYBY	ANGLUK	37°54'30.00N	027°27'30.00E
FLYBY	YUNUS IV	38°42'55.00N	027°23'00.00E
FLYBY	AKSEK	38°50'34.00N	028°13'23.00E
FLYBY	KAVAK	37°21'25.00N	028°13'58.00E
FLYBY	AGEVA	38°52'22.00N	028°13'51.00E
FLYBY	UNDAL	37°52'22.00N	028°13'54.00E
FLYBY	FE071	37°16'58.00N	027°28'58.12E
FLYBY	FE072	37°52'19.30N	027°23'42.14E
FLYBY	FE073	37°51'03.00N	027°41'32.03E
FLYBY	FE074	37°51'03.00N	027°53'22.45E
FLYBY	FE076	38°51'19.00N	028°07'30.38E

CHANGE: BEARING CORRECTION

DHMI - ANKARA

AIRAC AMDT 02/16

AIP
TURKEY

AD 2 LTFE SID - 1
28 APR 16

**STANDARD DEPARTURE
CHART INSTRUMENT (SID) - ICAO
(BASED ON BDR VOR/DME)**

TRANSITION ALTITUDE
10000 FT

APP : 119.5 - 132.625 - 362.3
TWR : 124.2 - 257.8 - 125.225

MILAS/BODRUM

RWY 10

**AKBUK 1B
AKBUK ONE BRAVO**
After take-off intercept R-104 climb until 7 DME then turn right to VOR then right turn intercept R-322 proceed to AKBUK.
NOTE: MAX IAS 204 KT until turning inbound to VOR and climb gradient 5.5 % (335 FT/NM) until passing VOR.

**AKBUK 1N
AKBUK ONE NOVEMBER**
After take-off intercept R-104 climb until 10 DME then 10 DME arc to the left until intercept R-322 then proceed to AKBUK.
NOTE: Minimum climb gradient 5.7% (346 FT/NM) until intercepting R-322

**AKSEK 1B
AKSEK ONE BRAVO**
After take-off intercept R-104 climb until 7 DME then 7 DME ARC to right until intercepting R-322 proceed to AKSEK.
NOTE: MAX IAS 204 KT until intercepting R-123 and climb gradient 5.7% (346 FT/NM) until crossing 6000 FT.

**YUNUS 1B
YUNUS ONE BRAVO**
After take-off intercept R-104 climb until 7 DME then 7 DME ARC to right until intercepting R-160 proceed to YUNUS.
NOTE: MAX IAS 204 KT until intercepting R-160 and climb gradient 5.7% (346 FT/NM) until crossing 6000 FT.

**CENGO 1B
CENGO ONE BRAVO**
After take-off intercept R-115 proceed to CENGO.
NOTE: climb gradient 5.5 % (335 FT/NM) until joining the AWY.

MILAS BODRUM
VOR 116.7 BDR
NDB 389 BDR
CH 114X
37°15'07"N - 027°40'05"E

AKSEK
38°55'34"N - 028°13'23"E
BDR R-123/D33

YUNUS
36°42'35"N - 027°53'00"E
BDR R-160/D34

CENGO
37°03'56"N - 028°05'28"E
BDR R-115/D23

AKBUK
37°30'00"N - 027°27'38"E
BDR R-322/D18

Scale: 1 : 500,000
km 10 0 10 20
NM 4 0 10

MSA 25 NM BDR VOR
8500' 7000'
090° 270°
5000' 8500'
360°

**BRGs and TRACKs are MAG
ELEV, ALT and HGT in FEET MSL
DIST in NM
VAR 3.5°E (2005)**

DHMI - ANKARA

AIRAC AMDT 04/16

AIP
TURKEY

AD 2 LTFE SID - 2
31 MAR 16

STANDARD DEPARTURE CHART INSTRUMENT (SID) - ICAO (BASED ON BDR VOR/DME)

TRANSITION ALTITUDE
10000 FT

APP : 119.5 - 132.625 - 362.3
TWR : 124.2 - 257.8 - 125.225

MİLAS/BODRUM

RWY 28

AKBUK 1A AKBUK ONE ALPHA	After take-off intercept R-279 climb until 7 DME then turn left to VOR then left turn intercept R-322 proceed to AKBUK.
AKBUK 1E AKBUK ONE ECHO	NOTE: Climb gradient 5% (304 FT/NM) until passing VOR. After take-off intercept R-279 climb until 13 DME then 13 DME ARC to the right until intercepting R-322 then proceed to AKBUK.
AKSEK 1A AKSEK ONE ALPHA	NOTE: Climb gradient 5% (304 FT/NM) until 13 DME fix. After take-off intercept R-279 climb until 7 DME then 7 DME ARC to left until intercepting R-123 proceed to AKSEK.
YUNUS 1A YUNUS ONE ALPHA	NOTE: Climb gradient 5% (304 FT/NM) until intercepting R-123 After take-off intercept R-279 climb until 7 DME then 7 DME ARC to left until intercepting R-160 proceed to YUNUS.
CENGO 1A CENGO ONE ALPHA	NOTE: Climb gradient 5% (304 FT/NM) until intercepting R-160 After take-off intercept R-279 climb until 7 DME then turn left proceed to VOR then establish R-115 proceed to CENGO.
CENGO 1E CENGO ONE ECHO	NOTE: Climb gradient 5% (304 FT/NM) until passing VOR. After take-off intercept R-279 climb until 7 DME then 7 DME arc to left until intercepting R-115 proceed to CENGO.
	NOTE: Climb gradient 5% (304 FT/NM) until intercepting R-115

MİLAS BODRUM
VOR 116.7 BDR
NDB 389 BDR
CH 114X
37°15'07"N - 027°40'05"E

YUNUS
38°42'35"N-027°53'00"E
BDR R-160/D34

AKSEK
38°55'34"N-028°13'23"E
BDR R-123/D33

CENGO
37°03'56"N-028°05'28"E
BDR R-115/D23

AKBUK
37°30'00"N-027°27'38"E
BDR R-322/D18

Scale: 1 : 500,000
km 10 0 10 20
NM 4 0 10

MSA 25 NM BDR VOR
8500' 7000' 5000' 360' 090° 270°

BRGs and TRACKs are MAG ELEV, ALT and HGT in FEET MSL DIST in NM VAR 3.5°E (2005)

DHMI - ANKARA

AIRAC AMDT 03/16

AIP
TURKEY

AD 2 LTFE MRVC-1
17 NOV 11

MINIMUM RADAR VECTORING ALTITUDE CHART
ARR/DEP

BODRUM / MİLAS
INTERNATIONAL

(BASED ON İZMİR/AKDAĞ RADAR 38°33'26"N-026°30'08")

REMARK: REFER TO ENR 2.1 İSTANBUL
FIR REMARKS COLUMN NOTE (3).

CHANGE: CHART REVISED

km 15 0 15 30
NM 6 3 0 15

SCALE : 1 / 750.000

DHMI - ANKARA

AIRAC AMDT 11/11