

**UÇUŞ EĞİTİMİ AMAÇLI
HAVAALANLARININ KONTROL BÖLGESİ
KAPASİTESİNİN MODELLENMESİ**

Fulya AYBEK
Yüksek Lisans Tezi

Sivil Havacılık Anabilim Dalı
Temmuz 2009

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

Fulya AYBEK'in "Uçuş Eğitimi Amaçlı Havaalanlarının Kontrol Bölgesi Kapasitesinin Modellenmesi" başlıklı Sivil Havacılık Anabilim Dalındaki, Yüksek Lisans Tezi 13 Temmuz 2009 tarihinde, aşağıdaki jüri tarafından Anadolu Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

Adı Soyadı	İmza
Üye (Tez Danışmanı) : Yard. Doç. Dr. CEM ÇETEK
Üye : Doç. Dr. AYDAN CAVCAR
Üye : Yard. Doç. Dr. GÜRKAN ÖZTÜRK

Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
..... tarih ve sayılı kararı ile onaylanmıştır.

Enstitü Müdürü

ÖZET
Yüksek Lisans Tezi

**UÇUŞ EĞİTİMİ AMAÇLI HAVAALANLARININ KONTROL BÖLGESİ
KAPASİTESİNİN MODELLENMESİ**

Fulya AYBEK

Anadolu Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Sivil Havacılık Anabilim Dalı

Danışman: Yard. Doç. Dr. Cem ÇETEK

Bu çalışmada yoğunluklu olarak eğitim uçuşlarına hizmet veren özel kullanım amaçlı havaalanlarının pist ve meydan kontrol kapasitesi incelenmiştir. Öncelikle tek pistli havaalanları için geliştirilmiş olan iniş, kalkış ve karma operasyonlara ilişkin kapasite modelleri uçuş eğitimi amacıyla kullanılan havaalanlarına uyarlanmış ve bu analitik modellerden faydalanarak “touch and go” operasyonları için bir pist kapasitesi modeli geliştirilmiştir. Daha sonra, bu tür havaalanlarındaki meydan turu kapasitesinin incelenmesi için ARENA programı yardımıyla bir benzetim modeli oluşturularak sistemin kapasitesi ve darboğazları incelenmiştir. Seçilen havaalanının trafik yapısı incelemeleri ışığında çeşitli trafik ve operasyon karmalarına ilişkin senaryolar oluşturulmuştur. Bu senaryolar doğrultusunda yapılan tekrarlı deneyler ile kontrol bölgesi kapasitesi analizleri çıkartılmıştır. Analitik model sonuçları ile benzetim sonuçları karşılaştırılarak kontrol bölgesi kapasitesi ile pist kapasitesi karşılaştırılmıştır. Bu sonuçlar doğrultusunda, gelecek çalışmalarda irdelenecek kapasite artırıcı öneriler sunulmuştur.

Anahtar kelimeler: Havaalanı kontrol bölgesi kapasitesi, Pist kapasitesi, Meydan Turu Kapasitesi, Analitik modelleme, Benzetim modeli

ABSTRACT
Master of Science Thesis

**CONTROL ZONE CAPACITY MODELING OF AIRPORTS USED FOR
FLIGHT TRAINING OPERATIONS**

Fulya AYBEK

**Anadolu University
Graduate School of Sciences
Civil Aviation Program**

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Cem ÇETEK

This thesis analyzes runway and aerodrome circuit capacities of airports specifically used for flight training operations. In the first part of the study, existing analytic runway capacity models for landing, take-off and mixed operations are adapted for airports serving flight training operations, and then a runway capacity model for touch and go operations is developed based on these analytical models. In the second part of the study, the capacity and bottlenecks of the aerodrome circuit are investigated for these airports using a simulation model in ARENA software. Based on the traffic structure of the selected airport, various scenarios regarding traffic and operation mix are prepared and the control zone capacity of the airport is analyzed for these scenarios. Finally, the results of analytic and simulation models are compared and the proposals regarding the capacity enhancement are presented for the further analysis in future.

Keywords: Airport Control Zone Capacity, Runway Capacity, Aerodrome Circuit Capacity, Analytic Modeling, Simulation Model

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ŞEKİLLER DİZİNİ	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
SİMGELER DİZİNİ	xi
1. GİRİŞ	1
2. HAVAALANI SİSTEMİ	3
2.1. Havaalanı Sistemi ve Elemanları.....	3
2.1.1. Hava tarafı elemanları.....	3
2.1.2. Kara tarafı elemanları.....	4
2.2. Havaalanı Türleri.....	4
2.2.1. Askeri ve sivil amaçlı havaalanları.....	4
2.2.2. Genel havacılık amaçlı havaalanları.....	5
2.3. Havaalanlarının Sistematik Sınıflandırılması.....	6
2.4. Havaalanlarında Hava Trafik Hizmetleri.....	7
3. HAVA ALANI SİSTEMİ KAPASİTESİ	9
3.1. Havaalanı Elemanlarının Kapasitesi.....	10
3.2. Kontrol Bölgesi Kapasitesi.....	11
3.3. Pist Kapasitesi.....	11
3.4. Pist Kapasitesini Etkileyen Faktörler.....	12
3.4.1. Bulut tavanı ve görüş.....	12
3.4.2. Pist sisteminin fiziksel konfigürasyonu.....	13
3.4.3. Hava trafik kontrol sistemi ayırma kuralları.....	13
3.4.3.1. İniş ve/veya kalkış uçağı ile pist üzerindeki diğer operasyon arasındaki ayırma.....	13

3.4.3.2. İki kalkış uçağı arasındaki ayırma	14
3.4.3.3. İniş uçağı ile kalkış uçağı arasındaki ayırma	16
3.4.4. Kullanılan pist stratejileri	16
3.4.5. Pist sistemine operasyon düzenleyen uçak tip karması.....	17
3.4.6. İniş ve kalkış operasyonları oranları	18
3.2.7. Pist sistemindeki çıkış taksi yollarının sayısı ve yerleri.....	19
3.5. Meydan Turu Kapasitesi	19
4. PİST KAPASİTESİNİN MODELLEMESİ.....	21
4.1. İniş Kapasitesinin Modellenmesi	22
4.1.1. İniş operasyonu için ortalama hizmet süresi	22
4.1.2. İniş operasyonunda pist işgal süresi	26
4.2. Kalkış Kapasitesinin Modellenmesi	27
4.2.1. Kalkış operasyonu için ortalama hizmet süresi.....	27
4.2.2. Kalkış operasyonunda pist işgal süresi.....	29
4.3. Karma İniş-Kalkış Operasyonların Modellenmesi.....	30
4.4. Touch and Go Operasyonları	32
5. MEYDAN TURU KAPASİTESİNİN MODELLENMESİ	35
5.1. Meydan Turu Modelinin Genel Tanımı	35
5.1.1. Klasik meydan turu modeli	37
5.1.2. Touch and go meydan turu modeli.....	37
5.2. Meydan Turu Simülasyonu	37
6. ANADOLU HAVAALANI KONTROL BÖLGESİ KAPASİTE ANALİZİ.....	42
6.1. Anadolu Meydanı Özellikleri ve Uygulanan Operasyonlar	42
6.1.1. Anadolu Üniversitesi Havaalanı fiziksel karakteristikleri	42
6.1.2. Uygulanan Operasyon Tipleri	43
6.1.3. Anadolu Üniversitesi uçakları ve performansları.....	45
6.1.4. Anadolu üniversitesi pilotaj bölümü eğitiminin incelenmesi.....	46

6.2. Anadolu Üniversitesi Havaalanı Pist Kapasitesi	48
6.2.1. Uçak performans verilerine göre uçuş sürelerinin hesaplanması.....	48
6.2.2. Trafik karmaşasının belirlenmesi	50
6.2.3. İniş kapasitesi hesapları.....	51
6.2.4. Kalkış kapasitesi hesapları	55
6.2.5. Karma operasyon kapasitesinin hesaplanması	56
6.2.6. Touch and go operasyonları kapasite hesabı.....	59
6.3. Anadolu Üniversitesi Havaalanı Meydan Turu Kapasitesi Analizi	60
6.3.1. Klasik meydan turu modeli 1. Senaryo	60
6.3.2. Klasik Meydan turu modeli 2. Senaryo.....	66
6.3.3. Touch and go operasyonları meydan turu modeli senaryo 1	71
6.3.4. Touch and go operasyonları meydan turu modeli senaryo 2	76
7. SONUÇ	80
KAYNAKLAR	83
EKLER	
EK 1	86
EK 2	90

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
2.1. ICAO Meydan trafik ve taksit paternlerinin kritik noktaları.....	8
3.1. Talep-Gecikme Eğrisi	10
3.2. İniş uçağı ve pist üzerindeki operasyon ayırmaları.....	14
3.3. Kalkış sonrası rotalarına göre iki kalkış uçağı arası ayırma	14
3.4. Kalkış sonrası seviye kat edecek uçaklar arası kalkış ayırması	15
3.5. Karşılıklı yönlerde kalkışın türbölans ayırması	15
3.6. İniş uçağı ve kalkış arasındaki ayırma	15
3.7. Newark Uluslararası Hava Limanı iniş kalkış eğrisi.....	18
3.8. Genel İniş kalkış eğrisi.....	19
4.1. İniş uçaklarının yaklaşma hattı.....	24
4.2. Yaklaşan uçakların mesafe-süre ilişkisi	25
4.3. Uzaklaşan uçakların mesafe-süre ilişkisi	25
4.4. İniş hareketi profili ve safhaları	27
4.5. Ard arda kalkış gerçekleştirecek uçakların kalkış rotası.....	28
4.6. Kalkış hareketinin düşey düzlemdeki profili ve safhaları.....	29
4.7. Karma iniş-kalkış operasyonlarının pist üzerindeki görünümü	31
4.8. Karma iniş-kalkış operasyonlarının mesafe-süre diyagramında gösterimi	32
4.9. Touch and go hareketi profil görünümü	32
5.1. ICAO meydan kritik noktalarına benzetilmiş kritik noktalar	36
5.2. Klasik meydan turu modeli diyagramı	40
5.3. Touch and go meydan turu modellemesi diyagramı	41
6.1. Anadolu Üniversitesi Havaalanı krokisi	43
6.2. Anadolu Üniversitesi Havaalanı 2006 mahalli ve seyrüsefer uçuş dağılımı..	44
6.3. Anadolu Üniversitesi Havaalanı touch and go operasyonu oranları 2006.....	44
6.4. Operasyon sayılarına göre Touch and Go oranları	47
6.5. Kullanılan uçakların performanslarına göre sınıflandırılması	49

6.6. Çift Motorlu uçak oranlarına (P_3) göre iniş kapasitesinin değişimi.....	52
6.7. Saatlik iniş kapasitesinin tek motorlu 2 oranına (P_2) göre değişimi.....	53
6.8. Saatlik iniş kapasitesinin çift motorlu oranına (P_3) göre değişimi.....	54
6.9. Saatlik iniş kapasitesinin tek motorlu 1 oranına (P_1) göre değişimi.....	54
6.10. Tek motorlu 2 grubu oranlarına göre saatlik kalkış kapasitesi ilişkisi.....	56
6.11. Saatlik karma operasyon kapasitesinin kalkış olasılıklarına göre değişimi.....	58
6.12. T.M. 1 uçak oranının artışı ile saatlik touch and go kapasitesi değişimi.....	59
6.13. Ç.M. uçakların oranlarının artışı ile sistemden çıkan uçak sayısı ilişkisi.....	63
6.14. Pist başı bekleme ve çift motorlu oranı artışı.....	63
6.15. Bekleme sürelerinin çift motorlu uçak oranı ile değişimi.....	64
6.16. Çift Motorlu uçakların oranı artışı ile bekleme sürelerinin değişimi.....	64
6.17. Çift motorlu uçakların oran artışı ile havadaki gecikmeleri ilişkisi.....	65
6.18. Çift motorlu uçakların oran artışı ile beklemeye giren uçak sayısı.....	66
6.19. Sistemden çıkan uçak sayısının Tek Motorlu 2 grubu ile değişimi.....	67
6.20. Pist başı bekleme sürelerinin Tek Motorlu 2 grubunun oranı ile değişimi.....	67
6.21. T.M. 1 grubunun bekleme süresinin T.M. 2 grubunun artışı ile değişimi.....	68
6.22. Tek Motorlu 2 grubunun bekleme süresi.....	69
6.23. Havada alınan gecikmelerin T.M. 2 uçak yoğunluğuna göre değişimi.....	69
6.24. Tek Motorlu 2 Uçak oranı ile toplam kalkış sayısı ilişkisi.....	70
6.25. Tek Motorlu 2 uçak oranı artışı ile beklemeye giren uçak sayısı ilişkisi.....	71
6.26. Touch and go oranı %57 iken sistemden uçak sayısının Ç.M. uçakların oranlarına göre değişimi.....	72
6.27. Touch and go oranı %57 iken Pist başında gerçekleşen bekleme sürelerinin çift motorlu uçakların oranlarına göre değişimi.....	72
6.28. Touch and go oranı %57 iken Meydan turunda havada alınan gecikmeler.....	73
6.29. Touch and go oranı %57 iken meydan turunda Ç.M. uçak oranının artışı ile kalkış sayısı ilişkisi.....	74
6.30. Touch and go oranı %57 iken meydan turunda beklemeye giren uçak sayısının çift motorlu uçakların oranlarının artışı ile ilişkisi.....	74

6.31.	Touch and go oranı %57 iken çift motorlu uçak oranının artması ile gerçekleşen touch and go sayısı ilişkisi	75
6.32.	Touch and go oranı ile sistemden çıkan uçak sayısının değişimi	76
6.33.	Touch and go oranları ile değişimi ile gerçekleşen kalkış sayısı değişimi	77
6.34.	Touch and go oranları ile touch and go sayılarının değişimi	78
6.35.	Meydan turunda gecikme alan uçak sayısının touch and go oranlarının artışı ile ilişkisi	79
6.36.	Meydan turunda alınan gecikme sürelerinin touch and go oranları ile değişimi	79
Ek 2.1	Uçakların simülasyon programına giriş modülü.....	90
Ek 2.2	Pist başında ayırmalar için oluşturulmuş karar modülü	91
Ek 2.3.	Pist başı beklemesi.....	91
Ek 2.4.	Pist başında ayırmalar için oluşturulmuş ikinci karar modülü	92
Ek 2.5.	Sistemde kalkan uçak sayısını belirleyen kayıt modülü.....	92
Ek 2.6.	Performans farklılıklarına göre süreçlere dağılım karar modülü.....	92
Ek 2.7.	Süreçlerin işlem sürelerinin girilmesi	93
Ek 2.8.	İniş ayırma kurallarının uygulandığı karar modülü	93
Ek 2.9.	Pistin terk edildiğini bildiren sinyal modülü	94
Ek 2.10.	Touch and go operasyonunu düzenleyecek uçakların ayrıldığı karar modülü.....	94

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
2.1. ICAO Havaalanı Sınırlandırması	6
6.1. Anadolu Üniversitesi'nin sahip olduğu uçak tipleri ve sayıları.....	45
6.2. Anadolu havaalanından uçuş eğitim hizmeti veren uçakların performans verileri	45
6.3. Pilotaj eğitiminde safhalara göre uçulması gereken sorti sayıları.....	46
6.4. Uçak tiplerine göre kalkış ve iniş süreleri.....	48
6.5. Uçak kategorilerinin performans özellikleri ve operasyon süreleri	50
6.6. Performans gruplarına göre operasyon oranları.....	51
6.7. Anadolu Üniversitesi uçaklarının iniş pist işgal süreleri.....	52
6.8. Anadolu havaalanı pistinden ardı ardına iniş yapan uçak çiftleri arasında bulunması gereken ayırma süreleri	52
6.9. Anadolu havaalanında ortalama iniş hizmet süresi ve kapasitesi	52
6.10. Anadolu Üniversitesi uçaklarının kalkış ve kalkış pist işgal süreleri	56
6.11. Anadolu havaalanı pistinden ardı ardına kalkış yapan uçak çiftleri arasında bulunması gereken ayırma süreleri.....	56
6.12. Karma operasyonlar için pist kapasitesinin hesaplanmasında kullanılan parametreler	57
6.13. Karma operasyonlar için pist kapasitesinin hesaplanmasında kullanılan parametreler	57
6.14. Meydan turu safha uzunlukları.....	61
6.15. Meydan turu safhaları süreleri	61

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

- A : Saatlik geliş sayısı
- A.B.D : Amerika Birleşik Devletleri
- AIP : Ulusal Havacılık Yayını
Aeronautical Information Publication
- ATPL : Havayolu Taşımacılığı Pilot Lisansı
Airline Transport Pilot Licence
- $C_{iniş}$: Bir pistin saatlik iniş kapasitesi (opr/sa)
- $C_{kalkış}$: Kalkış operasyonları kapasitesi
- C_{karma} : Karma operasyonların kapasitesi
- C_{TG} : Touch and go operasyonlarının kapasitesi
- ÇM : Çift Motorlu uçak kategorisi
- DA : Saatlik kalkış sayısı
- DME : Mesafe Ölçüm Cihazı
Distance Measuring Equipment
- FAA : Amerikan Federal Havacılık Dairesi
Federal Aviation Administration
- i : Öndeki uçağın tip indisi
- ICAO : Uluslar arası Sivil Havacılık Örgütü
International Civil Aviation Organization
- IFR : Aletli Uçuş Kuralları
Instrument Flight Rules
- ILS : Aletli İniş Sistemi
Instrument Landing System
- j : Arkadaki uçağın tip indisi
- $L_{iniş}$: Uçağın toplam iniş mesafesi (m)

- $L_{kalkış}$: Uçağın toplam kalkış mesafesi (m)
- $n_{kalkış}$: İki iniş operasyonu arasında düzenlenecek kalkış sayısı
- P_1 : Trafik karmasındaki Tek motorlu 1 uçakların oranı
- P_2 : Trafik karmasındaki Tek motorlu 2 uçakların oranı
- P_3 : Trafik karmasındaki çift motorlu uçakların oranı
- P_i, P_j : i ve j tipindeki uçağın trafik karması içindeki olasılığı
- P_{ij} : i ve j tipindeki uçaklarının ardı ardına gelme olasılıkları
- p_n : İki iniş arasında, n adet kalkış gerçekleşme olasılığı
- PPL : Özel Pilot Lisansı
Private Pilot Licence
- R_i : İniş sırasındaki pist işgal süresi (sn)
- R_i^k : i uçağının kalkışında pist işgal süresi (sn)
- R_j^k : j uçağının kalkışında pist işgal süresi (sn)
- R_{iTG} : Touch and go operasyonu yapan i uçağının pist işgal süresi (sn)
- $(R_i)_{iniş}$: i uçağının iniş pist işgal süresi (sn)
- $(R_{irule})_{iniş}$: Uçağın iniş esnasında pist üzerinde koşturma süresi (sn)
- $(R_{irule})_{kalkış}$: Uçağın kalkış esnasında pist üzerinde koşturma süresi (sn)
- $(R_{irule})_{TG}$: Uçağın touch and go esnasında pist üzerinde rule süresi (sn)
- T&G : Saatlik Touch and Go sayısı
- $t_{dönüş}$: i uçağının dönüş hareketi ile pist hattını terk etme süresi (sn)
- $t_{iniş}$: İniş süresi (sn)
- TM 1 : Tek Motorlu 1 uçak kategorisi

- TM 2 : Tek Motorlu 2 uçak kategorisi
- t_{pist} : i uçağının kalktıktan sonra pist eşiğini geçiş süresi (sn)
- t_{taksi} : Taksi hareketi süresi (sn)
- VFR : Görerek Uçuş Kuralları
Visual Flight Rules
- V_i, V_j : i ve j uçaklarının yaklaşma hızları (m/sn)
- V_i^k : i uçağının ortak ilk tırmanma hattı boyunca hızı (m/sn)
- $V_{iniş}$: Uçağın iniş hareketine başladığı andaki hızı (m/sn)
- V_j^k : j uçağının ortak ilk tırmanma hattı boyunca hızı (m/sn)
- $V_{kalkış}$: Uçağın kalkış hızı (m/sn)
- V_{taksi} : İniş taksi hareketi hızı (m/sn)
- $\Delta \bar{t}_{iniş}$: İniş operasyonu için ortalama hizmet süresi (sn)
- $\Delta \bar{t}_{kalkış}$: İniş operasyonunun ortalama hizmet süresi (sn)
- $(\Delta t_{ij})_{iniş}$: İniş uçaklarının arasındaki hizmet süresi (sn)
- $\Delta \bar{t}_{TG}$: Touch and go operasyonunun tamamlanması için gerekli ortalama hizmet süresi (sn)
- $(\Delta t_{ij})_{TG}$: Ardı ardına touch and go operasyonları arasındaki süre (sn)
- $\gamma_{iniş}$: Ortak son yaklaşma hattı uzunluğunu (m)
- $(\Delta t_{ij})_{iniş}$: i ve j tiplerindeki uçakların inişleri arasındaki gerekli ayırma süresi (sn)
- $(\Delta t_{ij})_{kalkış}$: i ve j tiplerindeki uçakların inişleri arasındaki ayırma süresi (sn)

- $(\Delta t_{ij})_{min}$: Havaalanı kontrol bölgesinden çıkışında kalkan uçakların arasında bulunması gereken ayırma süresi (sn)
- δ_{ij} : Havada i ve j uçakları arasındaki minimum uzunlamasına ayırma mesafesi (m)
- δ_{jk} : İniş yapan j uçağı ile kalkış yapan k uçağı arasında bulunması gereken ayırma mesafesi (m)
- $\gamma_{kalkış}$: Ortak ilk tırmanma hattının uzunluğu (m)
- $\Delta t_{kalkış}$: Kalkış operasyonları arasındaki hizmet süresi (sn)

1. GİRİŞ

Gelişen ve her geçen yıl talebin arttığı hava taşımacılığında kapasite en önemli konu haline almıştır. Havaalanı kapasitesi ise özellikle trafik hacmi büyük havalimanlarının gelişimi için hayati öneme sahiptir. Havaalanlarının yapımı ve genişlemesi yüksek maliyet getirdiğinden mevcut yapının en yüksek verim ile kullanılabilmesi için kapasite artırma çalışmaları yapılmaktadır.

Artan hava taşımacılığı talebini karşılayabilmek için hava yolu şirketleri gerek uçak filosu gerekse de personel sayısında genişlemeye gitmektedir. Ülkemizde Türk Hava Yolları 2008 yılı içerisinde yolcu taşımacılığında %15 oranında büyümüştür. Bu büyümeyi destekleyebilmek için uçak filosunda yaptığı genişleme doğrultusunda 2008 yılı içinde 304 yeni pilot alımı yapmıştır [1]. Artan talebe cevap vermek için pilot eğitimine hizmet veren her havaalanı da benzer oranda büyümelidir. Bu açıdan bakıldığında göz önünde olmayan ancak yüksek yoğunluğa sahip özel amaçlı havaalanlarının incelemeye alınması ve geliştirilmesi gerekmektedir [2].

Trafik hacmi bakımından uluslararası havaalanlarına rakip olabilecek yoğunluğa sahip olan özel amaçlı havaalanlarının kapasite çalışmaları alanında görülen bu eksiklik bu çalışmanın çıkış noktasıdır. Özel amaçlı hava alanlarının kapasitesinde yapılabilecek yolcu ve kargo taşımacılığına dolaylı olarak katkıda bulunacaktır.

Bu çalışma içerisinde eğitim uçuşlarına hizmet veren havaalanlarının kontrol bölgesi kapasitesi trafik yapıları ile beraber incelenmiştir. Kontrol bölgesi kapasitesi iki ayrı alt model altında ele alınmıştır. Bunlardan birincisi, havaalanının sahip olduğu pist sisteminin kapasitesidir. Pist sisteminin kapasitesi öncelikle iniş, kalkış ve karma operasyonlar için geliştirilmiş mevcut analitik modeller bu tip havaalanlarına uyarlanarak incelenmiştir. Bunun yanında eğitim uçuşlarının yoğunlukta olduğu havaalanları için vazgeçilmez bir uygulama olan “touch and go” operasyonu için analitik bir kapasite modeli geliştirilmiştir. Çalışmanın ikinci aşaması eğitim uçuşları için anahtar öneme sahip olan meydan turu kapasitesinin incelenmesidir. Meydan turu kapasitesi bilgisayar destekli bir simülasyon modeli oluşturularak havaalanında farklı trafik ve operasyon karmaları için incelenecektir. Böylelikle, eğitim amaçlı uçuşlara hizmet veren havaalanlarının temel özellikleri

olan touch-and go ve meydan turu hareketlerini içeren bir kapasite analizi gerçekleştirilmiştir.

Çalışmanın 2. Bölümünde havaalanı genel tanımı ve havaalanları elemanlarının tanımları, havaalanı sınıflandırmaları ile hava trafik hizmetleri açıklanmıştır.

Çalışmanın 3. Bölümünde kapasite kavramı ile havaalanı kapasitesi kavramları açıklanmıştır. Havaalanı kapasitesini etkileyen faktörler irdelenmiştir.

4. Bölümde pist kapasitesinin modellenmesinde kullanılan analitik yaklaşımlar açıklanmıştır. Kalkış, iniş kapasiteleri ve karma operasyonların kapasitelerinin analitik modelleri açıklanarak ve touch and go modeli geliştirilmiştir.

5. Bölümde ise meydan turu kapasitesinin bilgisayar destekli modellemesinin yöntemi ve akışı yer almaktadır. Meydan kapasitesi modellemesinde meydan turu operasyonlarının touch and go operasyonları ile etkileşimini incelemek amacı ile iki model geliştirilmiştir. Bu iki model yapıları bu bölüm içerisinde açıklanmıştır.

6. Bölümde uygulama alanı olarak seçilen Anadolu Üniversitesi Havaalanı üzerinde analitik ve simülasyon modellerinin uygulanması yer almaktadır. Bu doğrultuda Anadolu Üniversitesi trafik yapısı ve uçak karması incelenmiştir. Açıklanan bu yapı üzerinde analitik modeller uyarlanarak kapasite hesaplamaları yapılacaktır. Simülasyon modeli için geliştirilmiş senaryolar ile kontrol bölgesi kapasitesi hesaplanmış, darboğazlar yorumlanmıştır.

Çalışmanın amacı özel kullanımlı havaalanları için kullanılabilir bir kapasite modeli geliştirmektir. Özel amaçlı havaalanları için uyarlanabilecek bu kapasite modeli ile havaalanlarını kapasite analizlerinin yapılarak gelişimine katkıda bulunulması hedeflenmiştir.

2. HAVAALANI SİSTEMİ

2.1. Havaalanı Sistemi ve Elemanları

Havaalanı, yolcu ve uçak trafiğinin düzenlenmesi için bina, tesis ve donanımları, uçakları uçuşa hazırlamak amacıyla gerekli alt yapıları kapsayan ve uçakların iniş, kalkış ve yer hareketlerini yapmasını sağlamak için özel bir şekilde düzenlenmiş veya hazırlanmış, kara ya da suda olabilen sahalar olarak tanımlanmaktadır [3,4]. Karmaşık endüstriyel hizmet üretim sistemleri olan hava alanları, yolcu ve kargonun diğer taşıma modları ile buluşmasını da sağlayan merkezlerdir. Bir havaalanı bir veya birden fazla pist kompleksi, yolcu ve kargonun uçaklara taşındığı terminal binaları ve diğer yardımcı binalardan oluşmaktadır. Havaalanı sistemini oluşturan bu elemanlar işlevlerine göre “hava tarafı” ve “kara tarafı” olarak iki temel grupta incelenmektedir.

2.1.1. Hava tarafı elemanları

Havaalanının hava tarafı elemanları; uçakların iniş-kalkış ve yerdeki hareketleri için tahsis edilmiş bölümlerdir. Bir yolcunun kargonun uçakla ilk temas noktasından itibaren uçağın pistten kalkışını gerçekleştirdiği noktaya kadar her bölge bu bölüm içerisinde yer almaktadır. Ayrıca farklı bir yaklaşıma göre, uçak yaklaşma ve kalkış rotalarını içine alan hava sahası, pist kullanımına olan etkisinden dolayı, hava tarafının bir bölümü olarak kabul edilir [5]. Hava tarafının ana bileşenleri şunlardır:

i. Pist: uçakların iniş ve kalkışları için düzenlenmiş, havaalanı arazisi içindeki dikdörtgen alanlardır [3,4]. Amerikan Federal Havacılık Dairesi (FAA)'in tanımına göre ise, havaalanı içerisindeki iniş alanı ile birlikte uçakların iniş ve kalkış yollarını da kapsar [6].

ii. Taksi yolu: bir havaalanında uçakların yerde pist ve apron gibi bölümler arasında gidip gelmeleri için düzenlenmiş standart ölçülerdeki yollardır [3].

iii. Apron: uçakların yolcu ve kargo indirime ve bindirme, yakıt alma, park etme ve bakımı amacıyla hazırlanmış alanlardır [3].

iv. Hangar ve bakım tesisleri: Hava alanlarında uçakların bakım ve onarımlarının yapılması veya muhafaza edilmesi amacıyla kullanılan genellikle büyük yapılı binalardır. Bu binalar devlete özel olabildiği gibi hava yolu şirketlerine de ait olabilmektedir.

2.1.2. Kara tarafı elemanları

Havaalanının kara tarafı bölümü yolcuların uçağa girişlerinden önceki süreçlerini geçirdikleri bölümdür. Kara tarafı iki gruba ayrılır; birincisi yolcuların şehirdeki bir noktadan havaalanına varış sürecini içeren kara-havaalanı bağlantı sistemidir (örneğin; metro sistemi, havaalanı servisleri, havaalanı otopark alanları vs.). İkincisi ise yolcu ve hava kargo (posta için yükleme-boşaltma ve depolama amaçlı) terminal binalarıdır. Bu bölüm içerisinde; yolcu yükleme ve bekleme alanları, bilet satış ve check-in, bagaj işlemlerinin yapıldığı noktalar, restoranlar, mağazalar, araba kiralama büroları ve bankaların bulunduğu alanları bulunur [7,8].

2.2. Havaalanı Türleri

Hava alanları kullanım alanlarına, hizmet verdikleri trafik hacmine ve sahip oldukları fiziksel tesis ve donanımlara göre büyük farklılıklar göstermektedir. Bu nedenle havaalanlarının sınıflandırılmasında ulusal ve uluslar arası havacılık otoritelerinin farklı yaklaşımları mevcuttur. Havaalanlarını, en genel şekliyle kullanım alanlarına göre askeri, sivil ve genel havacılık amaçlı uçuş faaliyetlerine hizmet veren havaalanları olarak incelemek mümkündür.

2.2.1. Askeri ve sivil amaçlı havaalanları

Askeri havaalanları silahlı kuvvetlerce gerçekleştirilen her türlü uçuş faaliyetine (hava önleme, bombardıman, keşif, personel ve teçhizat taşıma vb.) hizmet veren havaalanlarıdır. Sivil amaçlı havaalanları ise ticari yolcu ve kargo taşımacılığı gerçekleştiren uçuş faaliyetlerine hizmet veren havaalanlarıdır. Bu havaalanları hizmet verdikleri trafik türlerine göre uluslar arası tarifeli, uluslararası tarifersiz ve iç hat hava trafiğine açık havaalanları olarak alt kategorilere ayrılmaktadır [9]. Gereken fiziksel ve yasal koşullarının sağlanması halinde askeri ve sivil amaçlı havaalanlarının hem askeri hem de sivil uçuş faaliyetleri için

kullanımı mümkündür. Bu tür havaalanları sivil-askeri uçuş faaliyetlerine açık havaalanları olarak adlandırılmaktadır [9].

2.2.2. Genel havacılık amaçlı havaalanları

Genel havacılık amaçlı uçuş faaliyetlerine hizmet veren havaalanları askeri ve sivil amaçlı uçuşlar dışında kalan tüm ticari ve ticari olmayan uçuş faaliyetlerine hizmet veren havaalanlarını içermektedir. Bu uçuş faaliyetleri arasında iş amaçlı kişi veya şirket taşımacılığı; sportif ve hobi amaçlı uçuş etkinlikleri; ticari ve endüstriyel amaçlı (hava taksi, zirai mücadele, yangın söndürme, meteorolojik gözlem, fotoğraf, haritacılık, reklâm, acil tıbbi ve insani yardım v.b.) uçuş faaliyetleri ve uçuş eğitimi amaçlı uçuş faaliyetleri girmektedir [10]. Yine gereken fiziksel ve yasal koşullarının sağlanması halinde genel havacılık amaçlı havaalanları sivil ve/veya askeri uçuş faaliyetlerine de hizmet verebilir.

Genel havacılığa hizmet veren havaalanları sözü edilen uçuş faaliyetlerinin ağırlıklı olarak sadece birine hizmet vermekteyse, bu havaalanını “özel-amaçlı havaalanı” olarak adlandırmak da mümkündür. Özel amaçlı havaalanları, kullanıldıkları amaca göre uygulanan operasyon tipleri, uçak tipleri ve fiziksel donanım açısından diğer havaalanlarına göre farklılık gösterirler. Bu çalışmada, özel amaçlı havaalanlarından eğitim amaçlı uçuş faaliyetlerine hizmet veren havaalanları incelenecektir. Bu tür havaalanları genellikle tek piste sahiptirler ve performans açısından çeşitlilik arz etmeyen uçak tiplerine (genellikle piston pervaneli piston-motorlu ve turbo-prop çift motorlu uçaklara) hizmet vermektedirler. Eğitim amaçlı kullanılan havaalanlarında, diğer havaalanlarında uygulanan iniş-kalkış operasyonlarının yanı sıra eğitim amaçlı meydan turu ve “touch-and-go” gibi özel manevraları da yoğunlukla düzenlenmektedir. Bu nedenle, hava trafik hizmeti açısından uçuş faaliyetlerinin yoğunluğu diğer havaalanlarına göre nicelik olarak daha az ama nitelik olarak daha yüksek olabilmektedir.

2.3. Havaalanlarının Sistematik Sınıflandırılması

Havaalanları, trafik hacmine (günlük, aylık, yıllık operasyon sayısı vb.); fiziksel tesislerinin (pist, taksi yolları, terminal binaları vb.) büyüklüklerine ve dolayısıyla hizmet sunduğu uçakların tiplerine (dar, orta ve geniş gövdeli vb.) göre havaalanları büyük, küçük ve orta ölçekli olarak sınıflandırılabilirler. Bunun yanında, sahip oldukları seyrüsefer yardımcıları (ILS, DME vb.), acil yardım donanımları ve itfaiye araçlarına göre de kategorilere ayrılmaktadırlar [4]. Bu donanımların çeşitleri ve gereklilikleri ile ilgili bilgiler Uluslararası Sivil Havacılık Örgütü (ICAO) dokümanında mevcuttur [3].

Yukarıda belirtilen ölçütlere yapılan göre havacılıkta en yaygın olarak kullanılan sistematik sınıflandırmalar ICAO ve FAA sınıflandırmalarıdır. Chicago anlaşmasıyla benimsenen ICAO yaklaşımında her bir havaalanına, sahip olduğu pistlerinin fiziksel özelliklerine göre, bir harf ve rakamdan oluşan bir kod atanmaktadır. Bu sınıflamada rakam kodu havaalanının sahip olduğu pist uzunluğunu, harf kodu ise o havaalanının hizmet verebileceği uçakların kanat açıklığı ve iniş takımı dış tekerlek mesafesi üst limitini göstermektedir (Çizelge 2.1.). Çizelgede verilen referans kodları, belirli bir uçuş operasyonu planlanırken o operasyon için en uygun havaalanının veya en uygun uçak tipinin seçiminde kullanıcılara büyük kolaylıklar sağlamaktadır [3].

Çizelge 2.1. ICAO Havaalanı Sınırlandırması

Kod No.	Pist Uzunluğu	Kod Harfi	Kanat Açıklığı	Tekerlek Dış Kenar Arası Mesafe
1	800 m'den az	A	15 m'den az	4,5 m'den az
2	800 m-1.200 m	B	15 m-24 m	4,5 m – 6 m
3		C	24 m-36 m	6 m – 9 m
4		D	36 m-52 m	9 m – 14 m
		E	52 m-65 m	9 m – 14 m

FAA sınıflandırmasında ise havaalanları hizmet verdiği yolcu trafiği ve uçuş faaliyetlerinin türü temel alınmaktadır. Bu sınıflandırmada Amerika Birleşik Devletleri (A.B.D)'de faaliyet gösteren havaalanları “Havaalanı ve Havayolu Taşımacılığı Geliştirme Kanunu”na (1982) göre temel havaalanları; ticari hizmet veren havaalanları; genel havacılık havaalanları ve hava trafiğini rahatlatıcı

havaalanları olarak dört ayrı grupta incelenmektedir [11]. Temel havaalanları yılda 1.000.000'dan fazla yolcu kapasitesi olan havaalanlarıdır. Tarifeli yolcu uçuşlarına hizmet veren ve yıllık 50.00 ile 1.000.000 arasında yolcu kapasitesine sahip havaalanları ise ticari hizmet veren hava alanları olarak adlandırılmaktadır. Genel havacılık hava alanları özellikle iş ve özel amaçlı uçuş operasyonları için kullanılan ve yılda 2500'den az yolcuya hizmet veren hava alanlarıdır. Trafiği rahatlatıcı hava alanları ise temel hava alanlarında yaşanan tıkanıklıkları hafifletmek ve genel havacılık operasyonlarına daha fazla giriş sağlamak amacıyla kullanılmaktadır.

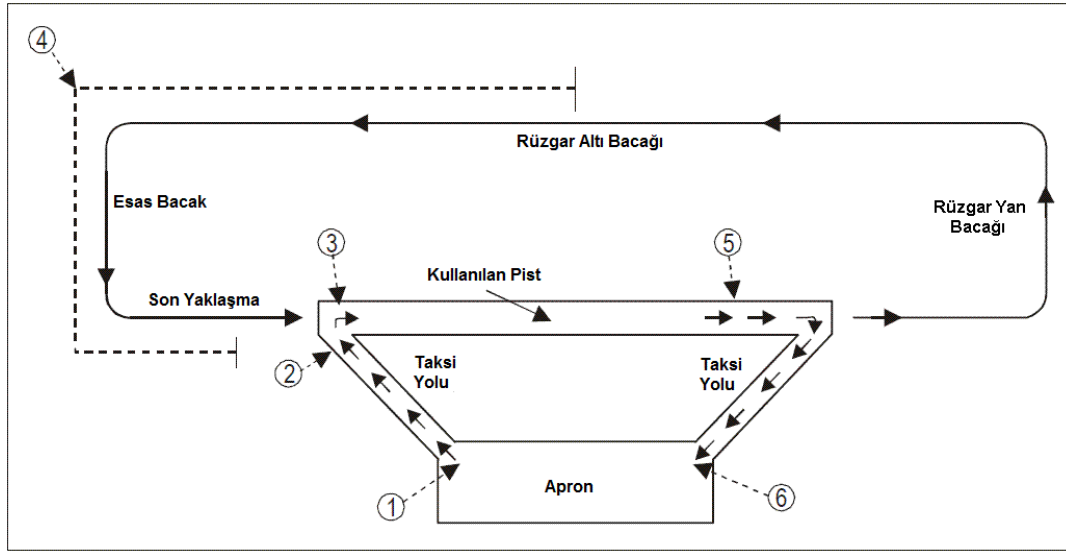
2.4. Havaalanlarında Hava Trafik Hizmetleri

Hava trafik hizmeti emniyetli verimli ve ekonomik bir hava trafik akışı sağlamak için verilen hizmetlerin bütünüdür. Bu anlamda, hava trafik hizmeti; trafik kontrol hizmetleri, uçuş bilgi hizmetleri, hava trafik tavsiye hizmeti ve ikaz hizmetlerini içermektedir [9]. Bu hizmetlerden hava trafik kontrol hizmetleri ise, hizmet verilen uçuş faaliyetlerinin aşamalarına göre meydan kontrol hizmeti, yaklaşma kontrol hizmeti ve saha kontrol hizmetini içermektedir [12]. Bu çalışmanın kapsamı yalnızca havaalanlarının manevra sahaları ile sınırlı olduğundan meydan kontrol hizmetiyle sınırlıdır.

Meydan kontrol hizmeti, meydan trafiğini oluşturan manevra sahası üzerindeki bütün trafiğin ve meydan civarında uçan bütün uçakların emniyetli, verimli ve düzenli hareketlerini sağlamak amacı ile havaalanı ve etrafındaki verilen hava trafik kontrol hizmetidir. Bu hizmet kapsamında meydan kontrol kuleleri, meydan trafik parternlerini de kapsayacak şekilde belirlenen sorumluluk sahaları içinde uçan uçaklara, iniş kalkış yapan uçaklara, havaalanı manevra sahası üzerinde hareket eden uçaklara ve yer araçlarına ve bu araçların diğer manialarla çarpışmalarını önlemek amacı ile bilgiler ve müsaadeler yayınlamakla yükümlüdür [13].

Meydan kontrolü içerisinde uçaklar iki temel trafik paternine göre hareket etmektedirler. Bunlar meydan taksi paterni ve meydan trafik paternidir (Şekil 2.1). Meydan taksi paterni uçağın park sahasından kalkışını gerçekleştirmek üzere pist başına gelişi olan taksi hareketinin uygulandığı paternidir [3]. Meydan trafik paterni rüzgâr üstü bacağı, rüzgâr yan bacağı, esas bacak ve son yaklaşımdan oluşmakta ve

uçakların havadaki hareketlerini kapsamaktadır. Rüzgâr üstü bacağı iniş yönünde iniş pistine paralel bir uçuş yoludur. Rüzgâr yan bacağı iniş pistinin sonu ile yani kalkış yönüyle dik açı oluşturan bir uçuş yoludur. Esas Bacak iniş pistinin yaklaşma yönündeki sonuyla dik açı oluşturan, pist merkez hattı uzantısıyla kesişen ve rüzgâr altı bacağının uzantısı olan bir uçuş yoludur. Son yaklaşma ise, pist merkez hattının iniş yönündeki uzantısı boyunca esas bacadan piste kadar uzanan bir uçuş yoludur [14].

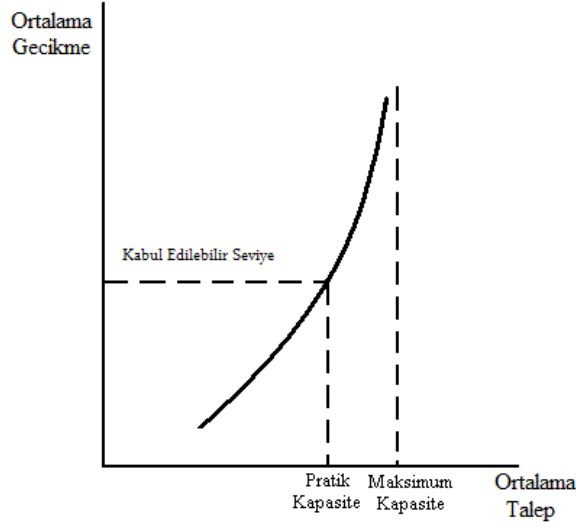


Şekil 2.1. ICAO Meydan trafik ve taksi paternlerinin kritik noktaları [13]

3. HAVA ALANI SİSTEMİ KAPASİTESİ

En genel tanımı ile kapasite; bir sistemin ya da elemanının verilen koşullar altında, belirlenmiş zaman diliminde verebileceği hizmet miktarıdır [7]. Diğer bir tabir ile kapasite, bir havaalanının belirli bir trafik hacmine hizmet verebilme yeteneği olarak tanımlanmaktadır. Bu anlamda kapasite havaalanı herhangi bir aksamaya neden olmaksızın gerçekleştirilen faaliyetlerin üst limitidir [5]. Diğer bir tanımla kapasite trafiğin en yoğun olduğu saatler ve güvenlik standartları dahilinde gerçekleştirilen en fazla uçak iniş-kalkış sayısıdır [15]. Ancak talep kapasiteye yaklaştığında hizmet bekleyenlerin sayısı artmakta ve gecikmeler ortaya çıkmaktadır. Kapasiteye oranla talep arttıkça, kuyruklar uzamakta ve gecikmeler artmaktadır [16].

Bu yaklaşımlar doğrultusunda kapasite tanımında iki kavram ortaya çıkmaktadır. Bunlardan birincisi A.B.D.'de geçmişten bu yana yaygın olarak kullanılan pratik kapasite kavramıdır. Pratik kapasite; belirlenmiş bir zaman dilimi içerisinde ortalama kabul edilebilir gecikme ile sistem içerisinde hizmet verilebilecek uçuş operasyon sayısıdır. Bu kapasite genellikle havaalanı için farklı koşullar altında saatlik, günlük ya da haftalık ölçümler yapılarak hesaplanır [7]. Diğer bir tanım olan maksimum kapasite kavramı ise; belirli bir zaman dilimi içinde gecikmeler göz ardı edilerek, talep devam ettiği sürece sistem içinde akabilecek maksimum uçuş operasyon sayısıdır. Maksimum kapasite gerçekleştirilebilecek maksimum sayıdır. Ortalama gecikme ne kadar artarsa artsın maksimum kapasite değeri aşılamaz. Bu sebeple bu tanıma doymuş kapasite veya maksimum çıktı değeri de denmektedir. Her iki kapasite tanımının ortalama gecikme ve ortalama taleple olan ilişkisi Şekil 3.1.'de gösterilmiştir [16]. Kabul edilebilir gecikme seviyesinde gerçekleşen kapasite pratik, uygulanabilir kapasitedir. Bu noktadan sonra da kapasite artışı gerçekleştirilebilir ancak bu durumda gecikmeler yüksek hızla artmaktadır. Gecikmelere rağmen ulaşılabilecek en yüksek kapasite ise maksimum kapasitedir.



Şekil 3.1. Talep-Gecikme Eğrisi [5,16]

3.1. Havaalanı Elemanlarının Kapasitesi

Bölüm 2.1’de belirtildiği gibi havaalanları karmaşık hizmet üretim sistemleridir ve bu sistem içindeki her bir elemanın da belirli bir kapasitesi bulunmaktadır. Bu sistem içerisinde kapasitesi en düşük olan eleman havaalanının toplam kapasitesini belirleyeceğinden, her bir elemanın kapasitesinin kendi başına titizlikle incelenmesi önemlidir. Ancak her bir eleman incelenirken, o elemanların girdi ve çıktı ilişkisine göre farklı kapasite ölçütlerinin kullanılması söz konusudur. Eğer havaalanının kara tarafı kapasitesi incelenecekse havaalanına karadan yolcu/kargo ulaştırma sisteminin, terminal binasının, uçak park kapılarının yolcu ve/veya kargo kapasitesi temel ölçüt seçilirken, hava tarafı kapasitesi için pist, taksi yolları ve apron için hizmet sunulabilecek uçak ya da operasyon sayısı önemlidir. Bu çalışma havaalanının hava tarafı kapasitesinin incelenmesiyle sınırlı olup, kara tarafı elemanları kapasitesi hakkında detaylı bilgi ilgili kaynaklarda mevcuttur [17, 18].

Havaalanı hava tarafı kapasitesini genel olarak pist sisteminin kapasitesi, apron/yaklaşma kapılarının kapasitesi ve taksi yolu sisteminin kapasitesi başlıkları altında incelemek mümkündür. Hava tarafı kapasitesini belirleyen en önemli eleman ise pist sistemi kapasitesidir [7]. Bunu yanında havaalanı uçuş eğitimi amacıyla kullanılmaktaysa havaalanının hemen üzerindeki hava sahasında gerçekleştirilecek meydan turu kapasitesinin de göz önünde bulundurulması

gereklidir. Bundan dolayı bu çalışmanın kapsamı pist ve meydan turu kapasitesiyle sınırlandırılmıştır. Her iki elemanın kapasitesi havaalanının “kontrol bölgesi” kapasitesi başlığı altında incelenecektir. Hava tarafı kapasitesine bağlı apron/yaklaşma kapıları ve taksi yollarının kapasiteleri üzerinde ilgili kaynaklarda durulmuştur [7, 16].

3.2. Kontrol Bölgesi Kapasitesi

Kontrol bölgesi, her havaalanı için yarıçapı tanımlanmış, yer yüzeyinden belirlenmiş bir üst irtifaya kadar olan silindirik hava sahasıdır. Bu bölgedeki trafik de pist sistemi üzerindeki trafik gibi meydan kontrol kulesinin sorumluluğu altında olduğu için bu çalışma kapsamında pist sistemi de kontrol bölgesinin bir alt elemanı olarak incelenecektir. Bu durumda kontrol bölgesi kapasitesi pist sistemi ve kontrol bölgesi hava sahası içinde verilebilecek maksimum hizmet sayısı olarak tanımlanabilir. Bu hizmetler pist ve meydan turu operasyonlarını kapsamaktadır. Hem pist kapasitesi hem de meydan turu kapasitesi eğitim amaçlı havaalanlarının toplam kapasitesinin etkin kullanımında kritik önem taşımaktadır.

3.3. Pist Kapasitesi

Pist kapasitesi, birim zamanda bir piste belirli performanslardaki uçakların düzenleyebilecekleri maksimum operasyon (iniş-kalkış) sayısıdır. Pist, havaalanı sistemine uçakların giriş ve çıkış noktası olduğundan pist kapasitesi havaalanı kapasitesi için belirleyici rol oynamaktadır. Pist kapasitesinin arttırılmasına yönelik çok sayıda çalışma vardır. Eurocontrol ve pek çok uluslar arası sivil havacılık kurumları pist kapasitesini geliştirmenin önemine ve yöntemlerine yönelik pek çok çalışma gerçekleştirmiştir. Bu çalışmalar içerisinde yolcu taşımacılığına yönelik Aletli Uçuş Kuralları'na (IFR) göre uçuşların düzenlendiği havaalanları için pist kapasitesi ve düğüm noktaları incelenmiştir. Pist kapasitesinin tek pist veya çoklu pist konfigürasyonlarında nasıl etkilendiği ilgili kaynaklarda incelenmiştir [19- 21].

Operasyon el uygulamasında pist kapasitesinin belirlenmesi için geliştirilmiş bilgisayar yazılımları kullanılmaktadır. Bu programlar ölçümlemek istenilen sistem için pist kapasitesini etkileyen faktörleri ve herhangi bir kullanılan pist konfigürasyonunu ele alabilmektedir. Farklı senaryolar altında oluşan koşulları da

inceleyebilmektedir [16]. Bu programlardan biri Eurocontrol'ün kullandığı Camaca programıdır. Camaca planlama ve geliştirme safhasında simülasyon giderlerini kısma amaçlı geliştirilmiş, havaalanı pist, taksi ve apron sistemlerini inceleyerek pratik kapasiteyi hesaplamaya yada öngörmeye yarayan bir sistemdir [22]. Ancak özel amaçlı kullanılan çoğunlukla Görerek Uçuş Kuralları'na (VFR) göre yapılan uçuşlara hizmet veren havaalanlarının karakteristiklerini ve kapasitesini inceleyen, modelleyen bir çalışma bulunmamaktadır.

3.4. Pist Kapasitesini Etkileyen Faktörler

Kapasite incelenirken, onu etkileyen faktörlerin belirlenmesi önemli adımlardan biridir [16]. Bu faktörler kapasiteyi geçici bir süre ya da daimi olarak sınırlandırabilir. Pist kapasitesi ele alındığında, onu etkileyen temel faktörleri şu şekilde sıralamak mümkündür [16]:

1. Bulut tavanı ve görüş koşulları
2. Pist sisteminin fiziksel konfigürasyonu
3. Hava trafik kontrol sistemi ayırma kuralları
4. Kullanılan pist stratejileri
5. Pist sistemine operasyon düzenleyen uçak tip karması
6. İniş ve kalkış operasyonları oranları
7. Pist sistemindeki çıkış taksi yollarının sayısı ve yerleri

3.4.1. Bulut tavanı ve görüş

Bulut tavanı ve görüş piste düzenlenebilecek operasyon tiplerini etkilemektedir. Görüş koşulları uçuş operasyonunun IFR veya VFR olacağını doğrudan etkilemektedir. Görerek şartlarda gerçekleştirilen VFR uçuşları ve aletli uçuşun düzenlendiği IFR uçuşlar için meteorolojik ve gün içerisi zaman dilimleri ile ilgili tanımlanmış kurallar Türkiye Havacılık Bilgi yayınında ayrıntılı olarak tanımlanmıştır [23]. Düzenlenecek operasyonların uçuş tiplerine bağlı olarak uçak tip karması da etkilenmektedir. Aletli uçuş kurallarına göre düzenlenen uçuşlarda da ayırmaların artırılması gerektiğinden ve pilot reaksiyon süresi beklenenden uzun olabileceğinden trafik akışı yavaşlatmaktadır. Hava koşulları havaalanı

modellemesinde oldukça zor modellenebilecek bir konudur Peterson 1995'deki çalışmasında bunu da ortaya koymaya çalışmıştır [24].

3.4.2. Pist sisteminin fiziksel konfigürasyonu

Pist sisteminin fiziksel konfigürasyonu pistlerin sayısı, konumu ve oryantasyonuna, birden fazla pist bulunan hava alanları için pistlerin birbirlerine göre konumu şeklinde ifade edilebilir. Pist sistemi konfigürasyonları tek pist, paralel pistler, kesişen pistler ve doğrultuları kesişen pistler (örneğin açık V pistler) olarak dört grupta toplanabilir. Paralel pistlerin eş zamanlı operasyonlara olanak vermesi veya bazı pistler için yapılabilecek trafik gruplaması, örneğin bazı pistlerin sadece genel havacılık amaçlı kullanılması, kapasiteyi arttırıcı durumlardır [16]. Bu çalışmada tek piste sahip havaalanı üzerinde durulacaktır.

3.4.3. Hava trafik kontrol sistemi ayırma kuralları

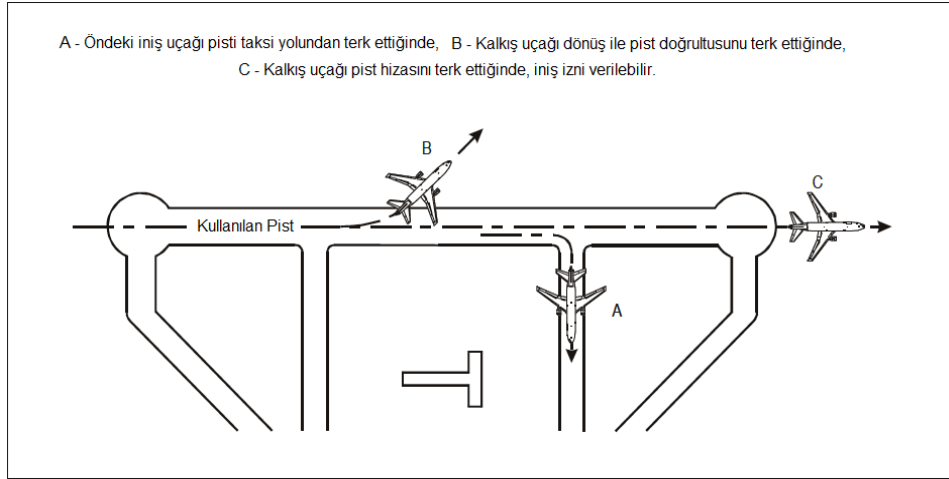
Hava trafik kontrol ayırma kuralları, uçakların emniyetli bir şekilde uçuşlarını tamamlamaları için geliştirilmiş kurallardır. Tüm dünyada geçerli kabul edilerek yürütülmekte olan mevcut ayırma kuralları ICAO'nun Rules of the Air and Air Traffic Services dokümanında tanımlanmıştır [13]. Bu çalışma içerisinde meydan kontrol operasyonları inceleneceğinden meydan kontrol ayırmaları üzerinde durulacaktır. Meydan kontrol ayırmaları aşağıda açıklanmıştır.

3.4.3.1. İniş ve/veya kalkış uçağı ile pist üzerindeki diğer operasyon arasındaki ayırma

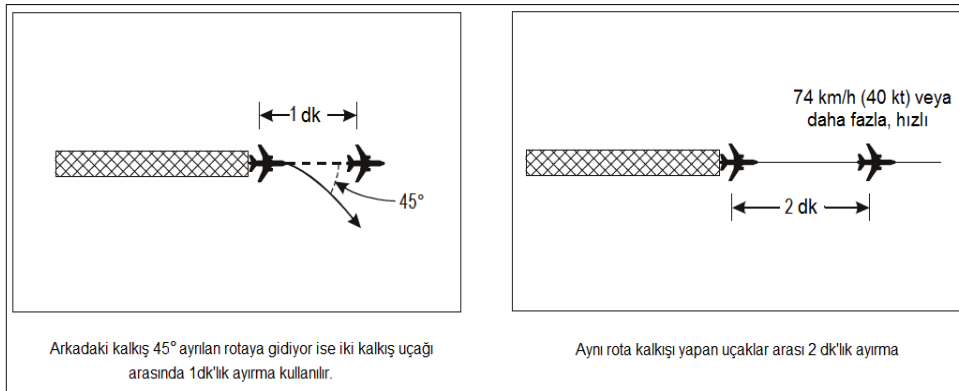
Bir uçağın piste operasyon düzenleyebilmesi için, pistin uçak ve uçuşa tehlike oluşturabilecek tüm mânialardan (çalışma aracı, hayvan vb.) arındırılmış olması gerekir. Şekil 3.1.'de görüldüğü gibi kalkış uçağı pist doğrultusunu veya pist hizasını terk ettiğinde, iniş uçağı ise taksi yolundan pisti terk ettiğinde iniş uçağına iniş izni verilebilir.

3.4.3.2. İki kalkış uçağı arasındaki ayırma

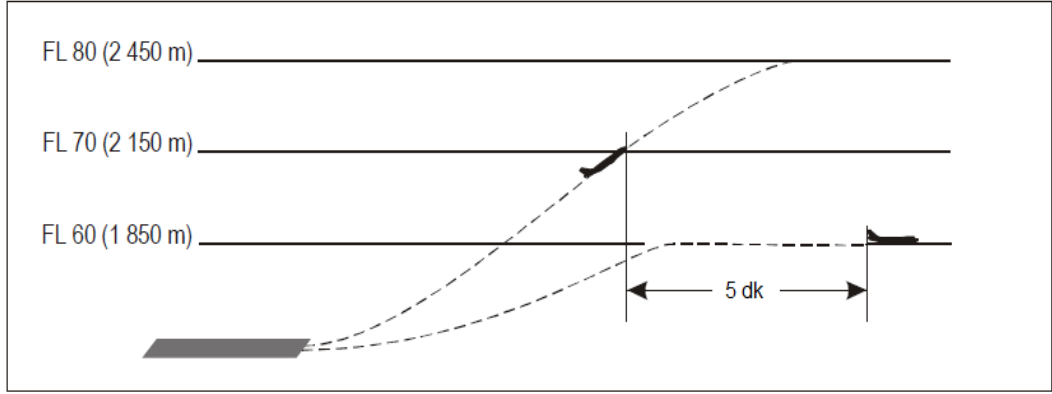
Şekil 3.2.'de gösterildiği gibi aynı pistte operasyon düzenleyen iki kalkış uçağından öndeki uçak arkadaki uçaktan 40 kt (75 km/sa) veya daha hızlı ve uçakların kalkış rotaları aynı ise aralarında bulunması gereken minimum ayırma 2 dk'dır. Ancak arkadan kalkan uçağın kalkış rotası öndekine göre en az 45° farklı bir rotada ise bu ayırma 1 dk'ya inmektedir (Şekil 3.2.). Eğer iki kalkış uçağının da rotaları aynı ve arkadaki uçak öndeki uçağın seviyesini kat edecek ise aralarında bulunması gereken ayırma 5dk'dır (Şekil 3.3.). Kalkış uçakları pist değişmesi halinde ters yönde kalkacak ise, Birbirlerinin kuyruk türbülansından etkilenmemeleri için aralarında 2 dk'lık ayırma bulunmalıdır (Şekil 3.4.).



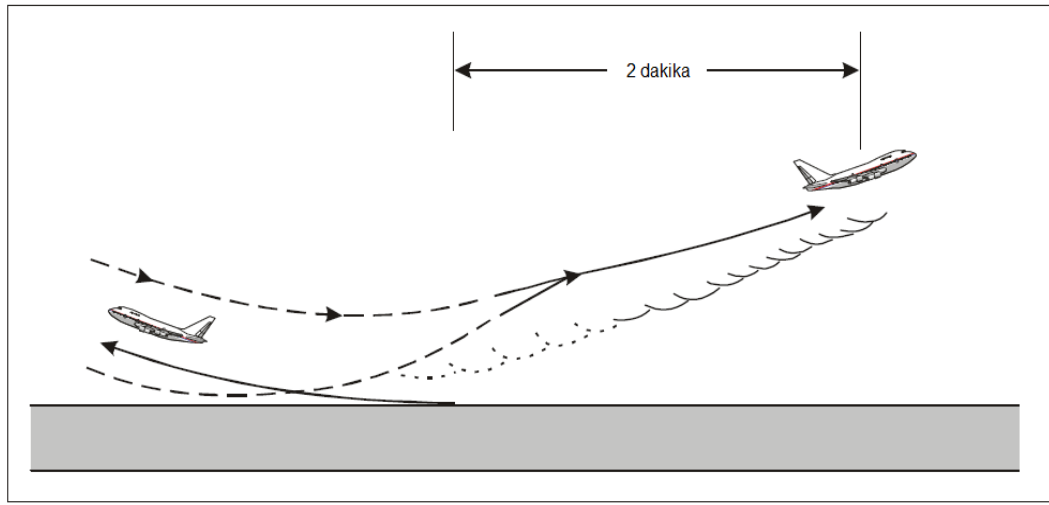
Şekil 3.2. İniş uçağı ve pist üzerindeki operasyon ayrımları [13]



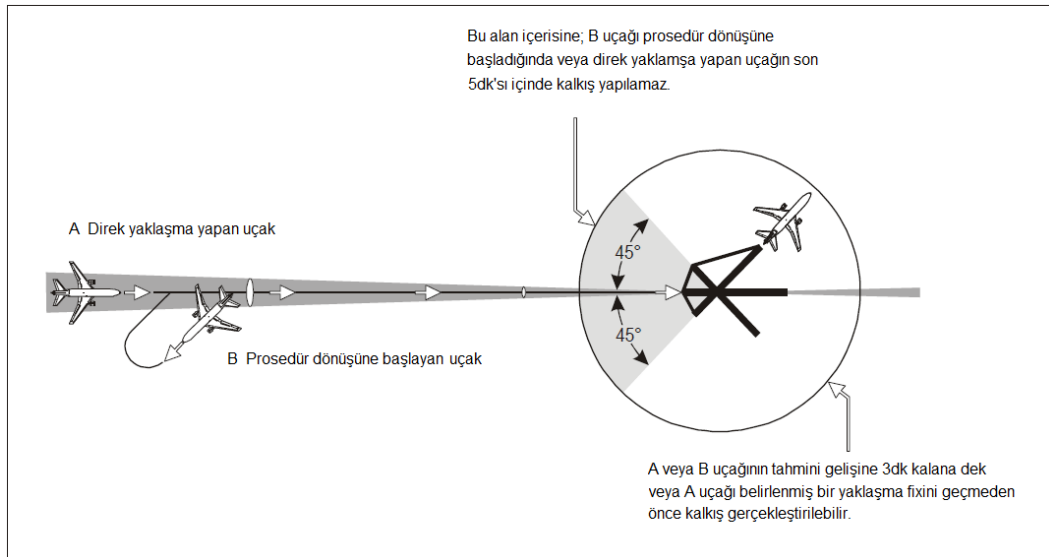
Şekil 3.3. Kalkış sonrası rotalarına göre iki kalkış uçağı arası ayırma [13]



Şekil 3.4. Kalkış sonrası seviye kat edecek uçaklar arası kalkış ayırması [13]



Şekil 3.5. Karşılıklı yönlerde kalkışın türbülans ayırması [13]



Şekil 3.6. İniş uçağı ve kalkış arasındaki ayırma [13]

Bu kuralların yanı sıra kalkış operasyonlarında uçağın pist hizasını terk etmesinin ardından ya da pist üzerinden dönüş hareketi ile ayrılmasının ardından diğer uçak pistten kalkışa başlayabilir [13]. Şekil 3.3.'deki koşullar sağlandığında ardi ardına kalkış gerçekleştirilebilir.

3.4.3.3. İniş uçağı ile kalkış uçağı arasındaki ayırma

Bir iniş uçağı, prosedür dönüşüne başladıktan sonra pist doğrultusundan 45° sağa ve sola veya uçak iniş pistine direk yaklaşıyor ise inişine kalan 5dk içinde kalkış gerçekleştirilemez. Diğer yönlere kalkışlarda, direk yaklaşan veya prosedür dönüşü yapan uçağın inişine 3 dakika kala kalkış izni verilmez. (Şekil 3.5.).

Bu kurallar havacılık emniyetini doğrudan ilgilendirdikleri için göz ardı edilerek meydan operasyonların yürütülmesi söz konusu değildir. Bu nedenle ayırma kuralları meydan kapasitesi için birer kısıtlayıcıdır. Minimum ayırma mesafelerinin ve sürelerinin azaltılabilmesi ancak bu değişikliklerin havacılık emniyetine herhangi bir olumsuz etkilerinin bulunmadığının kanıtlanması durumunda mümkündür. Gelişen seyrüsefer, izleme ve iletişim teknolojilerinden faydalanarak uçak operasyonları arasındaki emniyet mesafelerinin azaltılması bu çalışmanın kapsamı dışında olup bu konudaki araştırmalara ilgili kaynaktan ulaşılabilmektedir [25].

3.4.4. Kullanılan pist stratejileri

Birden fazla pisti olan hava alanları için pistlerin fiziksel konfigürasyonlarının iniş veya kalkış için nasıl kullanılacağına ilişkin stratejiler, kapasiteyi en verimli noktaya taşıma açısından önemlidir. Kullanılan pist stratejileri meydana farklılık gösterebilir. Örneğin Detroit Metropolitan Wayne County Havaalanında paralel 3 pist bulunmaktadır (21L, 21C ve 21R). Bu meydana 21L pisti sadece inişler için kullanılırken, 21C sadece kalkışlara ve 21R hem iniş hem kalkış operasyonlarına tahsis edildiğinde en yüksek kapasiteye ulaşılmaktadır [25]. Diğer bir örnek, Atatürk hava Limanında 06 yönündeki pist inişler için, 36 yönündeki pist kalkışlar için kullanıldığında 44 kalkış, 25 iniş ile en yüksek kapasiteye ulaşılmaktadır [26].

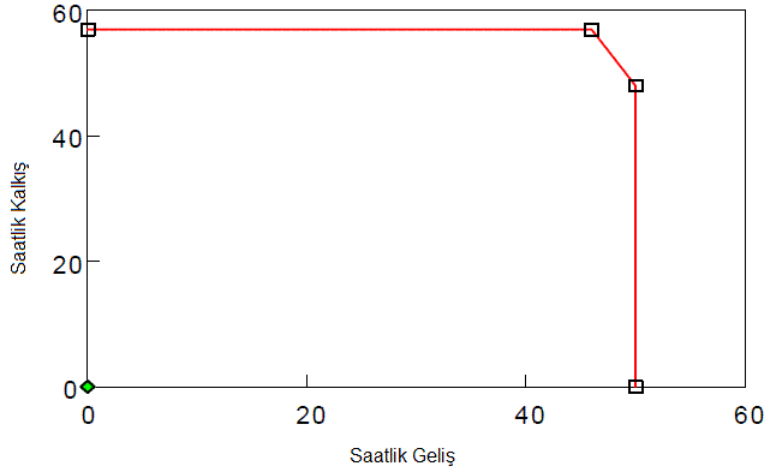
Bu stratejiler meydanların pist konfigürasyon ve coğrafi koşullarına göre değişebilmektedir. Bu sebeple genel bir “doğru strateji”nin üretilmesi mümkün değildir. Her meydan kendi koşulları içerisinde incelenerek kendi stratejilerini geliştirmelidir.

3.4.5. Pist sistemine operasyon düzenleyen uçak tip karması

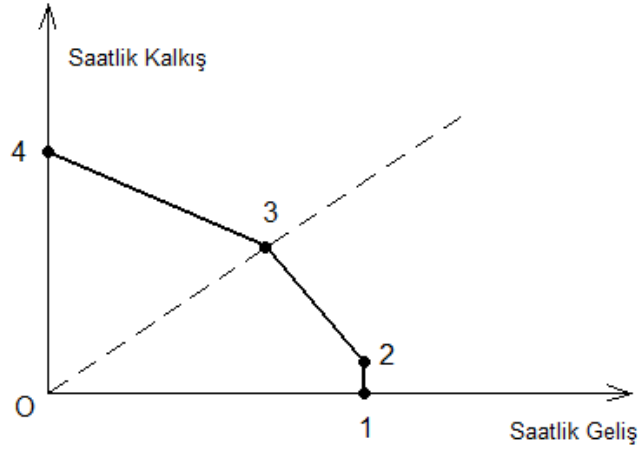
Uçaklar gövde ağırlıklarına göre havaalanı operasyonu incelenmesi için A, B, C, ve D harfleriyle sınıflandırılmaktadırlar [27, 11]. Diğer bir sınıflandırma uçakların ayırmasını sağlamak amacıyla geliştirilmiş olan sınıflandırmadır. Uçak tiplerini kuyruk türbülansı sınıflarına göre 3 kategoride; ağır (H), orta (M) ve hafif (L) olarak ayırmaktadır [13]. Uçak tip karması hizmet verilen uçakların tiplerinin gerçekleştirilen operasyonlar içerisindeki yüzdeler oranlarıdır. Farklı uçak kategorileri arasındaki performans ve kuyruk türbülansı farklılıkları bulunduğu için arka arkaya düzenlenecek operasyonlarda uçakların arasında bulunması gereken ayırma kriterleri de farklılık göstermektedir. Örneğin; ICAO sınıflandırmasına göre ağır bir uçağın ardından orta kategoriden bir uçak geliyorsa 2 dk’lık bir ayırma gerekirken, ağır ya da orta kategoriden uçağın arkasından hafif kategoriden bir uçak iniş operasyonu düzenleyecek ise 3 dk’lık bir ayırma uygulanır [13]. Bu farklılıklar kapasiteyi etkileyen faktörler arasındadır. Havaalanına operasyon düzenleyen uçakların karmasının belirlenmesi pek çok açıdan önem taşımaktadır. Farklı ayırma minimumlarında emniyetli mesafenin korunabilmesi için öndeki uçağın performansının arkadakine göre düşük olması durumunda, uçaklar arasındaki ilk ayırma mesafesinin yüksek tutulması gerekmektedir. Bu durum hava trafik kontrolörüne ek iş yükü getirdiği gibi kapasiteyi de olumsuz etkilemektedir. Ayrıca yaklaşma hızı, iniş ve durma mesafesi, kalkış mesafesi gibi konularda farklılıklar oluşturan uçak tip karması uçakların pist meşguliyet sürelerini de değiştirdiğinden trafik akışının dengesini bozarak kapasiteyi olumsuz etkilemektedir. Bu sebeple kapasite modeli incelemesinde uçak kuyruk türbülansı sınıflandırmasına göre uçak tip karması olasılıkları belirlenmelidir. Bu çalışmada uçak tip karmasının kapasite üzerindeki etkileri incelenecektir.

3.4.6. İniş ve kalkış operasyonları oranları

Bir meydanın maksimum kapasitesi o meydana düzenlenen iniş ve kalkış operasyon oranlarının bir fonksiyonudur (Şekil 3.6.). Bu nedenle bir meydanın kapasitesi incelenirken iniş trafiklerinin, kalkış trafiğine oranları belirlenmeli ve iniş operasyonları arasına kaç kalkış operasyonu alınacağına karar verilmelidir. Örneğin, Newark Uluslar arası Hava limanının kapasite değişimi saatlik iniş kalkış sayılarına göre incelendiğine (Şekil 3.7.), saatlik geliş sayısı arttıkça kalkışlar gerçekleşmemeye başlamakta ve maksimum kapasiteden uzaklaşmaktadır. Bu örnekte de görülebileceği gibi kalkış ve iniş kapasitesi aynı oranda artırılmamaktadır. İncelenmiş olan meydan için saatlik geliş sayısı 50 gibi rakamlara ulaştığında kalkış sayısı sıfıra düşmektedir. Operasyon el olarak baktığımızda bu strateji meydanın saatlik koşullarına göre de değişmektedir, geliş ve kalkış sayısı dengeli olmadığı takdirde bu oran değişecektir ve durumsal olarak en uygun olan strateji seçilmelidir.



Şekil 3.7. Newark Uluslararası Hava Limanı iniş kalkış eğrisi [25]



Şekil 3.8. Genel İniş kalkış eğrisi [28]

3.2.7. Pist sistemindeki çıkış taksi yollarının sayısı ve yerleri

Taksi yollarının pist üzerindeki dağılım sıklığı, inen uçakların pisti daha erken terk etmeleri açısından önemlidir. Böylelikle taksi hızına ulaşan bir uçak, pistin sonuna varmayı beklemeksizin, uygun olan ilk taksi yolundan çıkış yaparak bir sonraki operasyon için pisti daha kısa sürede boşaltabilir. Bu noktada, hızlı taksi çıkış yolları, 45°'lik çıkış açılarıyla uçakların keskin dönüşler için yavaşlamasına gerek kalmadan pisti hızlı bir şekilde terk etmelerine olanak sağlar. Eurocontrol Airside Capacity Enhancement Implementation Manuel'inde pist sistemlerinin kapasitesinin geliştirilebilmesi için iniş sonrası planlamalarında hızlı çıkış taksi yollarının öncelikli olarak kullanılmasını ve hava alanlarının buna uygun fiziksel yapıya bürünmelerini önermektedir [19].

3.5. Meydan Turu Kapasitesi

Kontrol bölgesi içerisinde uçakların uyguladıkları sistematik bir hareket olan meydan turu, meydan çevresinde uçakların uyguladıkları standart yörünge olarak tanımlanmıştır [13]. Bu standart yörünge Bölüm 2.4, Şekil 2.1'de gösterilmiştir. Meydan turu kapasitesi, bu yörüngeye göre bir saat içerisinde meydan turunu tamamlayan uçak sayısı olarak tanımlanabilir. Meydan turu kapasitesi, uçakların arasında bulunması gereken en az emniyet mesafesi/sürelerine; uçakların performans özelliklerine (yaklaşma ve ilk tırmanma hızları, iniş kalkış süreleri vb); meteorolojik (özellikle rüzgâr yönü ve şiddeti) ve görüş koşullarına;

havaalanı çevresi coğrafi ve insan yapısı manialara; kontrol bölgesi yapısına (tahditli ve yasaklı hava sahalarının, ya da faaliyet gösteren başka bir meydanın varlığı vb) bağlıdır. Terminal sahası kapasitesine yönelik pek çok çalışma bulunmakla birlikte kontrol bölgesindeki meydan turu kapasitesine yönelik çalışma literatürde bulunmamaktadır [29].

4. PİST KAPASİTESİNİN MODELLEMESİ

Bu bölümde tek bir pistin kapasitesi sadece iniş ve sadece kalkış operasyonları için incelendikten sonra, karma iniş kalkış ve “touch-and-go” operasyonlarının pist kapasitesine etkisi araştırılacaktır. Tüm pist kapasitesi modelleri verilen uçak karmasına; operasyon türlerinin oranlarına; uçakların performans özelliklerine ve hava trafik ayırmalarına bağlı olarak analitik formüllerle ifade edilecektir. Modellemelerde şu genel kabuller esas alınmıştır:

1. Bütün uçuş operasyonları için standart atmosfer koşulları geçerlidir.
2. Uçuş operasyonun gerçekleştiği havaalanında rüzgâr hızı ve ivmesi sıfırdır.
3. Uçuş operasyonlarının tümü VFR koşullarına göre gerçekleşmektedir. Uçaklar arasında süre ve mesafe ayırmalarında VFR koşullarının öngördüğü değerler alınmıştır.
4. Operasyonlar arası süre hesaplanırken, ölçümlerden ve insan faktörlerinden kaynaklanan herhangi bir hata olmadığı kabul edilmiştir.
5. Uçakların yaklaşma ve ilk tırmanma hızları ve pist üzerindeki ivmelenmeleri sabittir.
6. Uçakların gerçekleştirdikleri operasyon sırasında kütleleri sabit ve o operasyon için öngörülen maksimum değere eşittir.
7. Uçakların iniş sırasında taksi hızına ulaştıkları anda pisti terk etmelerine olanak verecek taksi yolları mevcuttur.
8. Pist üzerinde aynı anda tek bir operasyon düzenlenebilmektedir.

Bu kabullerin yanında, ele alınan operasyonun türüne bağlı olarak yapılan ek kabuller ilgili bölümlerde belirtilecektir.

4.1. İniş Kapasitesinin Modellenmesi

İniş kapasitesi, bir pistin sadece iniş operasyonlarına tahsisi halinde birim zamanda hizmet verebileceği operasyon sayısıdır. İniş kapasitesi aşağıdaki faktörlerin bir fonksiyonudur [16]:

1. Uçak tip karması: yaklaşma hızlarına göre sınıflandırılmış uçakların toplam trafik içindeki oranlarıdır.
2. Her bir uçak tipinin ortalama yaklaşma hızı,
3. Genel yaklaşma rotasının, sisteme giriş noktasından pist eşiğine olan mesafesi,
4. Minimum hava trafik kontrol ayırmaları,
5. Genel yaklaşma rotasına giriş noktasına olan gecikme ve genel yaklaşma rotası üzerindeki hız değişimi,
6. Kullanılan hava trafik kontrol ayırmalarında ortaya çıkabilecek önemli sapma ya da ihlal,
7. Her bir uçak tipinin iniş sırasındaki ortalama pist işgal süresi ve bu sürelerin değişiminin büyüklüğü,

Bir pistin saatlik maksimum iniş kapasitesi aşağıdaki denklemlerle ifade edilir [11]:

$$C_{iniş} = \frac{1}{\Delta \bar{t}_{iniş}} \quad (4.1)$$

Denklem (4.1)'de $\Delta \bar{t}_{iniş}$ bir iniş operasyonunun tamamlanması için gerekli ortalama hizmet süresidir

4.1.1. İniş operasyonu için ortalama hizmet süresi

Ortalama hizmet süresi, $\Delta \bar{t}_{iniş}$, herhangi bir ölçüm hatası olmadığında, bir piste gerçekleştirilecek ardışık iki iniş operasyonu arasındaki minimum süredir ve aşağıdaki formülle ifade edilir [16]:

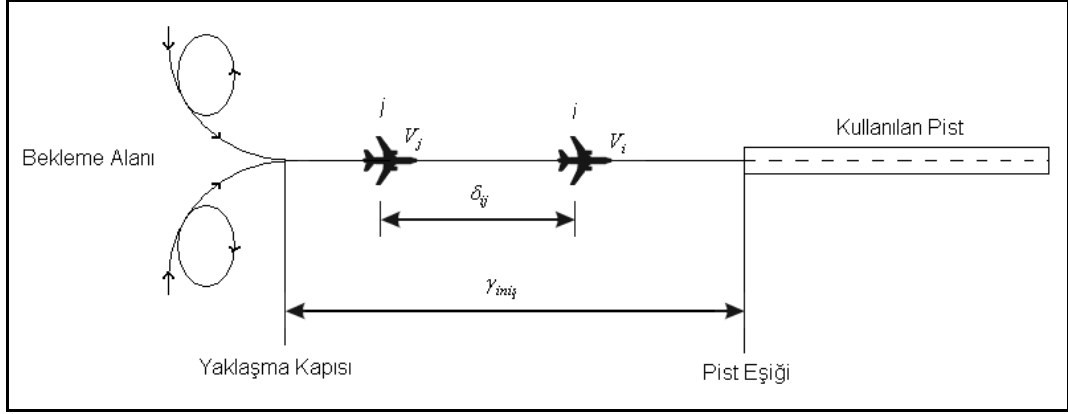
$$\Delta \bar{t}_{iniş} = \sum_i \sum_j P_i (\Delta t_{ij})_{iniş} P_j \quad (4.2)$$

Denklem (4.2)'de P_i önde bulunan i tipi uçağın olasılığı ($i=1, \dots, n$); P_j onu takip j tipi uçağın olasılığı ($i=1, \dots, n$); $(\Delta t_{ij})_{iniş}$ ise i ve j tiplerindeki uçakların inişleri arasındaki gerekli ayırma süresidir. P_i ve P_j değerleri ($0 \leq P_i \leq 1$ ve $0 \leq P_j \leq 1$), i ve j tiplerindeki uçakların iniş yapan toplam trafik karmasındaki oranlarına eşittir. Bu oranlar, üzerinde çalışılacak meydan için gerçekleşmiş trafik analizlerine dayanarak ya da geleceğe yönelik bir kapasite çalışması yapılıyor ise tahmini verilere dayanarak hesaplanabilir. Olası farklı senaryoların etkileri incelenmek isteniliyorsa çeşitli yöntemlerle üretilebilecek rastsal sayılar da bu olasılıkların değerleri olarak atanabilir.

Şekil 4.1.'da gösterildiği gibi bir piste iniş operasyonu düzenleyen uçakların ortak bir yaklaşma hattını kullandıkları kabul edilmiştir. Bu hattın başlangıç noktası coğrafi konumu bilinen “yaklaşma kapısı”dır. Bekleme alanından çıkan uçaklar pist hizasında son yaklaşma hareketlerine bu noktadan başlayarak “pist eşiği”ne varırlar. Pist eşiği uçakların son yaklaşma hareketini tamamlanarak iniş hareketine başladığı noktadır. Bir piste ardışık olarak iniş yapan i ve j uçakların aralarındaki ayırma süreleri, hava trafik kurallarının öngördüğü ayırmalara ve uçakların performans özelliklerine bağlı olarak ifade edilir:

$$(\Delta t_{ij})_{iniş} = \begin{cases} \max\left((R_i)_{iniş}, \frac{\delta_{ij}}{V_j}\right) & V_i \leq V_j \quad \text{için} \\ \frac{\delta_{ij}}{V_j} + \gamma_{iniş} \cdot \left(\frac{1}{V_j} - \frac{1}{V_i}\right) & V_i > V_j \quad \text{için} \end{cases} \quad (4.3a,b)$$

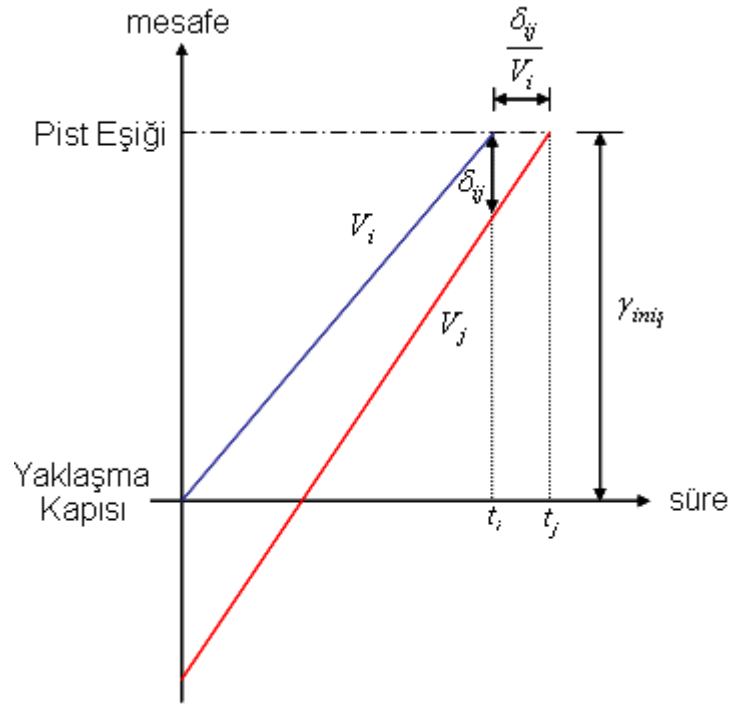
Denklem (4.3)'de $(R_i)_{iniş}$, i uçağının iniş pist işgal süresini; δ_{ij} , havadayken i ve j uçakları arasında bulunması gereken minimum uzunlamasına ayırma mesafesini; $\gamma_{iniş}$, uçakların ilgili pist için kullandıkları ortak son yaklaşma hattı uzunluğunu; V_i ve V_j ise i ve j uçaklarının yaklaşma hızlarını ifade etmektedir.



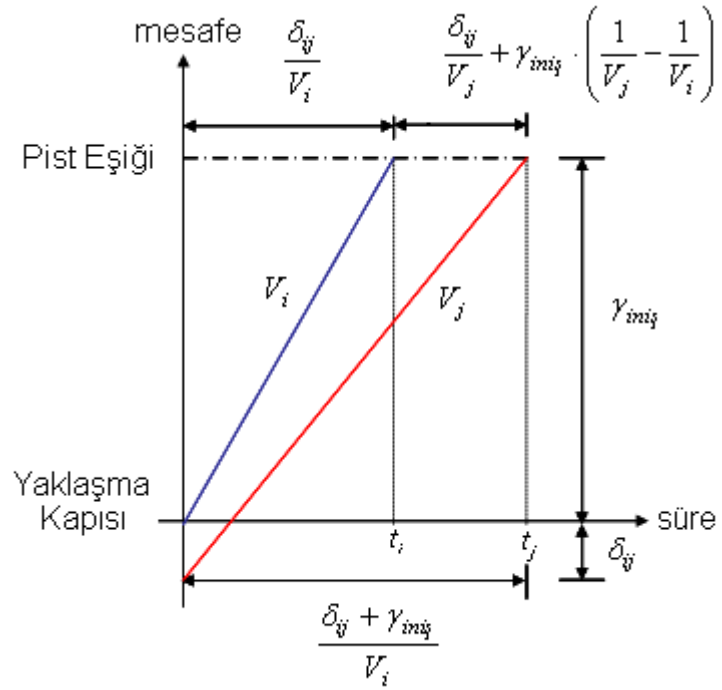
Şekil 4.1. İniş uçaklarının yaklaşma hattı

Gerekli ayırma süresi denklem (4.3a) ve (4.3b)'de görülebileceği gibi öndeki uçak (i) ile onu takip eden uçağın (j) izafi hızlarına bağlı olarak “yaklaşan” ve “uzaklaşan” uçaklar olmak üzere iki ayrı durum için hesaplanır. Her iki durum sırasıyla Şekil 4.2. ve 4.3.’deki mesafe-süre grafiklerinde gösterilmiştir. Denklem (4.3a)’da ifade edilen yaklaşan uçak durumunda öndeki uçak (i) arkadakine göre daha yavaş olduğundan uçakların arasındaki mesafe giderek kapanacaktır. Bu durumda öndeki uçak (i) pisti terk etmeden ya da öngörülen minimum ayırma süresi korunmadan takip eden uçak (j) pist eşiğini geçmemelidir (Şekil 4.2.). Öndeki uçağın (i) yaklaşma hızının daha yüksek olduğu uzaklaşan uçak durumunda ise uçaklar arasındaki mesafe giderek açılacaktır (Şekil 4.3.). Bu durumda denklem (4.3b)’ye göre uçakların arasındaki ayırma süresi, uçakların ortak son yaklaşma hattında geçirdikleri süre farkı ile havadaki uçaklar için öngörülen minimum süre ayırmasının (δ_{ij}/V_j) toplamına eşit olacaktır.

Denklem (4.3)’deki minimum ayırma mesafesi (δ_{ij}) ICAO’nun ilgili dokümanında verilen limitlere göre belirlenir [13]. Uçakların ilgili pist için kullandıkları ortak son yaklaşma hattı uzunluğu ($\gamma_{inış}$) ise her meydan için farklıdır ve değeri ilgili Ulusal Havacılık Yayını dokümanından bulunabilir [9]. Uçakların son yaklaşma hızları (V_i, V_j) ilgili uçakların uçuş el kitaplarından elde edilebilir.



Şekil 4.2. Yaklaşan uçakların mesafe-süre ilişkisi [16]



Şekil 4.3. Uzaklaşan uçakların mesafe-süre ilişkisi [16]

4.1.2. İniş operasyonunda pist işgal süresi

Bir uçağın iniş hareketi ve pisti terk etmek üzere gerçekleştirdiği iniş taksi hareketi sürelerinin toplamı iniş operasyonu pist işgal süresi olarak tanımlanır [30].

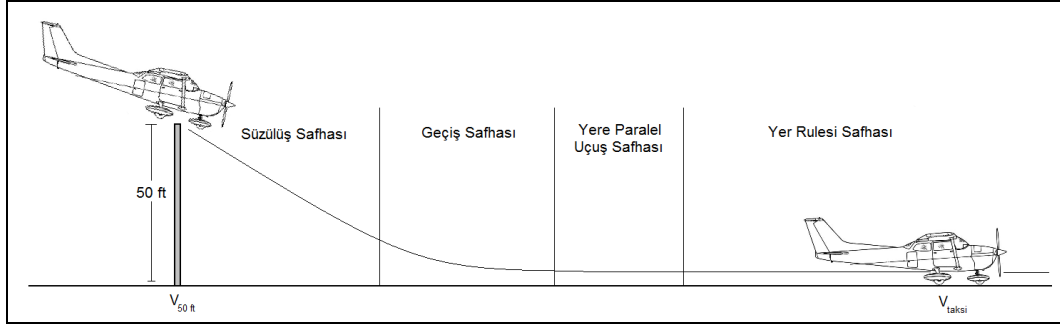
Pist işgal süresi içerisindeki iniş hareketi süresinin hesaplanması için öncelikle iniş hareketini tanımlanması gerekmektedir. Bir uçağın, uçuşunu tamamladıktan sonra pist seviyesine göre 15m (50ft) irtifada olduğu kabul edilen hayali bir engelin süzülmesi; yere paralel uçuş hareketi sonunda tekerleklerini piste koyması; ve pist üzerinde belirli bir mesafe koştuğundan sonra durması için yapmış olduğu hareketlerin tümüne iniş hareketi denir [31]. İniş hareketinin düşey düzlemdeki profili tüm safhalarıyla Şekil 4.4.'da gösterilmiştir. İniş süresinin belirlenebilmesi için toplam pist iniş süresinin bilinmesi gereklidir. Bir uçağın pist üzerindeki toplam iniş mesafesi, uçağın süzülüş, geçiş, yere paralel uçuş ve yer rulesi safhalarında kat ettiği yatay mesafelerin toplamına eşittir. Bu mesafelerin tümünün analitik yollarla hesaplanması uçak performansına ve pist yapısına ilişkin birçok parametrenin bilinmesini ve karmaşık işlemleri gerektirdiğinden dolayı tercih edilmemektedir. Bunun yerine, uçuş tecrübelerinden elde edilen verilere dayanarak hazırlanan uçak uçuş el kitabındaki değerler iniş hareketi süresinin belirlenmesinde kullanılmaktadır. İniş hareketi süzülüş ve yer rulesi safhalarındaki sabit ivmeli hareketlerin toplamına indirgenirse, toplam iniş süresi aşağıdaki bağıntıyla yaklaşık olarak hesaplanabilir:

$$t_{iniş} = \frac{2L_{iniş}}{V_{iniş} - V_{taksi}} \quad (4.4)$$

Denklem (4.4)'de $L_{iniş}$ uçağın toplam iniş mesafesini; $V_{iniş}$ uçağın iniş hareketine başladığı andaki (15m.'lik sanal engel üzerindeyken) hızını ve V_{taksi} ise iniş taksi hareketi hızını ifade etmektedir. Denklem (4.4)'de tanımlanan $V_{iniş}$ hızı ilgili uçağın uçuş el kitabından bulunabilir. Tanım gereği i uçağının ($i=1, \dots, n$) iniş sırasındaki pist işgal süresi ise Denklem (5) kullanılarak bulunabilir:

$$R_i = (t_{inis} + t_{taksi})_i \quad (4.5)$$

Denklem (4.5)'deki taksi hareketi süresi (t_{taksi}), i uçağının taksi hızına ulaştığı anda pisti terk ettiği kabul edilirse toplam iniş süresine ($t_{iniş}$) dahil olacağından pist işgal süresi iniş süresine eşit alınabilir.



Şekil 4.4. İniş hareketi profili ve safhaları

4.2. Kalkış Kapasitesinin Modellenmesi

Kalkış kapasitesi, bir pistin sadece kalkış operasyonlarına tahsisi halinde birim zamanda hizmet verebileceği operasyon sayısıdır. Kalkış kapasitesi de Denklem (4.1)'de verilen iniş kapasitesi ifadesine benzer şekilde hesaplanabilir:

$$C_{kalkış} = \frac{1}{\Delta \bar{t}_{kalkış}} \quad (4.6)$$

Denklem (4.6)'de $\Delta \bar{t}_{kalkış}$ bir iniş operasyonunun tamamlanması için gerekli ortalama hizmet süresidir.

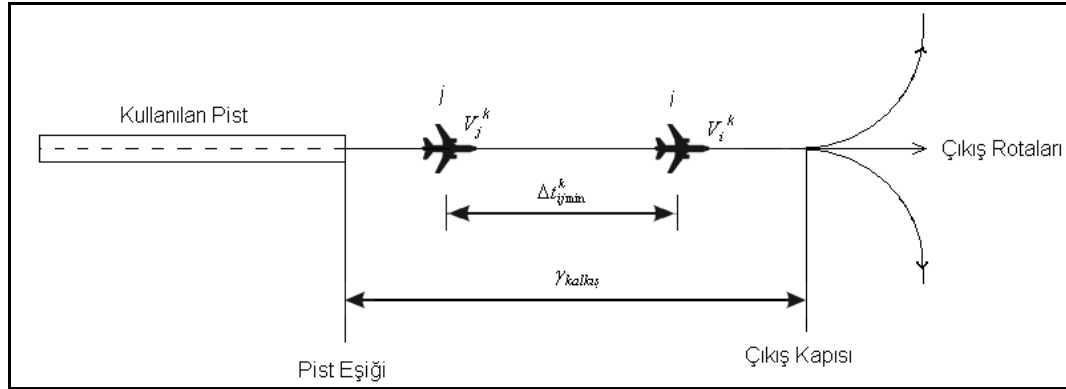
4.2.1. Kalkış operasyonu için ortalama hizmet süresi

Ortalama hizmet süresi, $\Delta \bar{t}_{kalkış}$, herhangi bir ölçüm hatası olmadığında, bir piste gerçekleştirilecek ardışık iki kalkış ve iniş operasyonu arasındaki minimum süredir ve aşağıdaki formülle ifade edilir [16]:

$$\Delta \bar{t}_{kalkış} = \sum_i \sum_j P_i(\Delta t_{ij})_{kalkış} P_j = \sum_i \sum_j P_{ij}(\Delta t_{ij})_{kalkış} \quad (4.7)$$

Denklem (4.7)'de P_{ij} i ve j tipindeki uçaklarının ardı ardına gelme olasılıklarını ($i, j=1, \dots, n$); $(\Delta t_{ij})_{kalkış}$ ise i ve j tiplerindeki uçakların inişleri arasındaki gerekli ayırma süresidir. P_{ij} , i ve j tipindeki uçakların trafik karmasındaki

oranlarının (P_i ve P_j) skalar çarpımına eşittir. Bu oranlar yine trafik analizlerine veya tahminlere dayalı olarak bulunabilir.



Şekil 4.5. Ard arda kalkış gerçekleştirecek uçakların kalkış rotası

Şekil 4.5.'de gösterildiği gibi bir pisten ardı ardına kalkan uçaklar pisti terk ettikten sonra ortak bir ilk tırmanma hattını kullanmaktadırlar. Bu hat pist eşiğinde başlar ve coğrafi konumu bilinen ya da öngörülen bir irtifadaki nokta olan çıkış kapısında sonlanır. Pist eşiği uçakların kalkış hareketlerini tamamlayarak ilk tırmanma hareketlerine başladıkları noktadır. Uçaklar çıkış kapısında belirli bir irtifayı alarak çıkış rotalarına yönelirler. Bir pisten ardı ardına kalkan i ve j uçaklar aralarındaki gerekli ayırma süresi, hava trafik ayırmalarının ve uçakların performans özelliklerinin birer fonksiyonu olup aşağıdaki denklemle ifade edilir [7]:

$$(\Delta t_{ij})_{kalkış} = (\Delta t_{ij})_{min} - (R_j^k - R_i^k) - \gamma_{kalkış} \cdot \left(\frac{1}{V_j^k} - \frac{1}{V_i^k} \right) \quad (4.8)$$

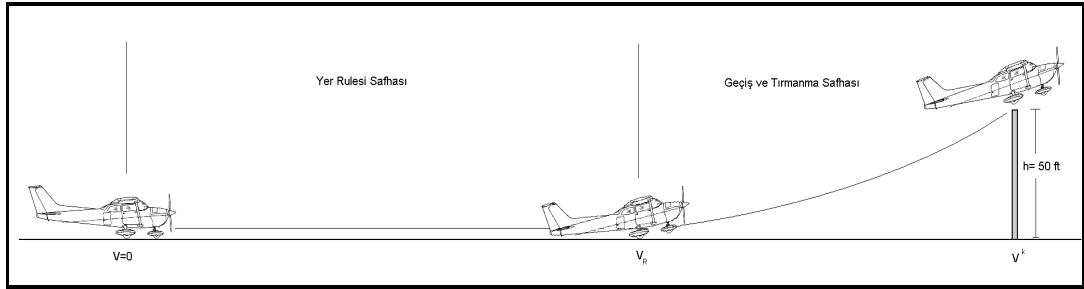
Denklem (4.8)'de $(\Delta t_{ij})_{min}$ havaalanı kontrol bölgesinden çıkış sırasında kalkan uçakların arasında bulunması gereken minimum ayırma süresini; R_i^k ve R_j^k sırasıyla i ve j uçaklarının kalkışları sırasındaki pist işgal sürelerini; $\gamma_{kalkış}$ ortak ilk tırmanma hattının uzunluğunu; V_i^k ve V_j^k sırasıyla, i ve j uçaklarının ortak ilk tırmanma hattı boyunca hızlarını ifade etmektedir.

Denklem (4.8)'de, ardı ardına kalkan uçaklar arasında bulunması minimum ayırma süresi $((\Delta t_{ij})_{kalkış})$ ICAO'nun ilgili dokümanı doğrultusunda belirlenir [13]. Ortak ilk tırmanma hattının uzunluğu ($\gamma_{kalkış}$) her meydan için farklılık göstermekte

olup, bu veri ilgili meydan Ulusal Havacılık Yayını (AIP) yayınından ya da meydanın bilgilerini içeren kaynaktan sağlanır. Uçakların son yaklaşma hızları (V_i , V_j) ilgili uçakların uçuş el kitaplarından elde edilebilir.

4.2.2. Kalkış operasyonunda pist işgal süresi

Bir uçağın kalkış operasyonunda pist işgal süresi kalkış hareketini tamamlayarak pisti pist eşiğinden veya pist hizasından terk etmesine kadar geçen süre olarak tanımlanabilir. Kalkış hareketi, bir uçağın sıfır hızından havada tutunma hızına ulaşıncaya kadar pist üzerinde koşturmasını; pistten teker keserek tırmanmaya başlamak için yaptığı geçiş manevrasını ve piste göre 15 m. (50ft) yükseklikte bulunduğu kabul edilen sanal engeli aşmak için yaptığı tırmanma hareketini içerir. Kalkış hareketinin düşey düzlemdeki profili tüm safhalarıyla Şekil 4.6.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.6. Kalkış hareketinin düşey düzlemdeki profili ve safhaları

İniş hareketi yer rulesi, geçiş ve tırmanma safhalarındaki sabit ivmeli hareketlerin toplamına indirgenirse, toplam kalkış hareketi süresi aşağıdaki bağıntıyla yaklaşık olarak hesaplanabilir:

$$\Delta t_{kalkış} = \frac{2L_{kalkış}}{V_{kalkış}} \quad (4.9)$$

Denklem (4.9)'da $L_{kalkış}$ uçağın toplam kalkış mesafesini ve $V_{kalkış}$ uçağın kalkış hareketini tamamladığı (15m.'lik sanal engel üzerine geldiği) hızını ifade etmektedir. Denklem (4.9)'daki $L_{kalkış}$ mesafesi ve $V_{iniş}$ hızı ilgili uçağın uçuş el kitabından bulunabilir. Kalkış sırasındaki pist işgal süresi kalkış hareketinin süresi ve kalkış sonrasında pistin sınırlarını terk etme süresinin toplamına eşittir. Bu

tanıma göre, i uçağının ($i=1, \dots, n$) kalkış sırasındaki pist işgal süresi şu şekilde tanımlanabilir:

$$R_i^k = (t_{kalkış} + \min(t_{pist}, t_{dönüş}))_i \quad (4.10)$$

Denklem (4.10)'da t_{pist} , i uçağının kalktıktan sonra pist eşiğini geçinceye kadar geçirdiği süreyi göstermektedir. Eğer uçak pist eşiğine ulaşmadan önce çıkış kapısı irtifasını alarak dönüş hareketi ile pist hattını terk ediyorsa t_{pist} yerine $t_{dönüş}$ süresi kullanılmalıdır. Her iki süre uçakların kalkış hareketini tamamlayarak pist hizasını veya doğrultusunu terk ettikleri süredir.

4.3. Karma İniş-Kalkış Operasyonların Modellenmesi

Karma operasyonlar kalkış ve iniş operasyonlarının birlikte uygulandığı tek pistler için geliştirilmiş bir modeldir. Bu model geliştirilirken kullanılan kabuller şunlardır [16].

1. Gelişler kalkışlardan önceliklidir.
2. Bir pisti aynı anda sadece bir uçak operasyon için işgal edebilir.
3. Ardışık iki iniş operasyonu arasında kalkış operasyonu düzenlenmek isteniyorsa, 2. sırada incek uçağın pist eşiğine uzaklığı öngörülen emniyetli mesafeden büyük ya da eşit olmalıdır.
4. Ardı ardına kalkış operasyonları düzenlenmek isteniyorsa, aralarındaki minimum süre ayırması kalkış operasyonu hizmet süresine eşit olmalıdır.

Bu kabullere göre karma operasyonlar için pist kapasitesi modeli aşağıdaki denklemlerle ifade edilir [16]:

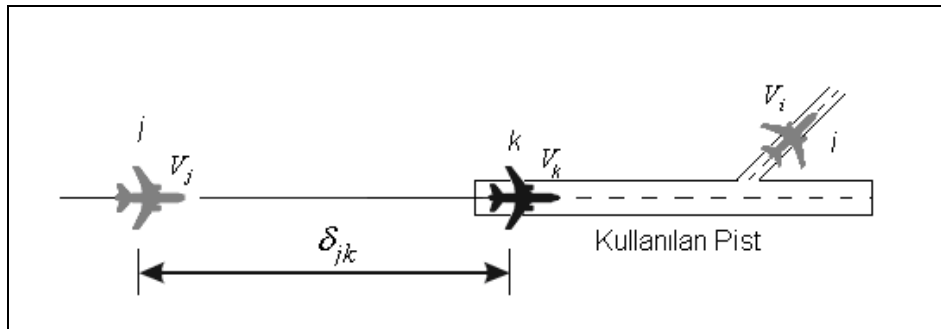
$$C_{karma} = \frac{1}{\sum_i \sum_j P_{ij} (\Delta t_{ij})_{iniş}} \cdot (1 + \sum n_{kalkış} p_n) \quad (4.11)$$

Denklem (4.11)'de $n_{kalkış}$ iki iniş operasyonu arasında düzenlenecek kalkış operasyonu sayısını; p_n ise iki iniş operasyonu arasında n adet kalkış operasyonunun gerçekleşme olasılığını göstermektedir.

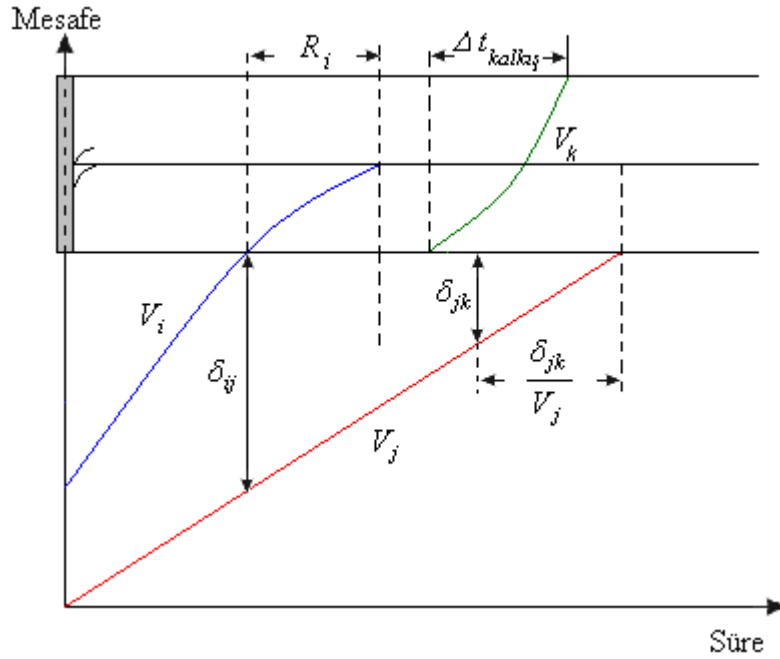
İki iniş operasyonu arasında $n_{kalkış}$ adet kalkış operasyonu düzenlenebilmesi için aşağıdaki koşulun sağlanması gereklidir [16]:

$$(\Delta t_{ij})_{iniş} \geq R_i + \left(\frac{\delta_{jk}}{V_j} \right) + (n_{kalkış} - 1) \cdot \Delta t_{kalkış} \quad (4.12)$$

Denklem (4.12)'de δ_{jk} iniş yapan j uçağı ile kalkış yapan k uçağı arasında bulunması gereken minimum ayırma mesafesini; $\Delta t_{kalkış}$ ise kalkış operasyonları arasındaki hizmet süresini ifade etmektedir. Karma operasyon düzenlenen pistin üstten görünümü Şekil 4.7.'de verilmiştir. Bu pistte eğer iki iniş arasında tek bir kalkış operasyonu düzenlenecekse, hem ilk inişi gerçekleştiren i uçağının pisti terk etmiş olması hem de k uçağıyla ikinci sırada iniş gerçekleştiren j uçağı arasında minimum δ_{jk} mesafesi bulunmalıdır. Tek pistte gerçekleştirilecek karma operasyonların mesafe-süre diyagramı Denklem (4.12)'deki koşula uygun olarak Şekil 4.8.'de verilmiştir. Eğer bu denklemde verilen koşul sağlanmaz ise, iki iniş operasyonu arasında herhangi bir kalkış operasyonu gecikme olmadan gerçekleştirilemez. Eğer iki iniş arasında birden fazla kalkış operasyonu düzenlenmek isteniyorsa Denklem (4.12)'de verilen $(\Delta t_{ij})_{iniş}$ süresi kalkış sayısına ($n_{kalkış}$) ve kalkış operasyonlarının arasındaki hizmet süresine ($\Delta t_{kalkış}$) bağlı olarak artacaktır.



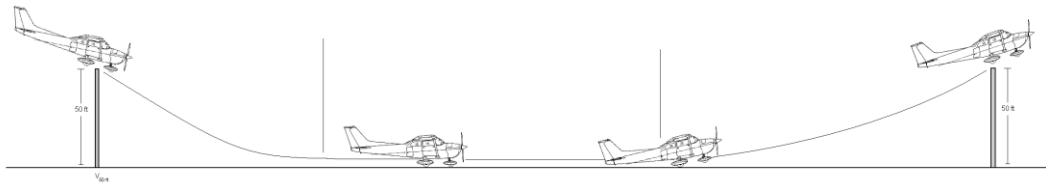
Şekil 4.7. Karma iniş-kalkış operasyonlarının pist üzerindeki görünümü



Şekil 4.8. Karma iniş-kalkış operasyonlarının mesafe-süre diyagramında gösterimi [16]

4.4. Touch And Go Operasyonları

Touch and go hareketi eğitim uçuşları sırasında pilot adayının daha çok sayıda iniş-kalkış pratiği yapabilmesi için uygulanan özel bir operasyondur. Uçak iniş uçağı gibi davranarak piste operasyonunu düzenler, inişin ardından yerdeki hızı kalkış hızına ulaştığı anda yeniden kalkış uçağı gibi hareket ederek kalkışını gerçekleştirir. Bu hareketin sonucunda pilot adayı bir iniş ve de bir kalkış hareketi gerçekleştirmiş olur ve bu özel harekete touch and go operasyonu adı verilmektedir. Touch and go hareketinin uçuş profilinden görünümü Şekil 4.9'da görüldüğü gibidir.



Şekil 4.9. Touch and go hareketi pröfik görünümü

Pist kapasitesi hesabında Touch and Go operasyonlarına özel olarak geliştirilmiş bir model bulunmamaktadır. Genel olarak denklemin içine bir Touch and Go operasyonunun bir iniş ve bir kalkış olarak eklendiği görülmektedir. Bu

gelişlerin yüzdeliğinin hesaplandığı ve touch ang go sayılarının yarısının geliş olarak kabul edildiği durum denklem 4.13’de görülmektedir [6].

$$PA = \frac{A + 1/2(T \& G)}{A + DA + (T \& G)} \times 100 \quad (4.13)$$

Denklem (4.13)’de A , saatlik geliş sayısını; DA , saatlik kalkış sayısını ve $T\&G$, saatlik Touch and Go sayısını ifade etmektedir.

Bölüm 4.3.’de yer alan kapasite denklemleri touch and go operasyonlarına uyarlanacak olursa, bir pistin saatlik maksimum touch and go kapasitesi denklem 4.14’de verilmiştir.

$$C_{TG} = \frac{1}{\Delta \bar{t}_{TG}} \quad (4.14)$$

Denklem (4.14.)’de $\Delta \bar{t}_{TG}$ bir touch and go operasyonunun tamamlanması için gerekli ortalama hizmet süresidir. Ortalama hizmet süresi, $\Delta \bar{t}_{TG}$, herhangi bir ölçüm hatası olmadığında, bir piste gerçekleştirilecek ardışık iki touch and go operasyonu arasındaki minimum süredir ve aşağıdaki formülle ifade edilir:

$$\Delta \bar{t}_{TG} = \sum_i \sum_j P_i (\Delta t_{ij})_{TG} P_j \quad (4.15)$$

Bir piste ardı ardına touch and go operasyonları yapılacaksa bu operasyonlar arasında olması gereken süre Denklem (4.15)’de $(\Delta t_{ij})_{TG}$ olarak belirtilmiştir. Bu süre ardı ardına iniş yapan uçaklarınkine (Denklem (4.3a,b)) benzer şekilde hesaplanabilir:

$$(\Delta t_{ij})_{TG} = \begin{cases} \max\left(R_{iTG}, \frac{\delta_{ij}}{V_i}\right) & V_i \leq V_j \\ \frac{\delta_{ij}}{V_j} + \gamma_{iniş} \cdot \left(\frac{1}{V_j} - \frac{1}{V_i}\right) & V_i > V_j \end{cases} \quad (4.16a,b)$$

Denklem (4.16)'de R_{iTG} touch and go operasyonu yapan i uçağının pist işgal süresidir. Bu süre aşağıdaki denklemle hesaplanabilir:

$$R_{iTG} = (R_i - R_{i_{rule}})_{iniş} + (R_i - R_{i_{rule}})_{kalkış} + (R_{i_{rule}})_{TG} + \min(t_{pist}, t_{dönüş}) \quad (4.17)$$

Denklem (4.17)'de $(R_{i_{rule}})_{iniş}$, $(R_{i_{rule}})_{kalkış}$, $(R_{i_{rule}})_{TG}$ sırası ile uçağın iniş, kalkış ve touch and go esnasında pist üzerinde koşturma (rule) sürelerini ifade etmektedir. $(R_{i_{rule}})_{iniş}$ ve $(R_{i_{rule}})_{kalkış}$ süreleri ilgili uçağın uçuş el kitabındaki rule sürelerinden hesaplanabilir. $(R_{i_{rule}})_{TG}$ ise uçağın teker koymasının ardından tekrar kalkış hızına ulaşarak kalkışını gerçekleştirdiği rule mesafesidir. Eğer uçağın teker koyduğu andaki hızı ile kalkış hızı birbirine eşit ise $(R_{i_{rule}})_{TG}$ mesafesi/süresi sıfırdır.

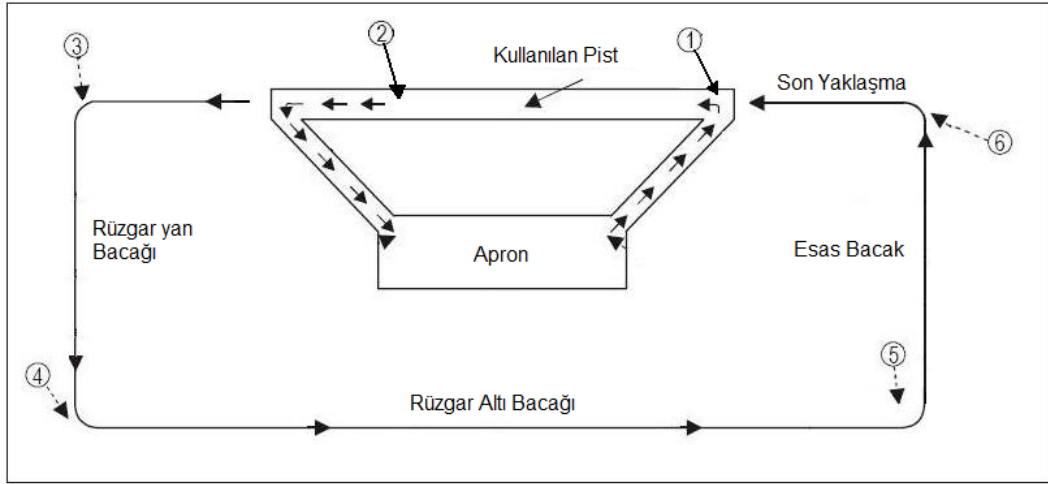
5. MEYDAN TURU KAPASİTESİNİN MODELLENMESİ

Bu bölümde, meydan turu kapasitesi tek pistli bir havaalanının kontrol bölgesi içindeki standart trafik paterni için incelenmiştir. Meydan turu kapasitesi modeli, verilen uçak karmalarına ve gerçekleştirilen operasyon türlerinin (iniş, kalkış ve touch-and-go) tüm trafik içerisindeki oranlarına göre iki farklı senaryo için hesaplanmıştır. Bu senaryolar klasik meydan turu ve touch-and-go operasyonlarını içermektedir. Meydan turu kapasitesi, kuyruk teorisine göre işleyen bir simülasyon modeline dayanmaktadır. Bu modelle, tek pistli bir havaalanının kapasitesindeki değişimler bu senaryolar için araştırılmış ve sistemin kritik noktalarındaki gecikmeler belirlenmiştir.

5.1. Meydan Turu Modelinin Genel Tanımı

Tek pistli bir havaalanındaki meydan turu hizmet kapasitesinin belirlenebilmesi için öncelikle meydan turu çeşitlerinin incelenmesi gereklidir. Meydan turuna katılan her uçağın kalkışının hemen ardından iki seçeneği mevcuttur. Bunlardan birincisinde uçak klasik meydan turu hareketini gerçekleştirdikten sonra piste iniş yaparak sistemden çıkar. Bu çalışma içinde bu hareket “klasik meydan turu” operasyonu olarak tanımlanmıştır. İkinci seçenek ise uçağın meydan turunu tamamladıktan sonra piste touch and go operasyonu yaparak tekrar meydan turuna katılmasıdır. Bu hareket ise “touch and go meydan turu” olarak tanımlanmıştır. Bu her iki meydan turu operasyonu da uçuş eğitiminin farklı aşamalarında sıklıkla uygulanmaktadır.

Meydan turu modeli oluşturulurken önceki bölümdeki ICAO meydan kritik noktaları temel alınarak aşamalara ayrılmıştır. Bu aşamalar klasik meydan turu ve touch and go meydan turu içinde temel alınmaktadır ve Şekil 5.1.’de rakamlarla gösterilmiştir.



Şekil 5.1. ICAO meydan kritik noktalarına benzetilmiş kritik noktalar

Bir uçağın kalkışını gerçekleştirmek üzere pist başına gelişi 1 numaralı nokta ile temsil edilmektedir. 2 numaralı nokta uçağın kalkışını tamamladığı noktadır. Uçak kalkışın ardından 3 numaralı noktada rüzgâr yan bacağına dönüş yapar. Rüzgâr yan bacağı tamamlandıktan sonra uçak piste paralel fakat kalkış yönünün tersine doğrultuda olan rüzgâr altı bacağına dönüşünü 4 numaralı notada yapmaktadır. Rüzgâr altı bacağının sonunda uçağı tekrar inişe yaklaştıracak olan esas bacağına 5 numaralı noktada döner. Uçağın piste iniş hareketine hazırlandığı, süzülüşünü gerçekleştirdiği bacak olan son yaklaşma bacağına 6 numaralı noktadan dönerek oturur. Bunların yanında, uçağın inişe başladığı nokta olarak pist başını temsil eden 1 numaralı nokta tanımlanmıştır. Aynı şekilde, kalkışını tamamladığı nokta olarak belirtilen 2 numaralı nokta, inişin ardından pisti taksi yolundan terk ettiği veya touch and go yapıyorsa hareketi tamamladığı nokta olarak alınmıştır.

Aşamaların her biri belirli zaman dilimleri içerisinde gerçekleşmekte ve uçakların performansına göre bu süreler farklılık göstermektedir. Oluşturulan modelde kullanılacak olan süreler ölçüm ya da hesaplama teknikleri ile ulaşılabilir. Uçakların performans verilerine göre teorik olarak süreleri hesaplanabilir. Kalkış ve iniş süreleri Bölüm 4’de açıklandığı gibi ivme sabit kabul edilerek hesaplanmıştır. Diğer yandan rüzgâr yan bacağına dönüş (2. ve 3. Noktaların arası) ve son yaklaşma safhası (6. ve 1. Noktaların arası) süreleri de aynı şekilde sabit ivmeli hareket olarak kabul edilerek hesaplanabilir. Tüm diğer bacaklarda ise uçuş sabit hızlı düz uçuş olarak kabul edilmiştir.

5.1.1. Klasik meydan turu modeli

Klasik meydan turu modeli ile farkı senaryolara göre analizler yapılmıştır. Bu senaryolar iki gruba ayrılmıştır. İlk senaryoda çift motorlu uçakların trafik karması içerisindeki oranının artışı ile kapasite ve sistemdeki gecikmelerin değişimi incelenmiştir. İkinci senaryo da ise çift motorlu uçakların sistem içine hiç girmedikleri kabul edilmiş, sadece tek motorlu uçakların değişimlerinin kapasite üzerindeki etkisi incelenmiştir.

5.1.2. Touch and go meydan turu modeli

Touch and go modeli klasik meydan turu hareketini ve ayrıca klasik meydan turu içerisinde uçakların uyguladığı touch and go hareketini kapsamaktadır. Bu model ile touch and go hareketinin meydan turu ve pist kapasitesine etkisi incelenecektir. Ayrıca uçak performans farklılıklarının bu tip bir sistemi üzerindeki etkileri de araştırılmıştır.

5.2. Meydan Turu Simülasyonu

Meydan turu kapasitesi belirlemek için bilgisayar destekli bir simülasyon modeli kullanılmıştır. Simülasyon kullanımındaki amaç, gerçek bir sistemin işlemindeki sistem davranışlarını anlamak ve değişik stratejileri, senaryoları değerlendirmek üzere sınırsız sayıda denemeler yapabilmektir.

Simülasyonda kullanılacak bilgisayar yazılımı olarak ARENA programı seçilmiştir. Arena programı kuyruk teorisine uygun modelleme imkanı tanıyan güçlü bir simülasyon yazılımıdır ve bu anlamda hava trafik simülasyonları için ideal bir programdır. Windows işletim sistemi altında çalışmakta ve başarılı bir simülasyon için gerekli olan animasyon, girdi ve çıktı verilerinin analizi gibi fonksiyonları kapsamlı bir şekilde içermektedir. Ayrıca yazılım bilgisi gerektirmedikinden kullanımı oldukça kolaydır [32]. Kuyruk teorisi hakkında ayrıntılı bilgi ilgili kaynakta bulunabilir [33].

Klasik meydan turu modeli, performanslarına göre üç ayrı kategoriye ayrılmış uçakların girdiği bir sistem olarak tasarlanmış ve her bir kategori için ayrı bir apron girişi tanımlanmıştır (Şekil 5.2.). Bu kategori sayısı incelenecek meydanın trafik karması içinde bulunan uçakların performans farklılıklarına göre değişebilir.

Uçaklar bu apron girişlerinden motor çalıştırmak üzere boş olan park yerlerine gelirler. Bu park yerlerinin sayısı, incelenen havaalanının apron kapasitesine bağlı olarak değişebilir. Motorlarını çalıştıran uçaklar pist başına gitmek üzere taksi hareketine başlarlar. Taksi hareketleri incelemeler kapsamında yer almadığından taksiye başlangıç için bir kural atanmamıştır. Taksi hareketi bu çalışmada inceleme dışında olup havaalanını modellemesinin içerisine temsili olarak konuşmuştur ve temsili bir süre ile yansıtılmıştır.

Uçaklar pist başına ulaştıkları andan itibaren modelin analiz noktalarına dahil olurlar. Pist başında kalkış hareketine başlanabilmesi için gerekli hava trafik ayırmaların sağlanması gerekmektedir. Bu ayırmaların sağlanıp sağlanmadığının kontrolü için iki adet karar komutu kullanılmıştır. Birinci karar pist üzerinde kalkış ya da iniş halinde bir uçağın olup olmadığını kontrol eder, eğer var ise “*Pist Başı Bekleme I*” noktasında ilgili uçak kalmayınca kadar beklemeye girer. İkinci karar ise esas bacağı geçmiş, iniş için yaklaşmakta olan bir uçak olup olmadığını kontrol eder. Buradaki uçak sayısı birden fazla ise koşul sağlanıncaya kadar beklemeye girer, eğer uçak sayısı bir ise ayırma sağlandığından kalkışa başlar. Bu noktadaki beklemeler “*pist başı beklemeleri*” olarak trafik senaryoları incelemelerinde yer alacaktır.

Tüm koşullar sağlandığında uçaklar kalkışlarını gerçekleştirir ve “*Kalkış Say*” değişkeni ile kaç adet kalkış gerçekleştiği sayılır. Bu değişken sistemin çalıştırıldığı süre içerisinde yapılan kalkış sayısının kaydını tutmaktadır. Bu değişken analiz edilecek faktörlerin kalkış sayısı üzerindeki etkilerini inceleme amacı ile tanımlanmıştır.

Kalkışı gerçekleştirecek uçakların performans farklılıklarına göre kalkış süreleri farklı olduğundan “*Kategori Karar*” değişkeni ile performans kategorilerine göre uçaklar ayrı süreçlere girerek kendi kalkış sürelerine göre uçaklar kalkışlarını gerçekleştirir. Bu süreler analitik bağıntılarla hesaplanan ya da ölçümlere dayanan veriler olabilir.

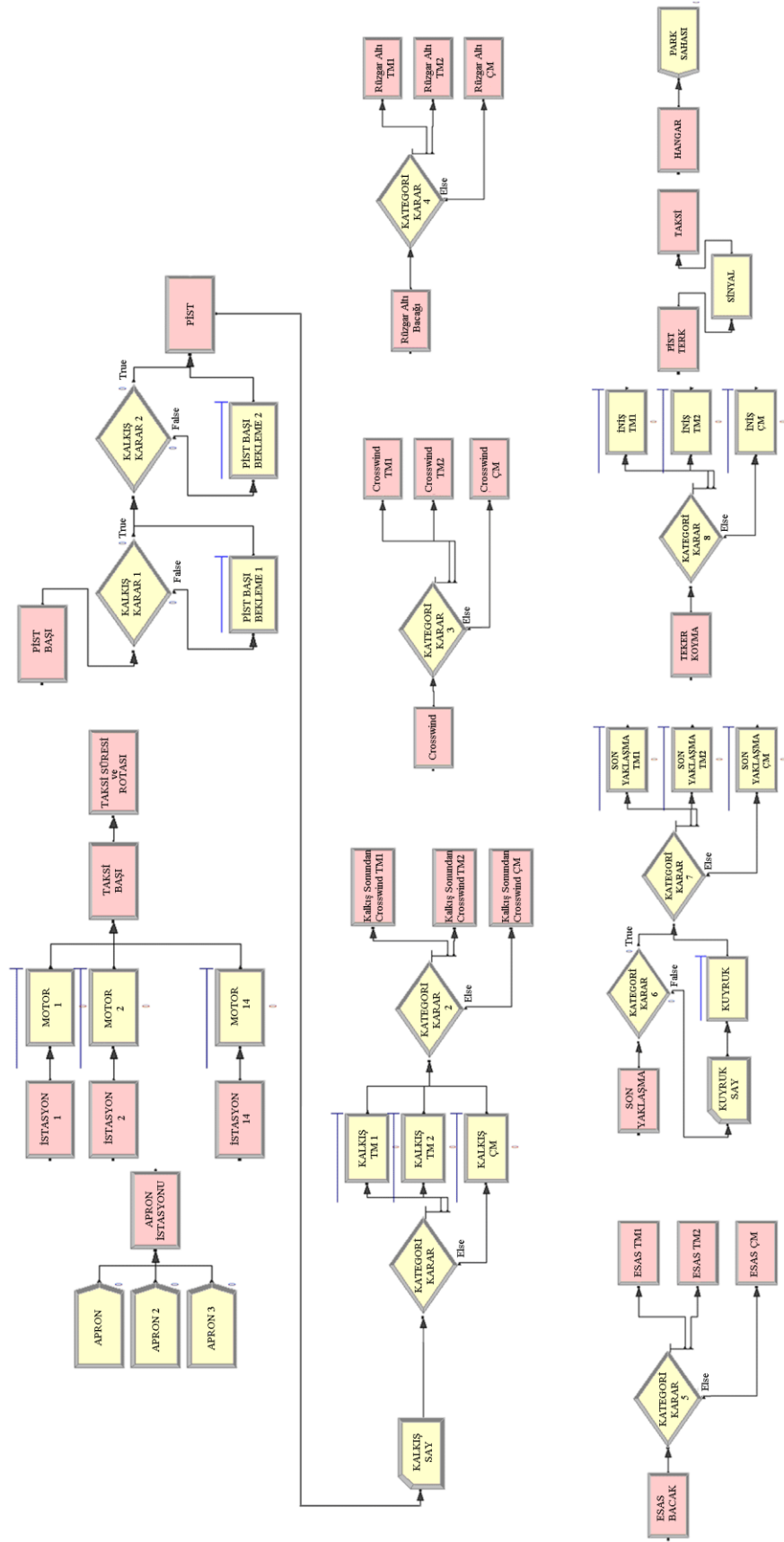
Kalkışın ardından belirlenen paterne göre uçaklar meydan turuna başlarlar. Her bir tur bacağını takip ederek meydan turunu gerçekleştirirler. Bacakların her biri sistemde süreç olarak tanımlanmıştır. Uçaklar süreçlere girmeden önce

performanslara göre süreler farklı olduğundan ilgili karar verme komutları eklenmiştir.

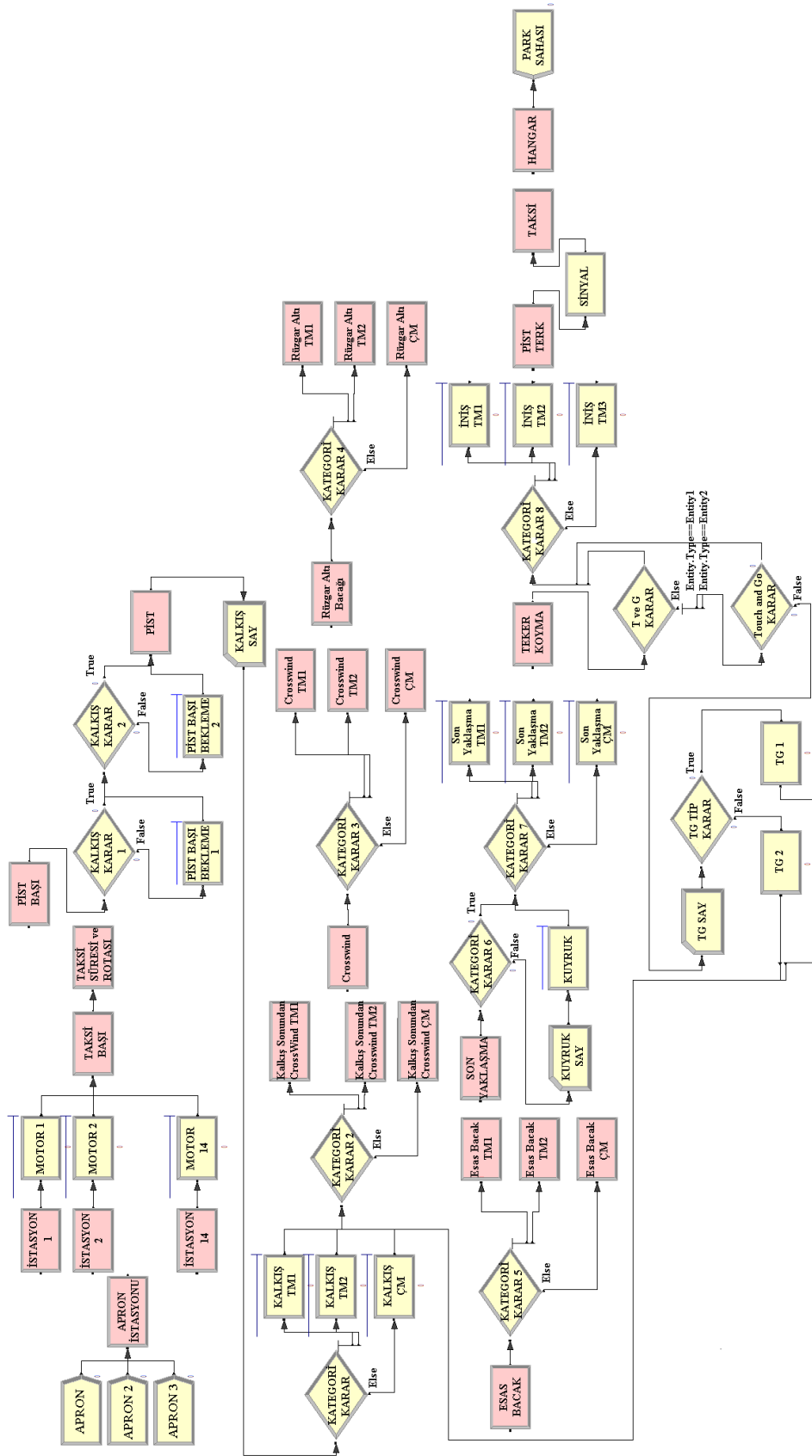
Esas bacadan sonra ayırma kuralları gereği kalkış halinde uçak varsa ya da kendisinden önce inmekte olan bir uçak var ise uçaklar gecikme almak durumundadır. Bu gecikme normal trafik akışı içerisinde uçaklara bilgi verilerek takip etmesi sağlanarak yapılır. Ancak simülasyon ortamında bu mümkün olmadığından ve uçakların havada alacakları gecikmeleri analiz edebilmek amacı ile simülasyonda uçaklar havada beklemeye girmiş gibi kabul edilmişlerdir. Böylelikle havada aldıkları gecikme süreleri ve gecikme yapan uçak sayıları analiz edilebilir. Bunun için esas bacak öncesinde, pist üzerinde kalkış anında bir uçak var ise ya da esas bacağı geçmiş iniş yapmak üzere yaklaşmakta olan uçak var ise gecikme almak üzere beklemeye girer.

Uçak esas bacağından son yaklaşıma döner ve inişini tamamlar. Tüm bu süreçte de performanslarına göre süre farklılıkları sebebi ile bu ayrımı gerçekleştirecek karar komutları bulunmaktadır. Uçak inişini gerçekleştirdikten sonra sistemden çıkar. Komutların görüldüğü klasik meydan turu modelinin diyagramı Şekil 5.2.'de verilmiştir.

Touch and go meydan turu modelinde de süreç aynen işlerken inişe gelen uçak için teker koymadan önce touch and go yapacak uçaklar olarak belirlenmiş belirli performanstaki uçakları ayırmak için karar komutu eklenmiştir (Şekil 5.3.). Ardından bu uçaklar içerisinde touch and go yapacak uçak oranını belirleyen “*touch and go karar*” değişkeni ile bir kısım uçaklar inişe giderken diğer kısmı da touch and go yapmaktadır. Bu sistem içinde kaç adet touch and go yapıldığının incelenmesi için arena modelinde kullanılan “record” modülü içinde “*touch and go say*” değişkeni eklenmiştir. Touch and go yapan uçaklar aynı yeni kalkmış uçaklar gibi meydan turuna tekrar girerler.



Şekil 5.2. Klasik meydan turu modeli diyagramı



Şekil 5.3. Touch and go meydan turu modellemesi diyagramı

6. ANADOLU HAVAALANI KONTROL BÖLGESİ KAPASİTE ANALİZİ

Bu bölümde, oluşturulan havaalanı kontrol bölgesi kapasite modelleri yardımıyla, tanım ve amaçlara uygun bir havaalanı için kapasite analizi yapılacaktır. Hesaplamalar sonucunda elde edilen verilerin değerlendirilmesi karşılaştırmalı olarak gerçekleştirilecektir.

Çalışma amaçları doğrultusunda uygulama alanı olarak gerek trafik karması gerekse uçuş tipleri bakımından özel amaçlı havaalanı tanımına uygun bir havaalanı seçilmelidir. Bu amaçla kapasite analizi yapılmak üzere ağırlıklı olarak uçuş eğitimi faaliyetlerine hizmet veren Anadolu Üniversitesi Havaalanı seçilmiştir.

Bu bölümde öncelikle Anadolu Üniversitesi Havaalanı'nın fiziksel karakteristikleri ve uygulanan operasyon yapısı incelenecektir. Daha sonraki adımlarda pist ve meydan turu kapasitesi modelleri kullanılarak havaalanının kapasite analize farklı trafik senaryoları için incelenecektir.

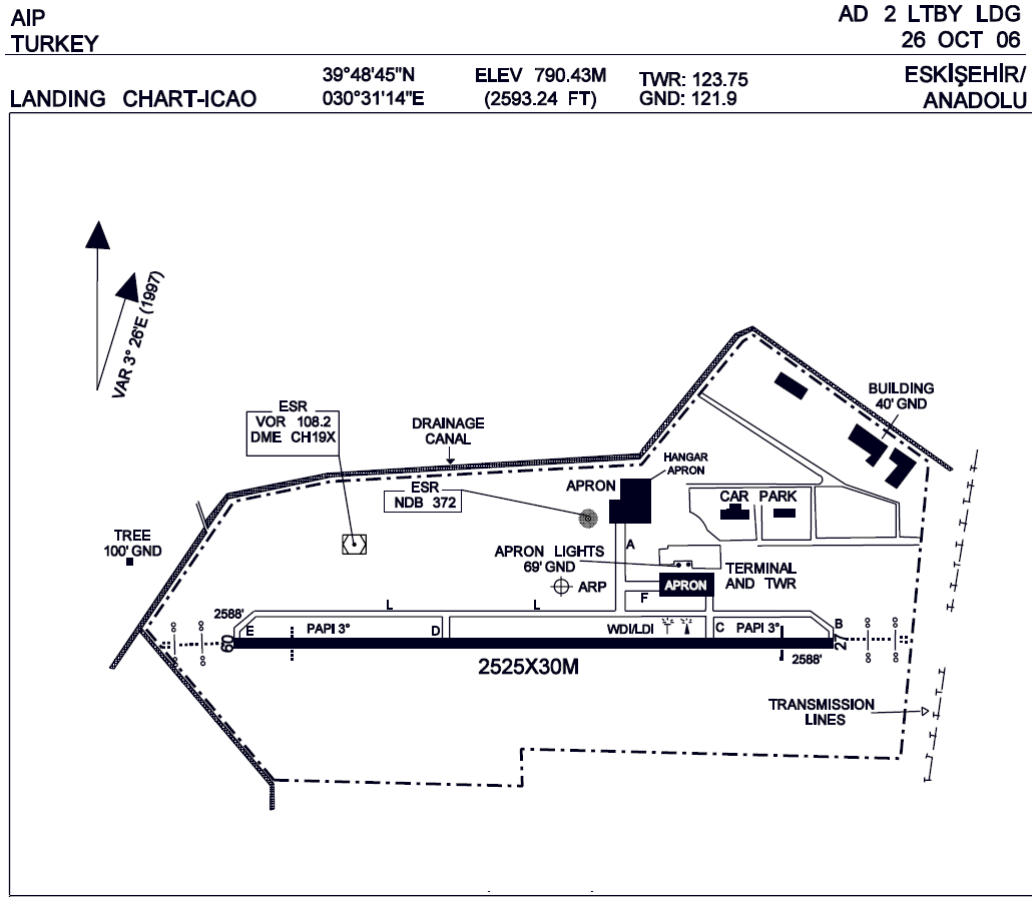
6.1. Anadolu Meydanı Özellikleri ve Uygulanan Operasyonlar

Uygulama meydanı olarak seçilmiş olan Anadolu Üniversitesi Havaalanı fiziksel karakteristikleri ve trafik yapısı bu bölümde incelenerek özel amaçlı havaalanı örneklendirmesi yapılacaktır.

6.1.1. Anadolu Üniversitesi Havaalanı fiziksel karakteristikleri

Anadolu Üniversitesi Havaalanı 1989 yılında üniversitenin havacılık birimlerinin eğitim alanı olarak inşa edilmiştir ve bu doğrultuda faaliyetini sürdürmektedir. Ancak günümüzde ulusal ve uluslararası yolcu taşımacılığına da açılmıştır ve Ulusal Havacılık Yayını'na göre uluslararası tarifeli uçuşa açık havaalanı konumundadır. Anadolu Üniversitesi Havaalanı'nın 09-27 yönünde tek pisti bulunmaktadır. Bu pist 2550 m uzunluğa ve 30 m genişliğe sahiptir. Havaalanının bir adet apronu ve iki adet hangarı bulunmaktadır. Bu apron ve hangarlara, piste paralel şekilde tasarlanmış, genişliği 30 m olan taksi yolu ile bağlantı sağlanmaktadır. Meydan deniz seviyesinin 790 m (2593 ft) üzerinde inşa edilmiştir. Terminal sahasının üst limiti deniz seviyesinin 1060 m (3500 ft) üzerindedir. Bu sebeple meydan turu yüksekliği pistin yaklaşık 300 m (1000ft)

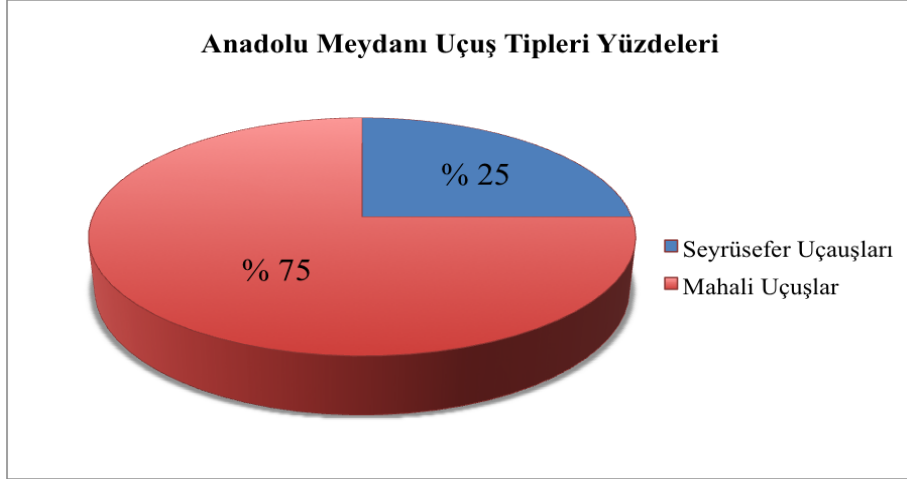
üstünde gerçekleştirilmektedir [4]. Ulusal havacılık yayınında yer alan Anadolu Üniversitesi krokisi Şekil 6.1.'de verilmiştir.



Şekil 6.1. Anadolu Üniversitesi Havaalanı krokisi [4]

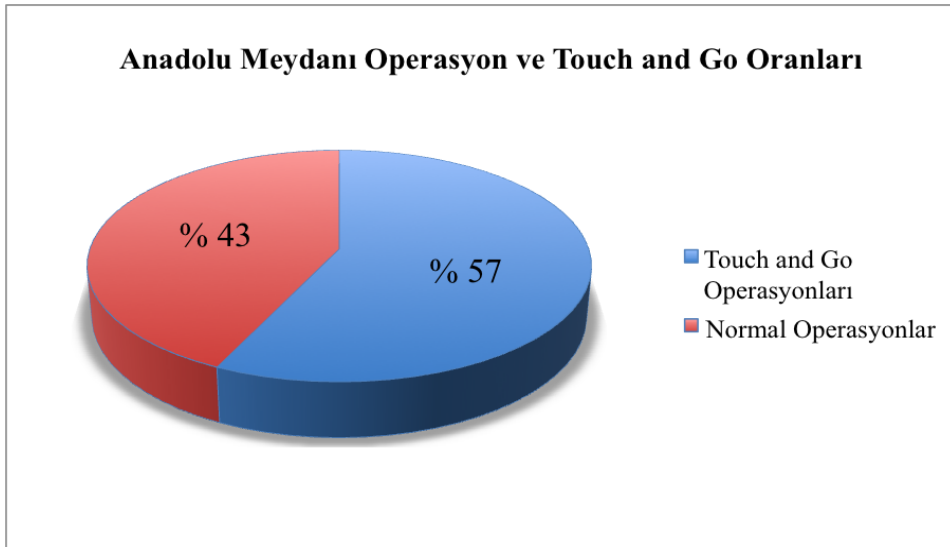
6.1.2. Uygulanan Operasyon Tipleri

Eğitim amaçlı kurulmuş bu havaalanında düzenlenen operasyonlar yine üniversitenin sahip olduğu tek ve çift motorlu çeşitli modellerde uçaklarla, pilot adayı yetiştirme bölümü olan pilotaj bölümünün akademik 4 yıllık eğitimlerini almaları için düzenlenen operasyonlardır. Ayrıca uluslararası trafiğe açılması ile birlikte 2009 yılı itibari ile haftada 3 uluslararası ve haftada 9 ulusal tarifeli hava taşımacılığına hizmet verilmektedir [34]. Şekil 6.2.'de görüldüğü gibi 2006 yılı verilerine göre uçuşların %75'i yerel uçuşu kapsamakta ve sadece %25 farklı meydanları içeren yine eğitim amaçlı seyrüsefer uçuşlarını ve harici trafikleri içermektedir.



Şekil 6.2. Anadolu Üniversitesi Havaalanı 2006 mahali ve seyrüsefer uçuş dağılımı

Ayrıca Şekil 6.3.'de görüldüğü gibi toplam trafiklerin %57'si touch and go operasyonlarını kapsamaktadır. Bu veriler meydan çevresi trafiğinin yoğunlukta olduğu bir trafik karakteristiğini ortaya koymaktadır. Bölüm 2.2.2.'de tanımlandığı gibi özel amaçlı kullanılan havaalanları geleneksel tipte trafik hizmeti veren havaalanlarından farklı olarak, kalkan uçakların meydan etrafında çeşitli eğitim amaçlı dönüşler ve/veya touch and go gibi özel manevralar düzenlenen bir havaalanı tipidir. Bu tanım doğrultusunda Anadolu Üniversitesi Havaalanı eğitim amaçlı hizmeti ile özel kullanımlı havaalanı kapsamındadır.



Şekil 6.3. Anadolu Üniversitesi Havaalanı touch and go operasyonu oranları 2006

6.1.3. Anadolu Üniversitesi uçakları ve performansları

Anadolu Üniversitesi eğitim uçuşlarını gerçekleştirmek üzere 6 farklı tipte toplam 26 uçağa sahiptir. Bu uçakların tiplerine göre sayıları Çizelge 6.1.'de verilmiştir. Bu uçak tiplerinin her biri hafif (L) kategoridedir. Ancak iniş-kalkış mesafeleri, son yaklaşma hızları bakımından kendi içlerinde ufak performans farklılıkları bulunmaktadır. Kapasite analizinde bu farklılıkların etkisi de inceleneceğinden performanslarına göre hesaplamalar ayrı ayrı yapılacaktır. Çizelge 6.2.'de Anadolu havaalanında uçuş eğitimi için kullanılan uçak tiplerinin iniş, kalkış ve meydan turu operasyonlarına ilişkin performans parametreleri verilmiştir. Bu performans parametreleri standart atmosfer koşullarında Anadolu havaalanının rakımı için bulunan değerlerdir ve ilgili uçak tipine ait uçuş el kitaplarından alınmıştır [35-39].

Çizelge 6.1. Anadolu Üniversitesi'nin sahip olduğu uçak tipleri ve sayıları

TIGER	CESSNA 172	TB 9	TB 20	C 90	B 200
7	6	3	9	2	1

Çizelge 6.2. Anadolu havaalanından uçuş eğitim hizmeti veren uçakların performans verileri

Performans Özellikleri	UÇAK TİPİ				
	TB9	C 172	TB20	C90	B200
Kalkış Mesafesi -Rule(m)	458	371	500	610	732
Kalkış Mesafesi -50ft (m)	716	634	797	762	1128
Kalkış Hızı-Rule (m/s)	33	26	37	-	49
Kalkış Hızı-50ft (m/s)	33	29	40	50	62
İniş Mesafesi -Rule(m)	280	193	272	-	579
İniş Mesafesi -50ft (m)	601	435	594	-	884
İniş Hızı-Rule (m/sn)	34	31	-	48	68
İniş Hızı-50ft (m/sn)	39	-	39	-	-
Meydan Turu ve Yaklaşma Hızı (m/sn)	41	41	46	64	64
Tırmanma Oranı (m/sn)	2.75	3.05	4.91	9.14	12.2

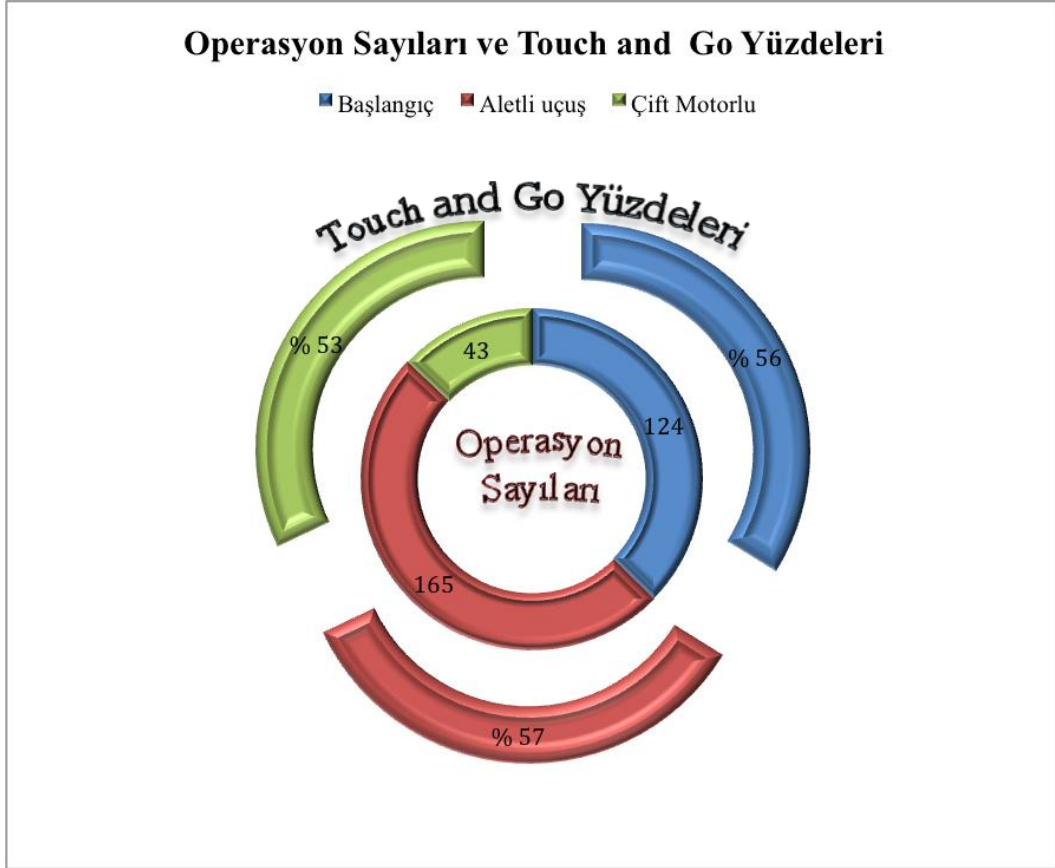
6.1.4. Anadolu Üniversitesi Pilotaj Bölümü Eğitiminin İncelenmesi

Anadolu havaalanında uçuşlarının yoğunluklu olarak pilotaj bölümü eğitimlerini kapsamasından dolayı havaalanı trafik karakteristiği de bu bölümün uçuşlarına göre şekillenmektedir. Bu durumda pilotaj bölümü eğitimi incelenerek genel trafik karakteristiği çıkarılabilir. Pilotaj bölümünde bir pilotun temel eğitiminden başlayarak çift motorlu bir uçakta yolcu taşımacılığı yapabileceği “Havayolu Taşımacılığı Pilot Lisansı (ATPL)” eğitimini kapsayan bir lisanslandırma eğitimi yapılmaktadır. Bu eğitim temel görerek VFR koşullarında gerçekleştirilen “Özel Pilot Lisansı (PPL)” safhasını; tek motorlu uçaklarla (Anadolu Üniversitesinde TB 20 uçakları ile) gerçekleştirilen IFR uçuş safhasını çift motorlu uçaklarla yapılan IFR uçuş safhasını kapsamaktadır. Bu eğitimin her safhasında verilmesi gereken eğitim tipleri, pilotaj eğitim çizelgesine göre saatleri ve sayıları Çizelge 6.3.’de gösterilmiştir.

Çizelge 6.3. Pilotaj eğitiminde safhalara göre uçulması gereken sorti sayıları

Gerçekleştirilmesi Gereken Sayılar				
Safhalar	Operasyon Sayısı / Saat	Touch and Go Sayısı	Toplam Operasyon Sayısı	Touch and Go Yüzdeleri
Başlangıç	54 / 85	70	124	%56
Aletli uçuş	71 / 117	94	165	%57
Çift Motorlu	20 / 14	23	43	%53

Çizelge 6.3.’de yer alan değerler doğrultusunda hazırlanmış Şekil 6.4’e göre iç çemberde her bir safhasının gerekli operasyon sayısı ve dış çemberde, toplama göre yüzdeliği yer almaktadır. Şekil 6.4.’e göre eğitimin bir gereği olan touch and go prosedürlerinin tüm operasyonlar içerisinde büyük bir öneme sahip olduğu görülmektedir. Bir öğrencinin eğitimi sırasında ortalama olarak her bir uçuşunda 1.3 tane touch and go yapması gerekmektedir. Bu durum da meydan turu trafiğinin sayısının artmasına sebep olmakta ve trafiği daha karmaşık bir hale getirerek kontrolörlerin iş yükünü artırmaktadır.



Şekil 6.4. Operasyon sayılarına göre Touch and Go oranları

Pilotaj eğitiminde öğrencilerin öğrenimleri sırasında emniyetli ve verimli bir eğitim alabilmeleri için gerekli bir dizi meteoroloji koşulun sağlanması gereklidir. Örneğin PPL safhasında öğretmen pilot ile birlikte uçtuğunda görüş 5 km, öğrenci tek başına uçtuğunda görüş 6 km olmalıdır. Anadolu havaalanı için 2007 yılında yapılan bir çalışmaya göre meteorolojik etkiler sebebi ile yılın büyük bir bölümü eğitim uçuşları için kullanılamamaktadır. Bu sebeple talep bahar ve yaz aylarında yoğunluk göstermektedir [2]. Tüm yıla yayılmamış bir operasyon, birim zamandaki trafik karmasını ve yoğunluğunu arttırmaktadır. Pilotaj eğitiminin tamamlanması için gerekli eğitim tipleri, uçulması gereken saat, görev tanımı, ve her görev için yapılması gereken iniş sayısı EK 1’de verilmiştir.

6.2. Anadolu Üniversitesi Havaalanı Pist Kapasitesi

Anadolu Üniversitesi havaalanı pist kapasitesinin hesaplanması için gerekli veriler, operasyon düzenlediği bilinen uçaklar için uçak el kitaplarından ve meydan verilerinden sağlanmıştır. Kapasite hesaplamalarında Bölüm 4’de verilen bağıntılar kullanılmıştır.

6.2.1. Uçak performans verilerine göre uçuş sürelerinin hesaplanması

Önceki bölümde açıklanan bağıntılara göre yapılacak hesaplamalarda öncelikle uçakların pist işgal sürelerinin hesaplanması gerekmektedir. İniş, kalkış ve touch and go operasyonları için pist işgal süreleri uçakların Çizelge 6.2.’de belirtilen performans verilerine göre Denklem 4.12., 4.15. kullanılarak hesaplanmıştır.

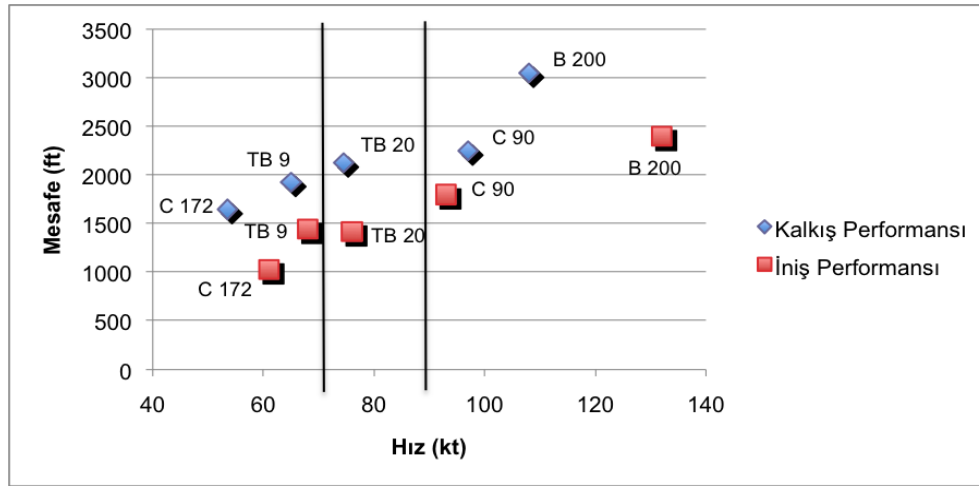
İniş sırasında uçağın ilk hızı, iniş hareketinin tanımı gereği pistin 50ft üzerinde olduğu andaki hızı, son hızı ise pist üzerindeki taksi hızına eşit alınmıştır. Benzer şekilde, kalkış hareketi sırasında uçağın ilk hızı sıfır, son hızı ise uçağın pist üzerindeki 50ft’lik sanal engeli geçtiği noktadaki hızı kabul edilmiştir. Bu kabullere göre kapasite hesaplamalarında kullanılacak olan iniş kalkış süreleri Çizelge 6.4.’de verilmiştir.

Çizelge 6.4. Uçak tiplerine göre kalkış ve iniş süreleri

	UÇAK TİPİ				
	TB9	CESSNA 172	TB20	C 90	B 200
KALKIŞ SÜRESİ (sn)	43	44	40	31	36
İNİŞ SÜRESİ (sn)	34	29	33	29	27

Uçakların kuyruk türbülansı sınıflandırmasına göre her biri hafif (L) kategoride olsa da kendi içlerinde önemli performans farklılıkları göstermektedirler. Farklılıkların kapasite üzerindeki etkisinin incelenebilmesi için uçaklar yeni bir sınıflandırmaya tabi tutulmuştur. Bu sınıflandırma yapılırken uçakların performansları kadar hangi tip uçakların uçuş eğitiminin hangi safhasında kullanıldığı da göz önüne alınmıştır. Uçuş eğitiminin 3 temel uçuş safhası bulunduğundan, uçakların da 3 kategoride incelemesi uygun görülmüştür. Bunlar: “tek motorlu 1 (TM1)”, “tek motorlu 2 (TM2)” ve “çift motorlu (ÇM)” uçak

kategorileri olarak adlandırılmıştır. TM1 kategorisinde TB9 ve Cessna 172, TM2 kategorisinde TB20 ve ÇM kategorisinde C90 ve B200 uçakları bulunmaktadır. Bu üç kategorideki uçakların kalkış ve iniş performans verileri doğrultusunda sınıflandırılması Şekil 6.5.'de gösterilmiştir. Her kategorinin iniş-kalkış mesafeleri ve hızları belirlenirken o kategoriye giren uçakların ilgili değerlerinin ortalaması alınmıştır. Bu performans kategorileri arasında en kısa iniş ve kalkış mesafesine sahip uçaklar TM1'de bulunurken, en uzun iniş kalkış mesafesine sahip uçaklar ÇM kategorisindedir. Benzer şekilde kategorilerin ortalama iniş ve kalkış son hızları TM1'den ÇM'ye artmaktadır.



Şekil 6.5. Kullanılan uçakların performanslarına göre sınıflandırılması

Pist operasyonlarının süreleri, uçakların maksimum operasyon ağırlıklarına göre hesaplanmıştır. Buna göre yapılan hesaplarla uçak kategorilerine göre performans özellikleri ve operasyon süreleri Çizelgede 6.5.'de gösterilmiştir. Hesaplamalar Bölüm 4.2.'de açıklanan kalkış, iniş ve touch and go hareketleri için verilen bağıntılara göre yapılmıştır.

Çizelge 6.5. Uçak kategorilerinin performans özellikleri ve operasyon süreleri

	UÇAK KATEGORİSİ		
	TEK MOTORLU 1	TEK MOTORLU 2	ÇİFT MOTORLU
Kalkış Mesafesi-Rule (m)	415	600	671
Kalkış Mesafesi-50ft (m)	675	797	945
Kalkış Hızı Rule (m/sn)	30	37	49
Kalkış Hızı-50ft (m/s)	31	40	56
İniş Mesafesi-Rule (m)	237	272	589
İniş Mesafesi-50ft (m)	518	594	884
İniş Hızı-Rule (m/sn)	34	-	68
İniş Hızı-50 ft (m)	39	39	-
Meydan Turu ve Yaklaşma Hızı (m/s)	41	46	64
Tırmanma Oranı (m/s)	2.9	4.91	10.67
KALKIŞ SÜRESİ (sn)	43	40	33
İNİŞ SÜRESİ (sn)	31	33	28
TOUCH AND GO SÜRESİ (sn)	43	22	22

6.2.2. Trafik karmaşının belirlenmesi

Kapasite hesabının yapılabilmesi için uçak kategorilerinin hangi yoğunlukta uçtuğunun belirlenmesi ve buna göre denkleme dâhil edilecek olasılıkların çıkarılması gerekmektedir. Trafik karmaşı olasılıklarının belirlenmesinde iki prensip benimsenmiş ve buna göre iki kapasite hesabı yapılmıştır. Bunlardan birincisi pilotaj eğitim gerekliliklerine göre bir yıl içerisindeki yapılması gereken uçuş oranlarına göre uçak kategorilerinin toplam trafik yüzdesi bulunarak yapılmıştır. Bu yaklaşımda olası harici trafikler göz ardı edilmek durumundadır. Diğer yaklaşımla 2006 yılı kule trafik kayıtlarına göre hesaplanan yüzdelerde harici trafiklerde yer almaktadır. Çıkan olasılık hesapları Çizelge 7’de gösterilmiştir. Ardı ardına operasyon düzenleyecek uçak çiftlerinin olasılıkları ise öndeki (*i*) ve arkadaki (*j*) uçakların olasılıklarının skalar çarpımına eşittir. Bu değerler [P_{ij}] matrisleriyle ifade edilmiştir.

Çizelge 6.6. Performans gruplarına göre operasyon oranları

Uçak Tipi İndeksi	OPERASYON OLASILIKLARI					
	TRAFİK KARMASI 2006			TRAFİK KARMASI GEREKLİ		
Uçak Kategorisi	i=1	i=2	i=3	i=1	i=2	i=3
Uçak Kategorisi	TM1	TM2	ÇM	TM1	TM2	ÇM
Operasyon Sayısı	1615	1186	130	54	71	20
Olasılık (P_i)	0.55	0.40	0.05	0.37	0.49	0.14
Olasılık Matrisleri $[P_{ij}]$ (i,j=1,2,3)	$\begin{bmatrix} 0.3025 & 0.22 & 0.022 \\ 0.22 & 0.16 & 0.016 \\ 0.022 & 0.016 & 0.0016 \end{bmatrix}$			$\begin{bmatrix} 0.1369 & 0.1813 & 0.0481 \\ 0.1813 & 0.2401 & 0.0637 \\ 0.0481 & 0.0637 & 0.0169 \end{bmatrix}$		

6.2.3. İniş kapasitesi hesapları

Anadolu havaalanında operasyon gerçekleştiren uçak tipleri ve olasılıkları belirlendikten sonra pistin iniş kapasitesi Bölüm 4.2.'de tanımlanan bağıntılar ve Çizelge 6.2-6.6'de verilen performans ve trafik verilerinin yardımıyla hesaplanır. Her uçak kategorisi için Denklem (4.2) ve (4.3a,b) yardımıyla hesaplanan iniş pist işgal süreleri Çizelge 6.7.'de verilmiştir. Pist işgal süresi hesaplanırken uçakların taksi hızı 3,8 m/s (6kt) kabul edilmiştir. Bu değer havaalanındaki her uçak için öngörülen taksi hızıdır. Ardı ardına iniş yapan uçak çiftlerinin aralarında bulunması gereken ayırma süreleri Denklem (4.3a,b) kullanarak hesaplanmış ve Çizelge 6.8.'de gösterilmiştir. Anadolu havaalanında ardı ardına iniş yapan uçaklar için öngörülen minimum ayırma mesafesi (δ_{ij}) 5556m (3 nm) ve ortak son yaklaşma hattının uzunluğu 2593 (1,4 nm)'dir. Bu değerler kullanılarak Denklem (4.1) ve (4.2) ile ortalama iniş hizmet süresi ve pistin iniş kapasitesi 2006 ve gerekli trafik karmaları için belirlenmiştir (Çizelge 6.9.) Her iki trafik karması için bulunan kapasite değerleri birbirlerine oldukça yakındır. Buna göre meydana oluşan trafik karmasının gerekliliklerle paralellik gösterdiği söylenebilir.

Anadolu havaalanının iniş kapasitesinin trafik karmasındaki çift motorlu uçakların oranına (P_3) göre değişimine bakıldığında (Şekil 6.6.) kapasitenin çift motorlu uçak operasyonları ile arttığı görülmektedir. Bunun nedeni çift motorlu uçakların son yaklaşma hızlarının yüksek ve iniş pist işgal sürelerinin kısa olmasıdır.

Çizelge 6.7. Anadolu Üniversitesi uçaklarının iniş pist işgal süreleri

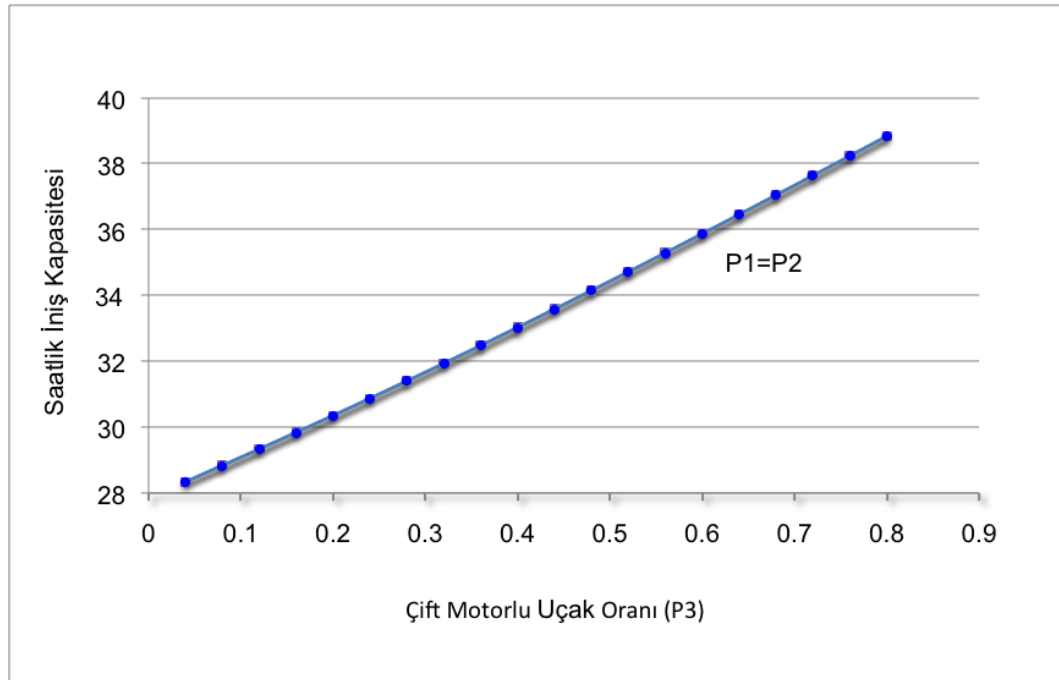
	Uçak Kategorileri		
	TM 1	TM 2	ÇM
İniş Pist İşgal Süresi, R (sn)	31	33	28

Çizelge 6.8. Anadolu havaalanı pistinden ardı ardına iniş yapan uçak çiftleri arasında bulunması gereken ayırma süreleri

	Uçak Çiftleri Arasındaki Ayırma Süreleri, $(\Delta t_{ij})_{iniş}$ (sn)		
	TM1 (j=1)	TM2 (j=2)	ÇM (j=3)
TM1 (i=1)	135	120	64
TM2 (i=2)	142	120	71
ÇM (i=3)	135	136	86

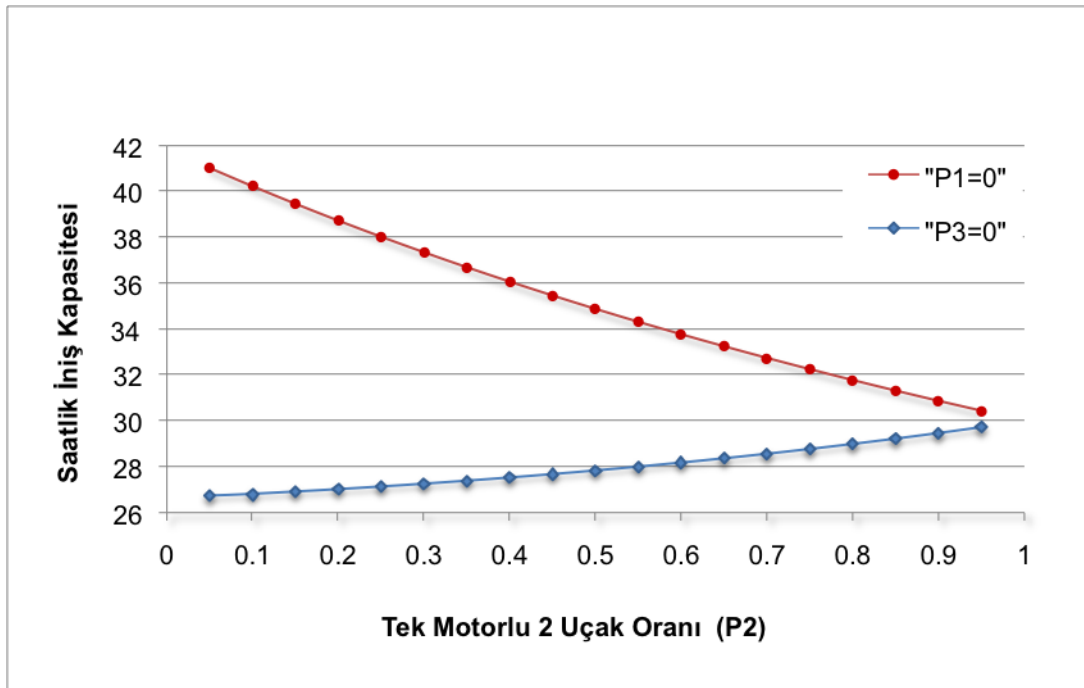
Çizelge 6.9. Anadolu havaalanında ortalama iniş hizmet süresi ve saatlik iniş kapasiteleri

	2006 Trafik Karması Olasılıklarına Göre Kapasite	Gerekli Uçuş Olasılıklarına Göre Kapasite
Ortalama İniş Hizmet Süresi, $\bar{\Delta t}_{iniş}$ (sn)	128	121
Saatlik İniş Kapasitesi, $C_{iniş}$ (Operasyon/saat)	28	30



Şekil 6.6. Çift Motorlu uçak oranlarına (P_3) göre iniş kapasitesinin değişimi

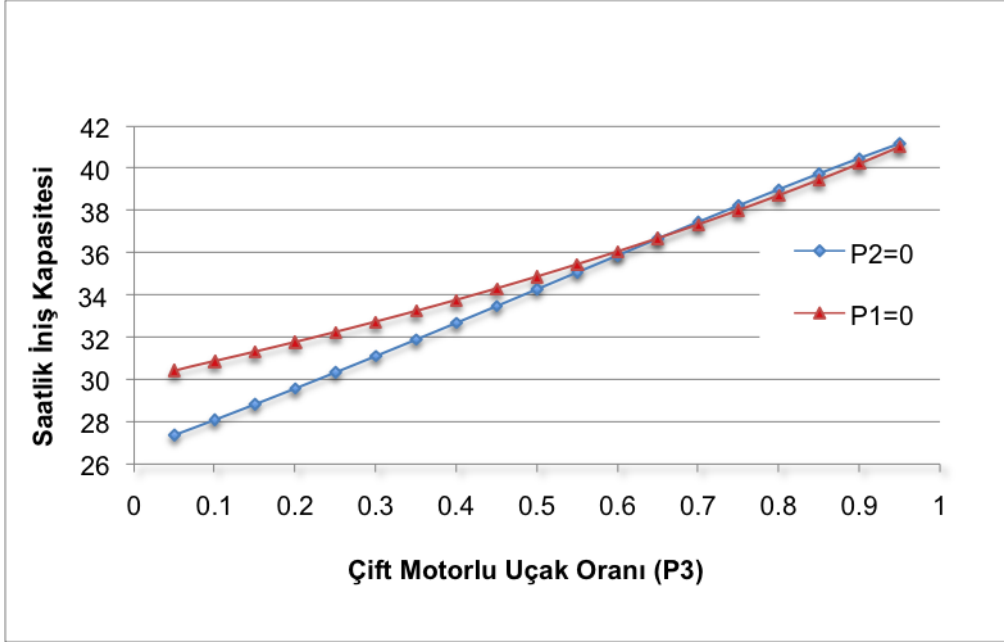
Uçakların performans kategorilerine göre çiftler halinde incelemelerinde ise benzer etki görülmektedir. Şekil 18'deki mavi seri çift motorlu uçakların operasyon düzenlemediği ($P_3=0$) trafik durumunu göstermektedir. Bu durumda trafik karmasında sadece tek motorlu uçak kategorileri (P_1 ve P_2) mevcuttur. Trafik karmasında performansı daha yüksek olan tek motorlu 2 kategorisinin oranı arttıkça saatlik iniş kapasitesinin arttığı, ancak tek motorlu uçak kategorilerinde bu performans farklılığının görece az olması nedeniyle bu kapasite artışının %15 ile sınırlı olduğu görülmektedir. Ancak kırmızı seri ile gösterilen tek motorlu 1 kategorisinin operasyon düzenlemediği ($P_1=0$) durumda, trafik karmasında tek motorlu 2 kategorisinden uçakların artışı kapasitesini %30 düşürmektedir. Bu durum performansı yüksek çift motorlu uçakların oranının toplam trafik içinde azalmasının iniş kapasitesi üzerinde önemli bir etkisi olduğunu göstermektedir.



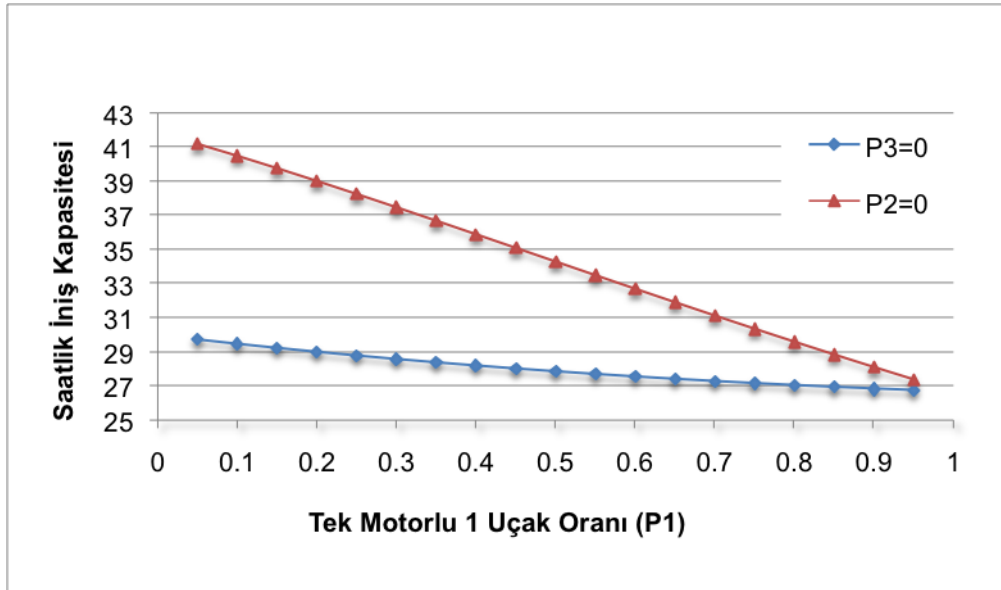
Şekil 6.7. Saatlik iniş kapasitesinin tek motorlu 2 oranına (P_2) göre değişimi

Çift motorlu uçak oranının iniş kapasitesi üzerindeki bu etkisi Şekil 6.8.'de performans kategorilerinin çiftler halinde karşılaştırılmasında daha açık olarak görülmektedir. Şekil 6.8.'deki kırmızı ve mavi seriler, sırasıyla, tek motorlu 1 ve tek motorlu 2 kategorilerin trafikte yer almadığı durumları ifade etmektedirler. Kırmızı seride ($P_1=0$) çift motorlu uçak oranı arttıkça (ya da tek motorlu 2 oranı

azaldıkça) iniş kapasitesi, beklendiği gibi, %30 oranında artış göstermektedir. Mavi seride ise ($P_2=0$) çift motorlu uçakların oranının bu artışı (ya da tek motorlu 1 oranının azalması) iniş kapasitesini %55 oranında artırmaktadır. Bu artış farklılığı performansı göreceli olarak düşük olan uçakların trafik karması içindeki oranlarının azalmasından kaynaklanmaktadır. Şekil 6.9.'daki seriler de (kırmızı seride $P_1=0$ ve mavi seride $P_2=0$) aynı sonucu işaret etmektedirler.



Şekil 6.8. Saatlik iniş kapasitesinin çift motorlu oranına (P_3) göre değişimi



Şekil 6.9. Saatlik iniş kapasitesinin tek motorlu 1 oranına (P_1) göre değişimi

6.2.4. Kalkış kapasitesi hesapları

Anadolu havaalanı pistinin kalkış kapasitesini belirlemek için öncelikle her uçak tipi için kalkış pist meşguliyet süresi hesaplanmalıdır. Bu hesaplamalar Denklem (4.9) ve (4.10)'daki bağıntılar kullanılarak yapılmış ve sonuçlar ilgili parametrelerle beraber Çizelge 6.10.'da verilmiştir.

Pist meşguliyet süreleri belirlendikten sonra Denklem (4.8)'de verilen bağıntı kullanılarak ardı ardına kalkabilecek her uçak çifti için gerekli ayırma süresi $((\Delta t_{ij})_{kalkış})$ hesaplanmıştır. Bu hesaplama yapılırken, ardı ardına kalkan her uçak çiftinin rotalarında 45° lik sapma olduğu kabul edilip aralarındaki minimum ayırma süresi (Δt_{ijmin}) 60 sn alınmıştır [13]. Pratik uygulamalarda Anadolu havaalanı pistinden kalkan uçakları ortak bir ilk tırmanma hattını izlemedikleri için $\gamma_{kalkış}$ değeri sıfır kabul edilmiştir. Her uçak çifti için hesaplanan ayırma süreleri Çizelge 6.11.'de verilmiştir.

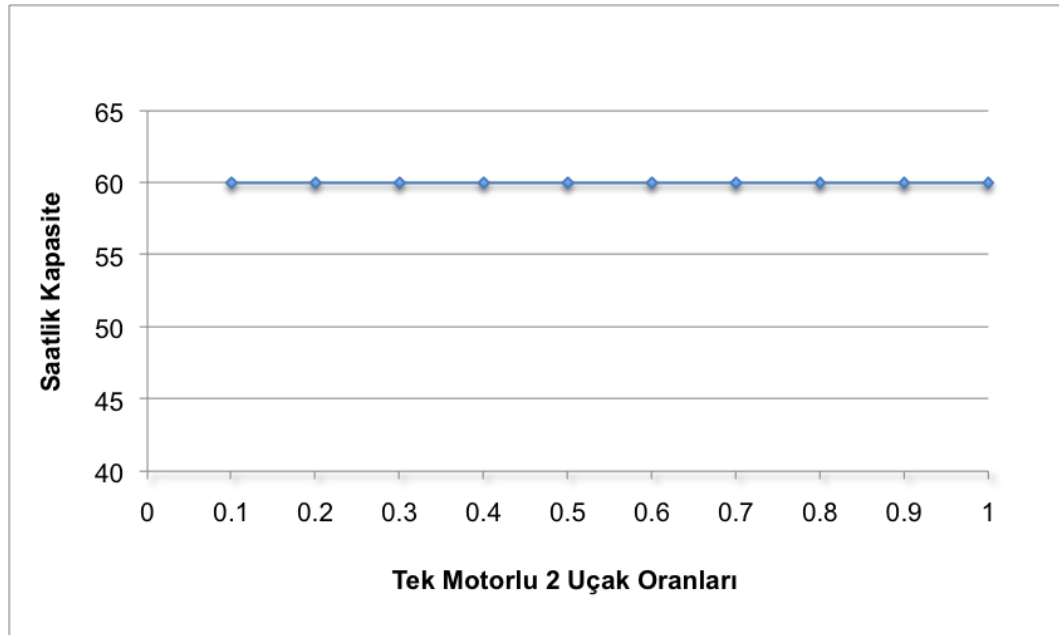
Kalkış operasyonları için ortalama hizmet süresi $(\Delta \bar{t}_{kalkış})$ hem 2006 hem de gerekli trafik karması olasılık matrisleri için 60 sn olarak hesaplanmıştır. Bu durumda Denklem (4.6) kullanılarak pistin kalkış kapasitesi hesaplandığında 60 operasyon/saat değeri bulunur. Pistin saatlik kalkış kapasitesi, farklı trafik karmaları için yeniden hesaplandığında da sabit kalmaktadır. Örneğin, Şekil 6.10.'da P_1 (tek motorlu 1) ve P_3 (çift motorlu) olasılıkları birbirine eşit kabul edildiğinde ve P_2 (tek motorlu 2) olasılığı 0 ile 1.0 arasında farklı değerler aldığı anda kapasitenin değişmediği görülmektedir. Bunun nedeni hızlı uçaklar öndeyken azalan ayırma süresinin yavaş uçaklar önde bulunduğu anda uzayan ayırma süresine eşit olmasıdır. Örneğin tek motorlu 2 kategorisinden bir uçağın arkasında tek motorlu 1 kategorisinden bir uçak varsa $((\Delta t_{21})_{kalkış} = 42 \text{ sn})$ ayırmalar 18 sn azalırken, tersi durum için $((\Delta t_{12})_{kalkış} = 78 \text{ sn})$ ayırmalar 18 sn artmakta ve böylelikle ortalama hizmet süresi dolayısı ile kapasite değişmemektedir.

Çizelge 6.10. Anadolu Üniversitesi uçaklarının kalkış ve kalkış pist işgal süreleri

Süreler	Uçak Kategorileri		
	TM 1	TM 2	ÇM
t_{pist} (sn)	52	41	27
$t_{dönüş}$ (sn)	63	37	18
$t_{kalkış}$ (sn)	43	40	33
R^k (sn)	95	77	51

Çizelge 6.11. Anadolu havaalanı pistinden ardı ardına kalkış yapan uçak çiftleri arasında bulunması gereken ayırma süreleri

	Uçak Çiftleri Arasındaki Ayırma Süreleri, $(\Delta t_{ij})_{kalkış}$ (sn)		
	TM1 (j=1)	TM2 (j=2)	ÇM (j=3)
TM1 (i=1)	60	78	104
TM2 (i=2)	42	60	86
ÇM (i=3)	16	34	60



Şekil 6.10. Tek motorlu 2 grubu oranlarının değişimi ile saatlik kalkış kapasitesi ilişkisi

6.2.5. Karma operasyon kapasitesinin hesaplanması

Karma operasyon kapasitesinin hesaplanmasında kullanılan parametreler Çizelge 6.12.'de yeniden derlenmiştir. Kapasitenin hesaplanışında bilinmesi gereken operasyonlar arasındaki ayırma kuralları ve süreleri daha önceki bölümlerde belirlenmiştir. Bu kurallar ve süreler Çizelge 6.13.'de özetlenmiştir.

Çizelge 6.12. Karma operasyonlar için pist kapasitesinin hesaplanmasında kullanılan parametreler

Uçak Grubu	Yaklaşma Hızı (m/sn)	R _i (sn)	Trafik Karması (2006)	Trafik Karması (Gerekli)
Tek Motor 1	41	31	0.55	0.37
Tek Motor 2	46	33	0.40	0.49
Çift Motor	64	28	0.05	0.14

Çizelge 6.13. Karma operasyonlar için pist kapasitesinin hesaplanmasında kullanılan parametreler

Operasyon Sırası	Ayrırma Kuralları
İniş - Kalkış	İnen uçak Pisti terk edene kadar
Kalkış - İniş	3 NM (5556 m) esas bacak başlangıç noktasının pist başına uzaklığı
Kalkış - Kalkış	$\left[(\Delta t_{ij})_{kalkış} \right] = \begin{bmatrix} 60 & 78 & 104 \\ 42 & 60 & 86 \\ 16 & 34 & 60 \end{bmatrix} \quad (i,j=1,2,3)$
İniş - İniş	$\left[(\Delta t_{ij})_{iniş} \right] = \begin{bmatrix} 135 & 142 & 135 \\ 120 & 120 & 136 \\ 64 & 71 & 86 \end{bmatrix} \quad (i,j=1,2,3)$

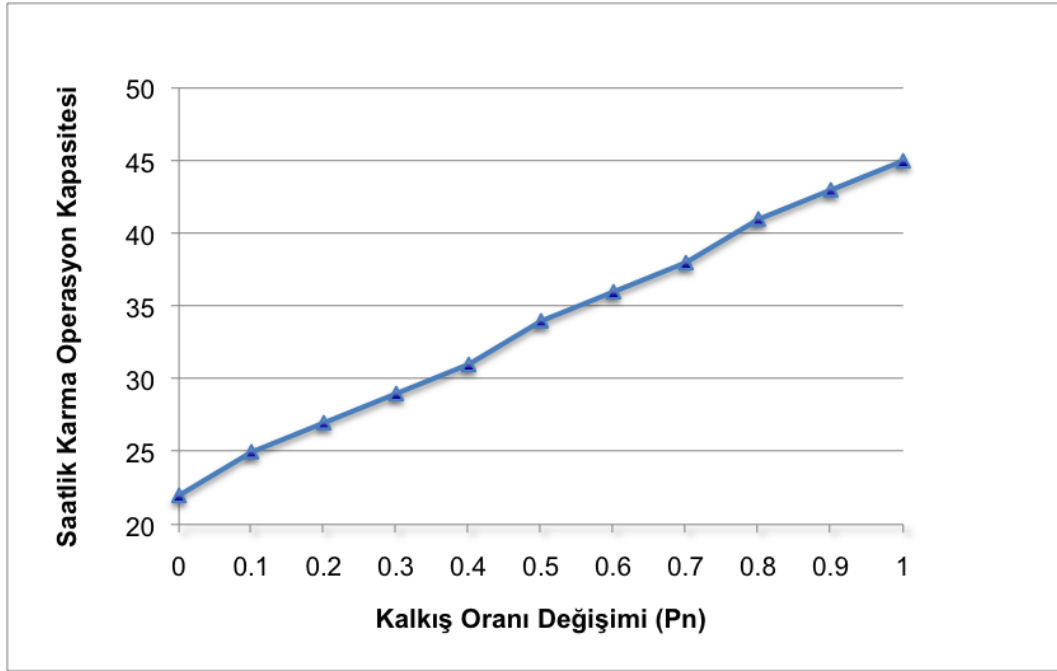
İki iniş arasında bir operasyon düzenlemek için gerekli süre hesaplanmak için gerekli değerler 2006 trafik karması için Denklem (4.2)'de yerine konulursa aşağıdaki değer bulunur:

$$(\Delta t_{ij})_{iniş} \geq (0,55 \cdot 31 + 0,40 \cdot 33 + 0,05 \cdot 28) + 5556 \cdot \left(\frac{0,55}{41} + \frac{0,40}{46} + \frac{0,05}{64} \right) = 158sn$$

Bu sonuca göre iki iniş arasına bir kalkış operasyonunun gerçekleştirilebilmesi için, inişlerin arasında bulunması gereken minimum süre 158 saniyedir. Bölüm 6.2.3'de ortalama iniş hizmet süresi ($\Delta \bar{t}_{iniş}$) 128 saniye olarak hesaplanmıştır. Çizelge 6.13.'de verilen iniş-iniş ayırma sürelerinin hiç biri bu koşulu sağlamamaktadır. Bu durumda hizmette gecikme olmaksızın iki iniş arasında bir kalkış operasyonu düzenlemek mümkün değildir. Gecikmeye rağmen her iki iniş arasında bir kalkış operasyonu ($n_{kalkış}=1$ ve $p_n=1$) düzenlenmek istenirse kapasite:

$$C_{karma} = \frac{3600}{158} \cdot (1 + 1 \cdot 1) = 45 \text{ operasyon/saat}$$

değerini alacaktır. İki iniş arasında yapılacak bir kalkış operasyonu olasılığına (p_n) göre karma kapasitedeki değişimi Şekil 6.11.'de verilmiştir. Bu kapasite hesabı 2006 yılı trafik oranlarına göre hesaplanmıştır. İki iniş arasında kalkış operasyonu arttıkça bir saatte düzenlenen toplam operasyon sayısı da artmaktadır. Buna karşın eğer $p_n=0$ değerini alırsa saatlik operasyon sayısı ya da başka bir deyişle iniş sayısı 22 olmaktadır. Bölüm 6.2.3'de hesaplanan iniş kapasitesi değerinin 28 operasyon/saat olduğu düşünülürse, karma operasyon yapma niyetiyle neden olunan gecikmenin iniş operasyonları sayısını yaklaşık %20 düşürdüğü görülmektedir. Karma kapasite pilotaj eğitimi için gerekli olan trafik karması için de hesaplandığında 2006 karması ile aynı değerler bulunacaktır.



Şekil 6.11. Saatlik karma operasyon kapasitesinin kalkış olasılıklarına göre değişimi

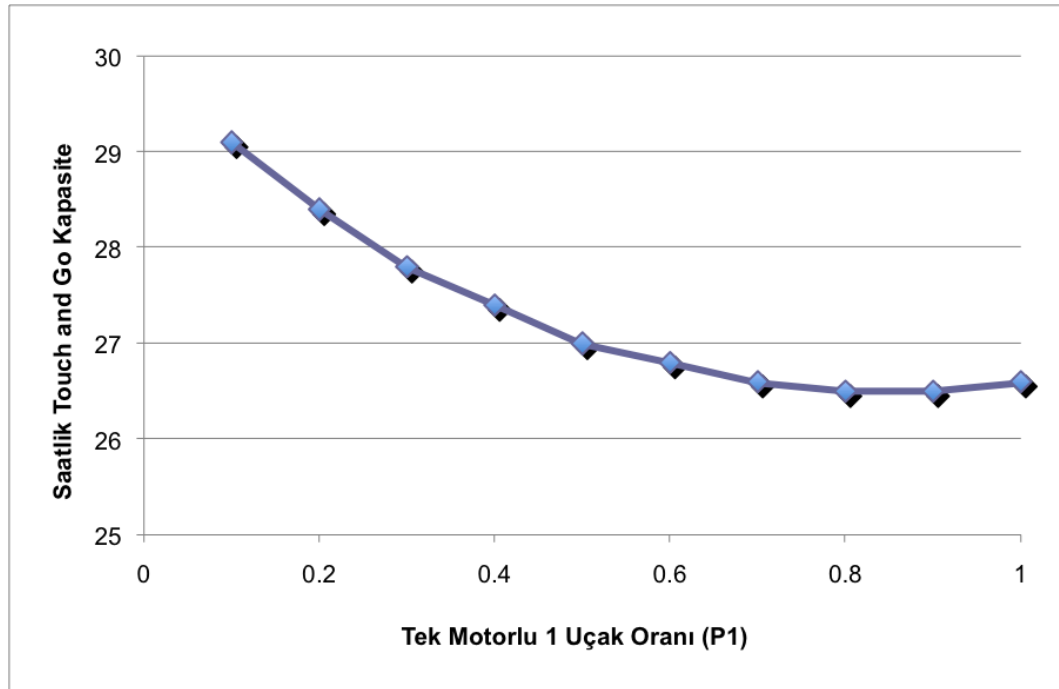
6.2.6. Touch and go operasyonları kapasite hesabı

Touch and go operasyonları için geliştirilmiş bir matematiksel model bulunmadığından uyarlanmış denklemlerle hesaplama yapılacaktır. Bu hesap için kullanılacak parametreler Bölüm 6.2.5’de karma operasyonların hesaplanmasında parametreler ile aynıdır.

Denklem (4.17)’ye göre hesaplanan $R_{i_{TG}}$ süreleri Tek Motor 1 kategorisi için 95, Tek Motor 2 kategorisi için de 59’dur. Bu süreler ile denklem (4.16a,b)’ye göre touch and go operasyonları için hesaplanan (Δt_{ij}) değerleri aşağıdaki gibidir.

$$\left[(\Delta t_{ij})_{TG} \right] = \begin{bmatrix} 166 & 168 & 162 \\ 180 & 153 & 147 \\ 126 & 128 & 123 \end{bmatrix}$$

Ard arda touch and go operasyonu düzenlendiği koşulda kapasitenin hesaplanmasında denklem (4.15)’deki touch and go olasılık değeri 1 olarak alınmıştır. Buna göre hesaplanan touch and go kapasitesinin Tek Motorlu 1 uçak kategorisinin oranının artışına göre değişimi Şekil 6.12.’deki gibidir. Tek motorlu uçakların iniş kalkış performanslarının düşük olması kapasitenin düşmesine sebep olmaktadır.



Şekil 6.12. Tek Motorlu 1 uçak oranının artışına göre saatlik touch and go kapasitesi değişimi

6.3. Anadolu Üniversitesi Havaalanı Meydan Turu Kapasitesi Analizi

Anadolu Üniversitesi meydan turu kapasitesi analizi önceki bölümde açıklanan ARENA modelinin yardımıyla yapılacaktır. Bu model sayesinde Anadolu Üniversitesi Havaalanında eğitim amaçlı kullanılan uçaklara hizmet verildiğinde meydan turu kapasitesi hesaplanacaktır, ayrıca sistem içerisindeki düğüm noktaları belirlenecektir.

Oluşturulan modelin Anadolu Üniversitesi Havaalanına uyarlanmasında uçak performans verileri dışında havaalanına özel durumlar doğrultusunda bazı kabuller alınmıştır. Bu kabullerin başında kullanılan pist gelmektedir. Bu havaalanı için 27 numaralı pistin iniş ve kalkış operasyonları için kullanıldığı kabul edilmiştir. Buna bağlı olarak meydan turu da sağdan (meydanın kuzey yönünde) yapılmaktadır. Çalışma içerisinde bu şekilde kabul edilmesinin sebebi gerçekte de meydanın güneyinin askeri uçuşlar nedeni ile kullanılamamasıdır.

Bir diğer kabul meydan turunun fiziksel boyutlarıdır. Meydan turu Anadolu Üniversitesi pilotaj eğitiminde TB20 uçakları ile uygulanan klasik meydan turu boyutlarında alınmıştır ve tüm uçakların aynı boyutlarda ancak kendi performanslarına göre uçuşlarını düzenledikleri kabul edilmiştir. Bu kabul çerçevesinde meydan turunun fiziksel sınırlarının boyutları ve belirlenimleri şu şekilde anlatılabilir:

(1) Uçak kalkışının ardından deniz seviyesinden 3100ft'e ulaştığı anda *rüzhar yan bacağı*'na dönüşüne başlar. 3100 ft'i alış noktası uçağın tırmanma performansına göre değişiklik göstermektedir. Buna bağlı olarak bu bacağın süreleri de farklıdır. Hesaplamalarda hız olarak 50ft'deki kalkış hızından meydan turu hızına sabit ivmeli hareket ile hızlandığı kabul edilmiştir.

(2) Rüzgâr yan bacağı uzunluğu 1,4 NM olarak hesaplanmıştır ve tüm uçaklar için mesafe aynıdır. Bu mesafeyi uçtukları süre ise performanslarına göre farklılık gösterir.

(3) Rüzgâr altı bacağı uzunluğu, rüzgâr yan bacağına dönüş mesafelerine bağlı olarak tüm uçak tipleri için değişmektedir. Rüzgâr altı bacağının uzunluğu rüzgâr yan bacağına dönüş, bir pist boyu mesafe ve pist hizasından saniye tutularak esas bacağına dönülen noktaya dek uçuşun toplamıdır. Bu sebeple her uçak değişiklik göstermektedir.

(4) Esas bacak uzunluğu rüzgâr yan bacağı ile aynı olup 1,4 NM'dir.

(5) Final uzunluğu da yine uçak tipine göre rüzgâr altı bacağı uzunluğu doğrultusunda değişmektedir. İniş yapılacak pist başından ne kadar uzaklaşıldı ise son yaklaşma uzunluğu da o ölçüde artmaktadır.

(6) İniş uzunluğu ise kalkışta olduğu gibi yerden 50ft'lik irtifadan yer rulesinde taksi hızı olan 6 kt'a ulaşınca kadar geçen süre ve 27 pistine inişinin ardından çıkış taksi yoluna kadar 6 kt hızla yaptığı yer taksi süresidir.

Bu çerçevenin uçak performans kategorilerine göre meydan turu bacaklarının uzunlukları m ve NM cinsinden çizelgede verilmiştir.

Çizelge 6.14. Meydan turu safha uzunlukları

	Mesafeler					
	1 ve 2	2 ve 3	3 ve 4	4 ve 5	5 ve 6	6 ve 1
	m/NM	m/NM	m/NM	m/NM	m/NM	m/NM
Tek Motor 1	415/0.2	1977/1.1	2593/1.4	7227/3.9	2593/1.4	2700/1.5
Tek Motor 2	500/0.3	1495/0.8	2593/1.4	7054/3.8	2593/1.4	3009/1.6
Çift Motor	671/0.4	966/0.5	2593/1.4	6525/3.5	2593/1.4	3009/1.6

Bu çerçevede uçak performans kategorilerine göre sınıflandırılmış meydan turu bacak numaralarına göre düzenlenmiş uçuş süreleri çizelgede verilmiştir. Oluşturulan senaryolarda bu süreler kullanılacaktır. Ancak gerekirse model içerisinde farklı bir şekilde hesaplanmış başka değerlerde kullanılabilir.

Çizelge 6.15. Meydan turu safhaları süreleri

	Süreler (sn)						
	1 ve 2	2 ve 3	3 ve 4	4 ve 5	5 ve 6	6 ve 1	1 ve 2
Tek Motor 1	43	63	62	174	62	70	31
Tek Motor 2	40	37	56	152	56	77	33
Çift Motorlu	33	18	40	101	40	54	28

14 park yeri kapasiteli Anadolu Üniversitesi Havaalanı için motor çalıştırma pozisyonları olan bu 14 park yerine uçaklar belirlenecek olasılık ve sayılar doğrultusunda motor çalıştırmak üzere her 2 dakikada bir gelmektedir.

6.3.1. Klasik meydan turu modeli 1. senaryo

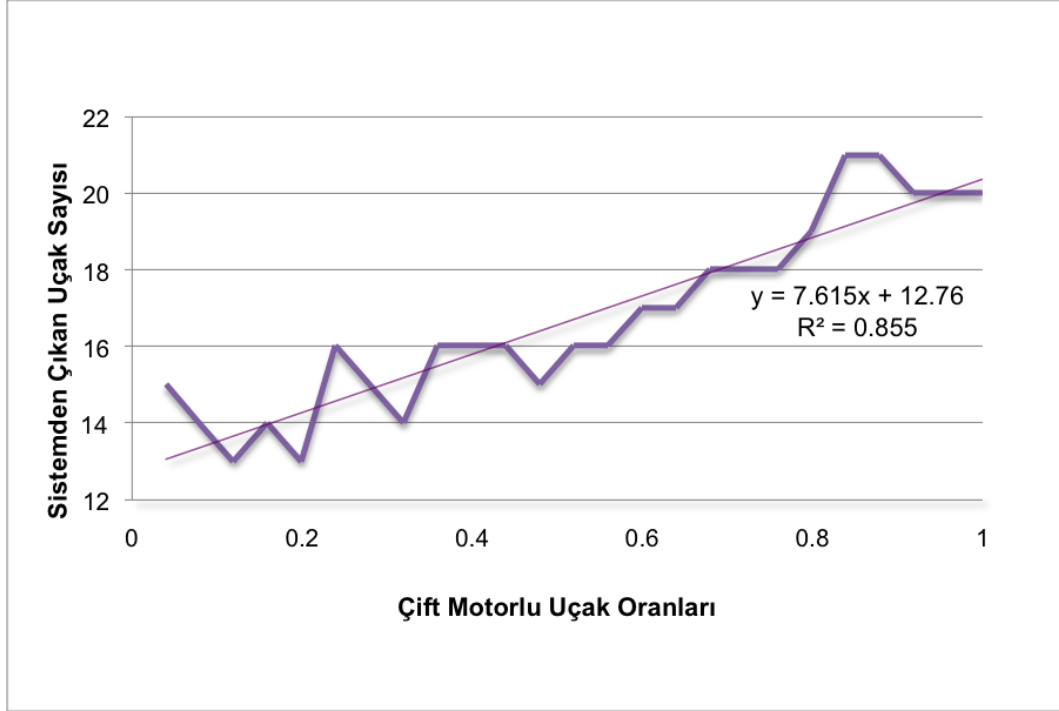
Klasik meydan turu modeli kullanılarak iki ayrı senaryo doğrultusunda ilgili parametreler değiştirilerek inceleme yapılmıştır. Bunlardan ilki her uçak kategorisinin trafik karması içerisinde belirli bir oranla başlayarak, değişik oranlarla deneylerin tekrarlanması halinde, bu değişim ile kapasitenin etkileşimi üzerinedir. Bu senaryodaki ana hedef çift motorlu uçakların sistem içerisindeki oranları artırıldığı takdirde kapasite ve gecikmelerin değişimini incelemektir.

Bu amaç doğrultusunda yapılan deneylerde uçakların senaryoda bulunma oranları “Tek Motorlu 1” ve “Tek Motorlu 2” için 0,48, “Çift Motorlu” grubu için 0,04 olarak alınmıştır. Çift Motorlu grubunun oranının 0,02 artışı ile tek motorluların aynı oranda düşmesi otuz deney uygulanarak kapasitenin değişimi incelenmiştir. Yapılan hızlı simülasyon bir saatlik bir koşturmayı içermektedir. Modelin analiz çıktıları için yirmi dakikalık bir ısınma zamanı kullanılmıştır. Analizlerin grafikleri çizelgelerdeki gibidir.

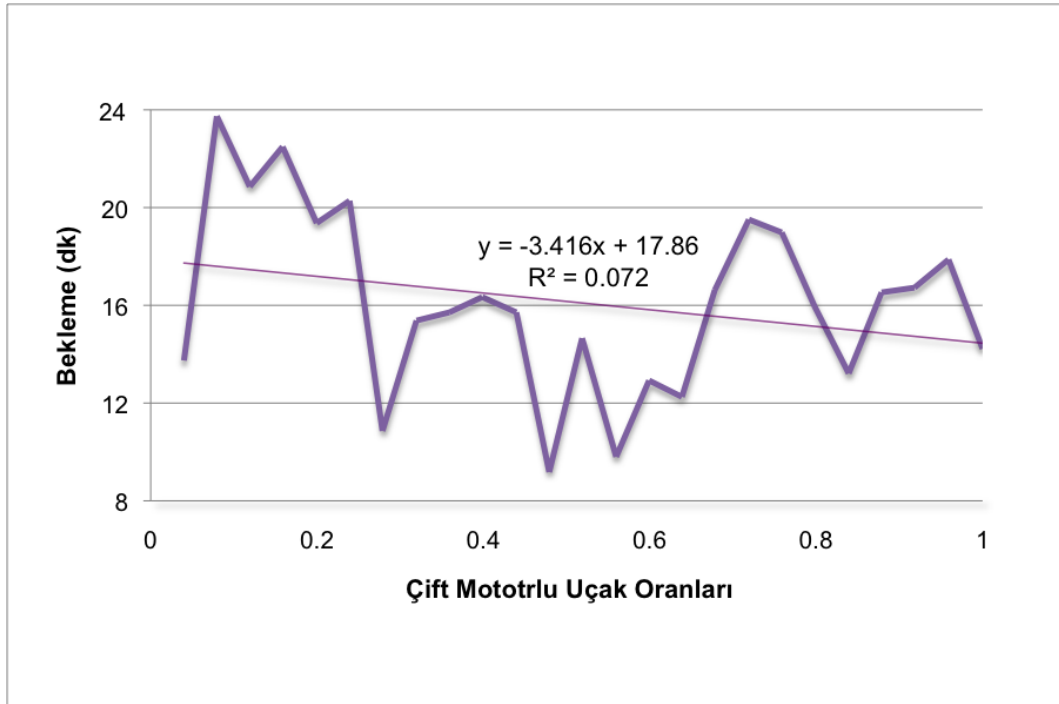
Şekil 6.13.’de çift motorlu uçakların karma içerisindeki oranı arttıkça meydan turunu tamamlayarak sistemden çıkan uçakların sayıları da artmaktadır. Sistem kapasitesindeki bu artış üzerindeki temel etken olarak performanslarının daha yüksek olması ile sistemi meşgul etme sürelerinin azalması gösterilebilir.

Çift motorlu uçakların karma içerisindeki oranı arttıkça sistemden çıkan uçakların pist başındaki bekleme sürelerinin azaldığı görülmektedir (Şekil 6.14.’de). Bu azalma sistemin verimliliği açısından önemlidir. Yer bekleme süreleri azaldıkça uçaklar açısından sistem konforu da artmaktadır.

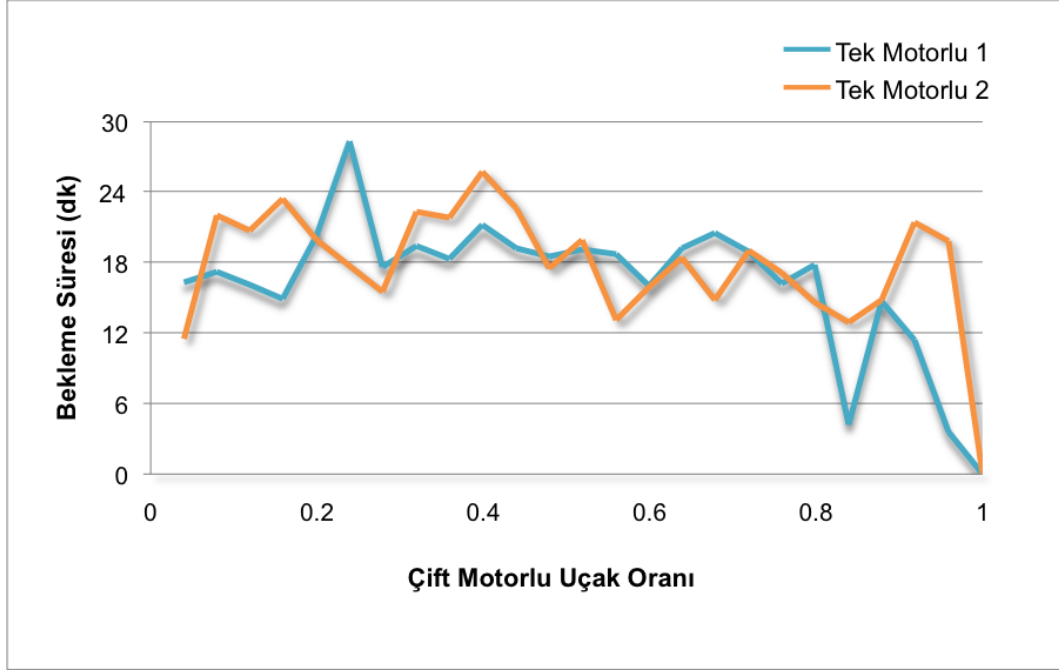
Sistemden çıkan uçakların gecikmelerinin uçak kategorilerine göre değişimi incelenmiştir. Tek motorlu uçakların incelemesi Şekil 6.15.’de verilmiştir. Son deneylerde tek motorlu uçak kategorilerinin her ikisinin de oranlarının sıfıra yaklaşması sebebi ile bekleme süreleri de sıfıra yaklaşmıştır. Ancak oranlara bağlı olarak bir azalma gözlemlenmiştir. Çift motorlu uçakların gecikmelerinin değişimi ise Şekil 6.16.’da gösterilmiştir. Oranların artmasına karşın gecikmenin sınırlı bir oranda artması çift motorlu uçakların sistem içerisinde daha uyumlu olduğu sonucuna ulaştırmaktadır.



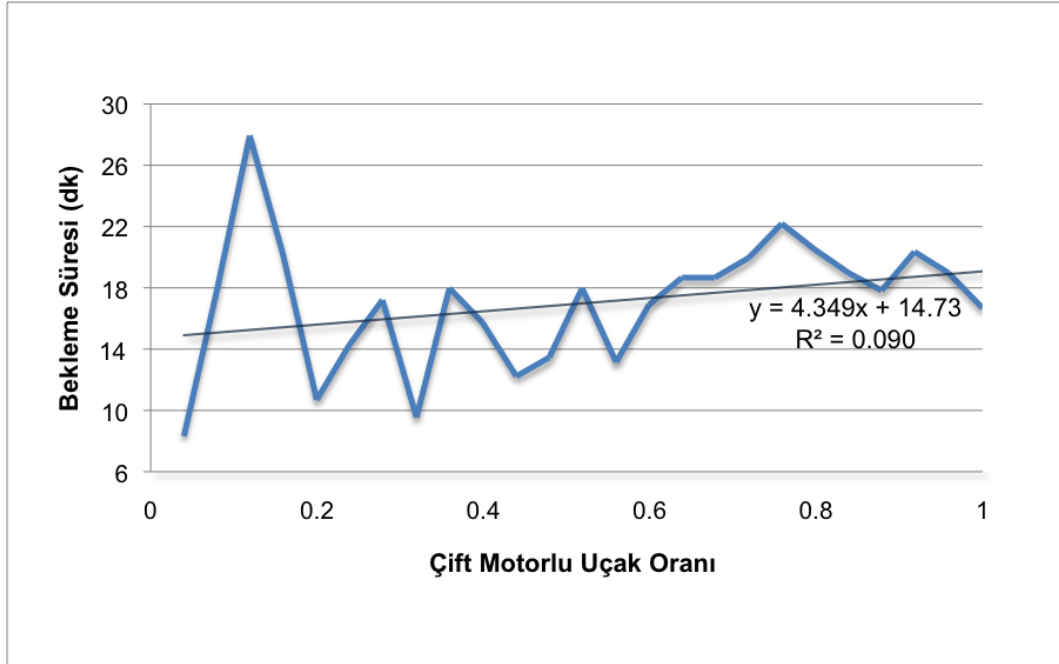
Şekil 6.13. Çift Motorlu uçakların oranlarının artışı ile sistemden çıkan uçak sayısı ilişkisi



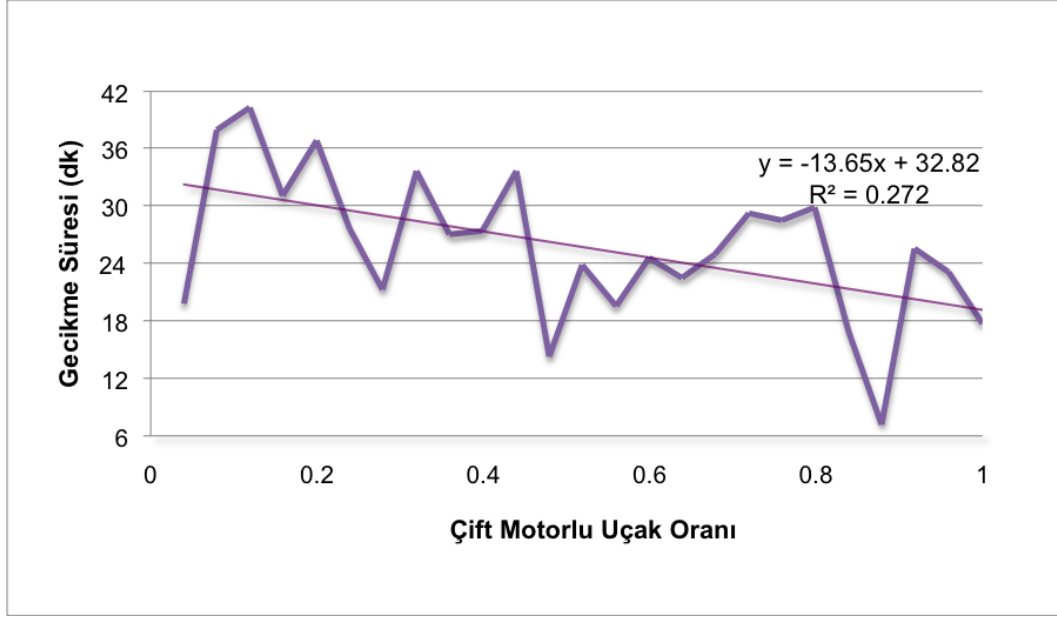
Şekil 6.14. Pist başı beklemleri ve çift motorlu oranı artışı



Şekil 6.15. Uçak tiplerine göre bekleme sürelerinin çift motorlu uçak oranı ile değişimi



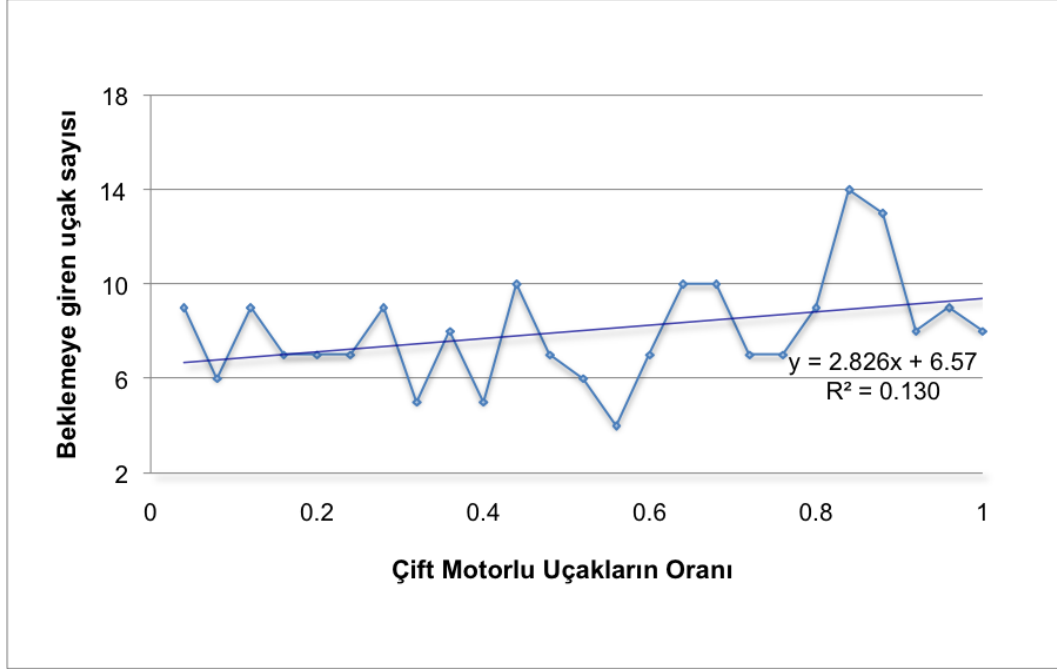
Şekil 6.16. Çift Motorlu uçakların oranı artışı ile bekleme sürelerinin değişimi



Şekil 6.17. Çift motorlu uçakların oran artışı ile havadaki gecikmeleri ilişkisi

Bir hava trafik sisteminde gecikmeler pist başında kalkış uçaklarında olduğu gibi havada iniş için yaklaşmakta olan uçaklarda da olabilmektedir. Havadaki gecikmelerin birkaç dakikadan fazla olduğu durumlarda bu gecikmeler yer gecikmeleri olarak uçaklara yansımaktadır. Bir kaç dakikayı aşmayacak gecikmeler ise çeşitli manevralarla uçaklara verilmektedir. Meydan turunda uçakların havada aldıkları gecikmeleri görebilmek için hava trafik ayırmaları açısından da önemli bir nokta olan esas bacak öncesindeki alınan beklemler incelenmiştir. Şekil 6.17.'de meydan turundaki alınan gecikmelerin çift motorlu uçakların oranları arttıkça azaldığı görülmektedir.

Uçakların havada aldıkları gecikmelerinin süresinin kılalmasını tersine, Şekil 6.18.'de gösterilen bekleme giren uçak sayısı çift motorlu uçakların oranlarının artışı ile artmaktadır. Gecikmelerin azalması önemli bir fayda iken gecikme alan uçakların sayısının artması sistemin kontrolü açısından hava trafik kontrolörüne iş yükü yaratabileceğinden istenilmeyen bir durum olarak ortaya çıkmaktadır.

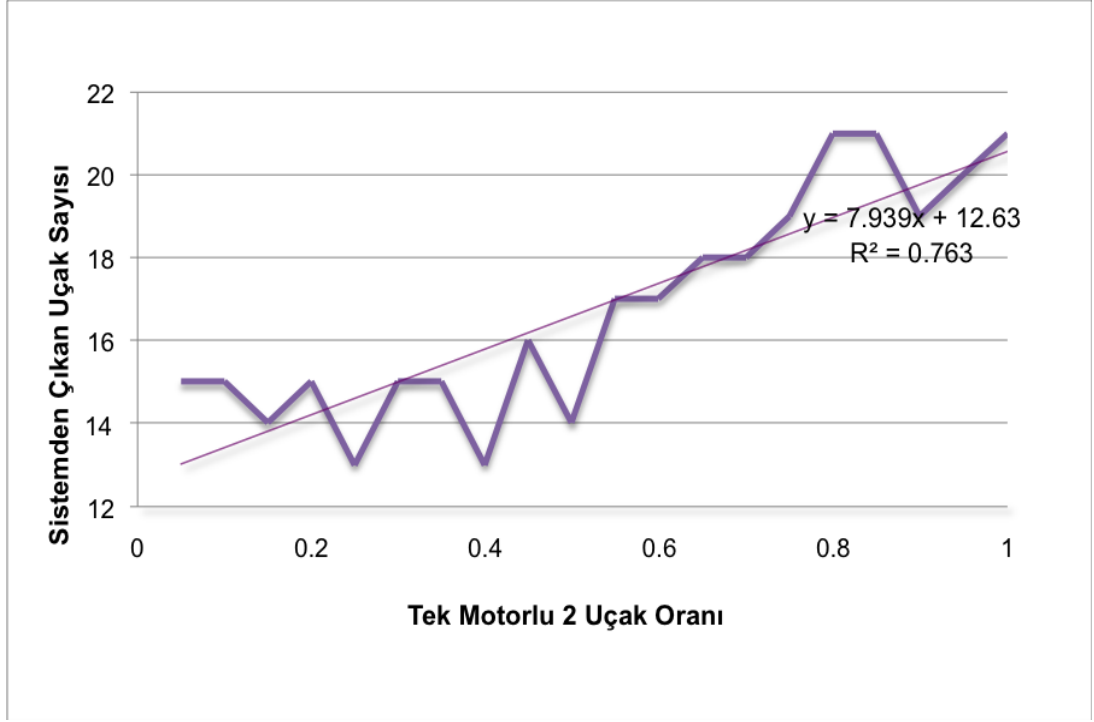


Şekil 6.18. Çift motorlu uçakların oran artışı ile beklemeye giren uçak sayısı

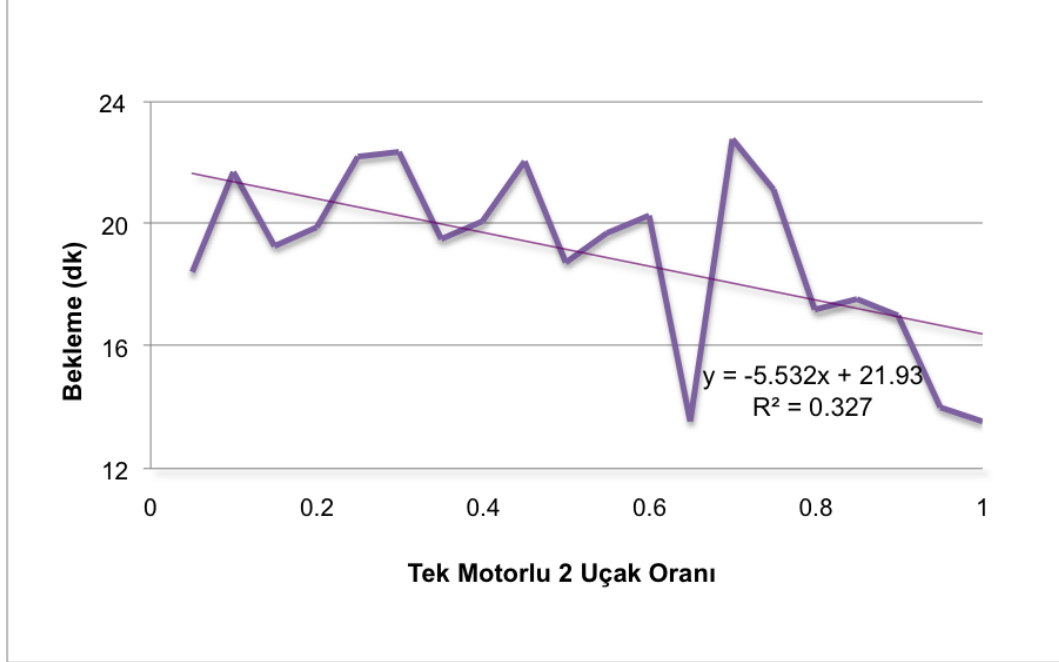
6.3.2. Klasik Meydan turu modeli 2. Senaryo

Oluşturulan klasik meydan turu modeli üzerinde uygulanacak yeni senaryo tek motorlu uçakların aralarındaki ilişkiyi irdelemektedir. Bu incelemede çift motorlu uçakların sistemde bulunmadıkları, sadece Tek Motorlu 1 ve 2 grubunun sisteme giriş yaptıkları kabul edilmiştir. Tek motorlu 1 grubu ilk deneyde 0,95 olasılıkla sisteme girerken Tek Motorlu 2 grubu 0,05 olasılıkla sisteme girmektedir. Diğer deneylerde Tek motorlu 2 grubunun oranı 0,05 olasılıkla artmakta, Tek Motorlu 1 grubunun oranı ise aynı oranda azalmaktadır. Bu değişime göre kapasite sonuçları alınmış ve performans farklılıklarının etkisi incelenmiştir. İncelemelerde deney süresi 1 saattir ve ısınma zamanı olarak 20 dakika alınmıştır.

Buna göre yapılan ilk inceleme sistemden çıkan uçak sayısıdır. İlk senaryoda olduğu gibi Şekil 6.19.'da bu senaryoda da sistemdeki performansı yüksek olan Tek Motorlu 2 grubu uçaklarının oranları arttıkça sistemden çıkan uçak sayısı da artmaktadır. Buna göre sistem kapasitesi artmaktadır.



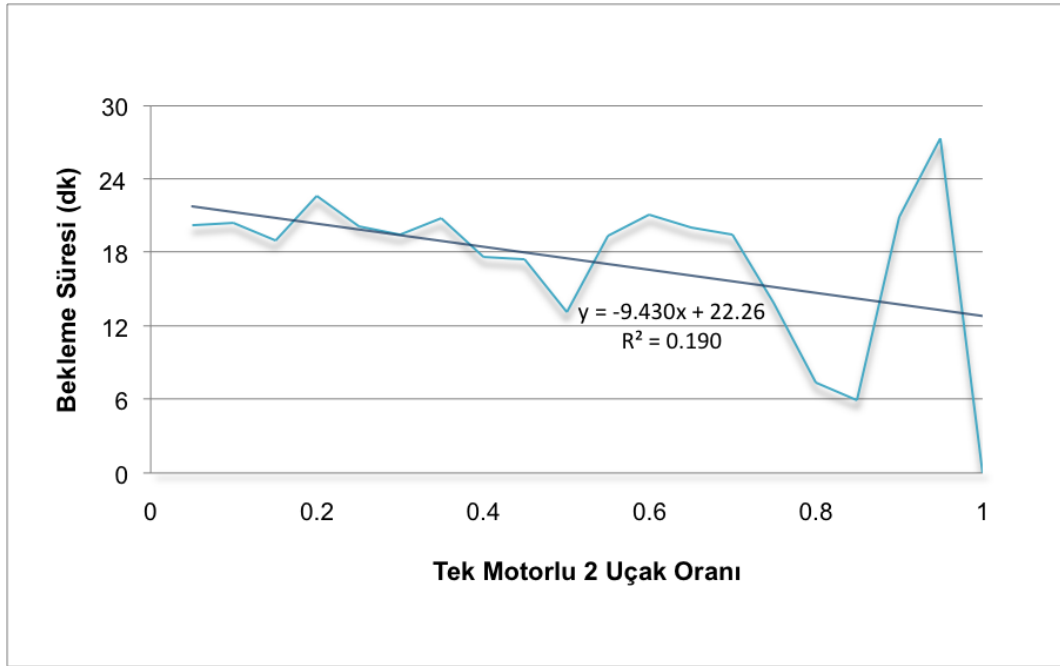
Şekil 6.19. Sistemden çıkan uçak sayısının Tek Motorlu 2 grubu ile değişimi



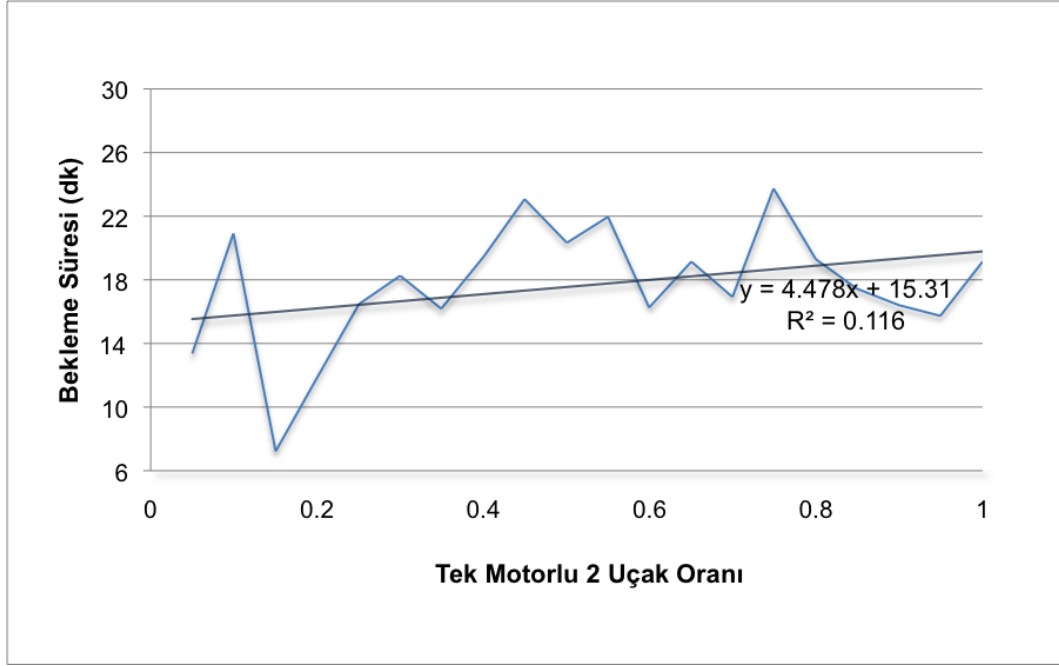
Şekil 6.20. Toplam pist başı beklemelerinin Tek Motorlu 2 grubunun oranı ile değişimi

Performansı görece yüksek olan Tek Motorlu 2 grubunun sistem içerisinde oranının artması ile kalkış için pist başında beklemede olan uçakların toplam bekleme süreleri azalmaktadır (Şekil 6.20.). Bu bekleme ölçütleri koşturma sonunda sistemden çıkan uçaklara yani amaçlanan hizmeti almış uçaklara ait olan bekleme süreleridir. Sistemden çıkan uçak sayısının artmasına rağmen toplam gecikmenin azalması Tek Motorlu 2 grubunun kapasiteye olumlu etkisinin önemli olduğunu göstermektedir.

Uçak tiplerine göre toplam bekleme süreleri, tek motorlu uçakların bekleme süreleri sistem içerisindeki yoğunlukları azaldıkça beklenen bir sonuç olarak azalmaktadır (Şekil 6.21.). Bu sonucun yanında oranı artan Tek Motorlu 2 grubunun bekleme süreleridir. Oranı %100'e ulaşan Tek Motorlu 2 grubunun bekleme sürelerindeki artış Şekil 6.22.'de gösterilmiştir. Buna göre bir artış görülmekle birlikte sistem içerisindeki oranlarındaki hızlı artış gibi kayda gecikmelerin yüksek oranda arttığı söylenemez.

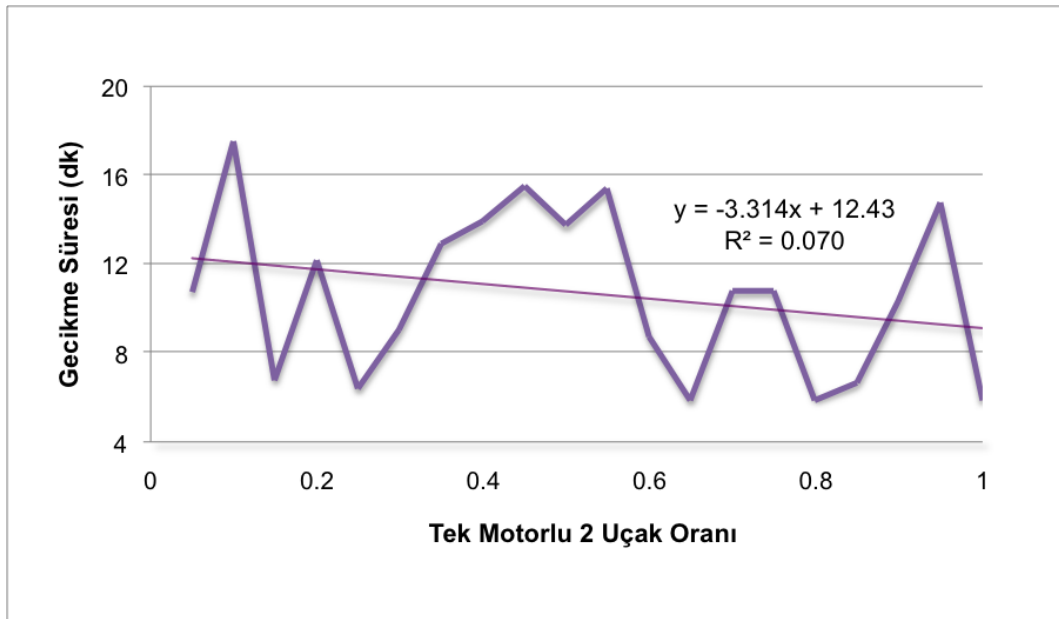


Şekil 6.21. Tek Motorlu 1 grubunun bekleme süresinin Tek Motorlu 2 grubunun artışı ile değişimi



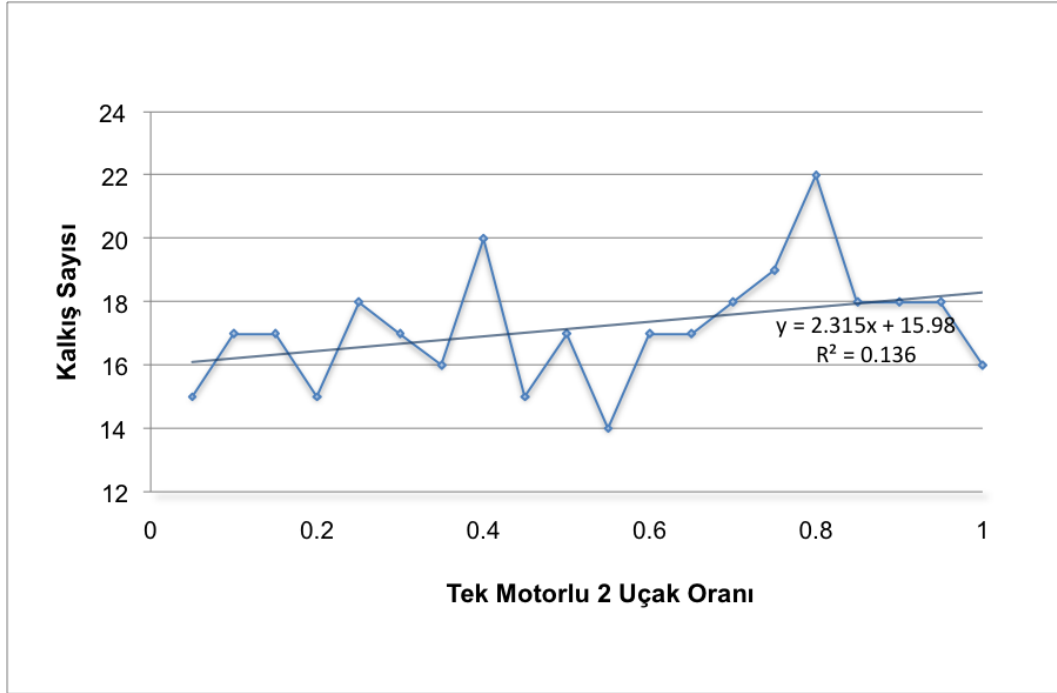
Şekil 6.22. Tek Motorlu 2 grubunun bekleme süresi

Meydan turunda havada alınan gecikmelere bakıldığında tek motorlu 2 grubu artışına karşın çok yüksek oranda bir bekleme azalışı görülmemektedir. Havada alınan gecikme sürelerinde az da olsa azalış trafiğin kontrolü açısından önemlidir. Ancak tek motorlu uçakların performans farklılıklarının gecikmeler üzerinde çok büyük bir etkiye sahip olmadıkları görülmektedir.



Şekil 6.23. Havada alınan toplam gecikmelerin Tek motorlu 2 uçak yoğunluğuna göre değişimi

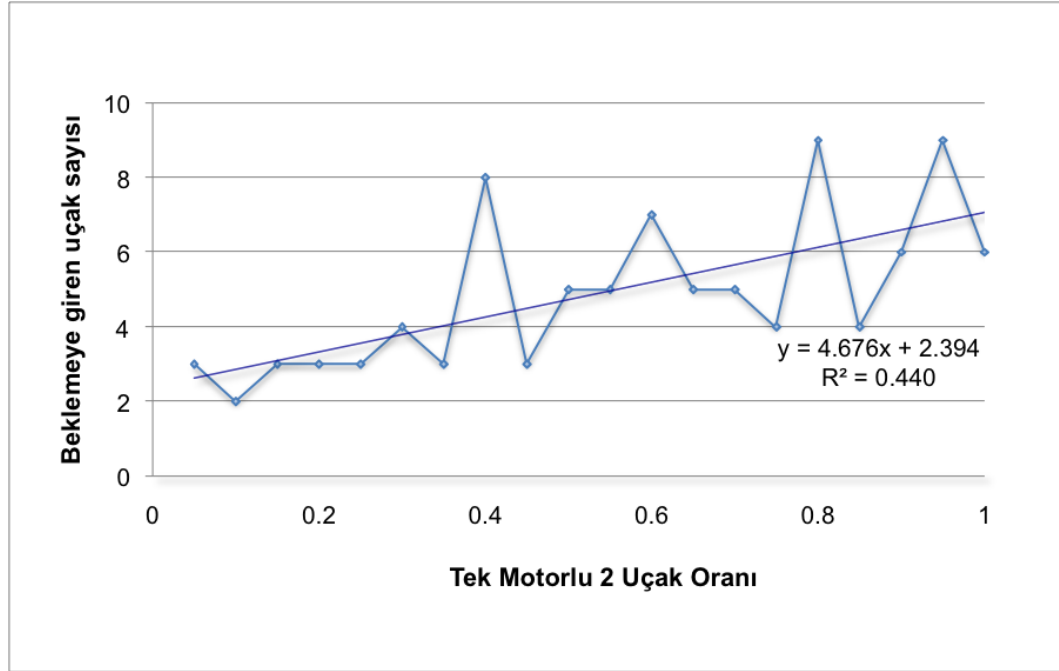
Kalkış sayıları incelendiğinde de Tek Motorlu 2 uçaklarının sistem kapasitesini arttırdığı görülmektedir. Tek Motorlu 2 grubunun trafik karması içerisindeki oranı arttıkça kalkış yapan uçak sayısı da artmaktadır (Şekil 6.24.). Kalkış performanslarının daha yüksek olması bu sonucun etkisidir. Kalkan bir uçak pist hizasını veya doğrultusunu daha çabuk terk etmektedir. Bu ardından gelecek operasyonun düzenlenmesine daha erken olanak vermektedir.



Şekil 6.24. Tek Motorlu 2 Uçak oranı ile toplam kalkış sayısı ilişkisi

Bekleme sürelerinin azalmasına karşılık beklemeye giren uçak sayısı artmaktadır (Şekil 6.25.). Bu durum trafik organizasyonu açısından hava trafik kontrolörlerine iş yükü getirmektedir. Ayrıca hızlı zamanlı simülasyon uygulamasının bir etkeni olarak, uçaklar her an gerekli ayırma kurallarını koruyamazlar. Gerçek bir operasyonda beklemeye girecek bu uçaklar pist başında kalkış gerçekleştiremezler. Kalkışın ardından iniş ayırmalarının korunabilmesi için rüzgâr altı bacağının sonunda bir darboğaz ortaya çıktığı görülmektedir. Gerçek operasyonlarda bu darboğaz oluştuğunda yeni kalkış operasyonu düzenlenemeyeceği için yer beklemeleri artacaktır. Havada alınan gecikme süreleri azalsa bile beklemeye giren uçak sayısının artışı trafik organizasyonunu zorlaştırdığından ve

havada alınabilecek gecikmelerin birkaç dakika ile sınırlı olmasından bu gecikmeler gerçek operasyonlar sırasında pist başı bekleme olarak yansiyacaktır.

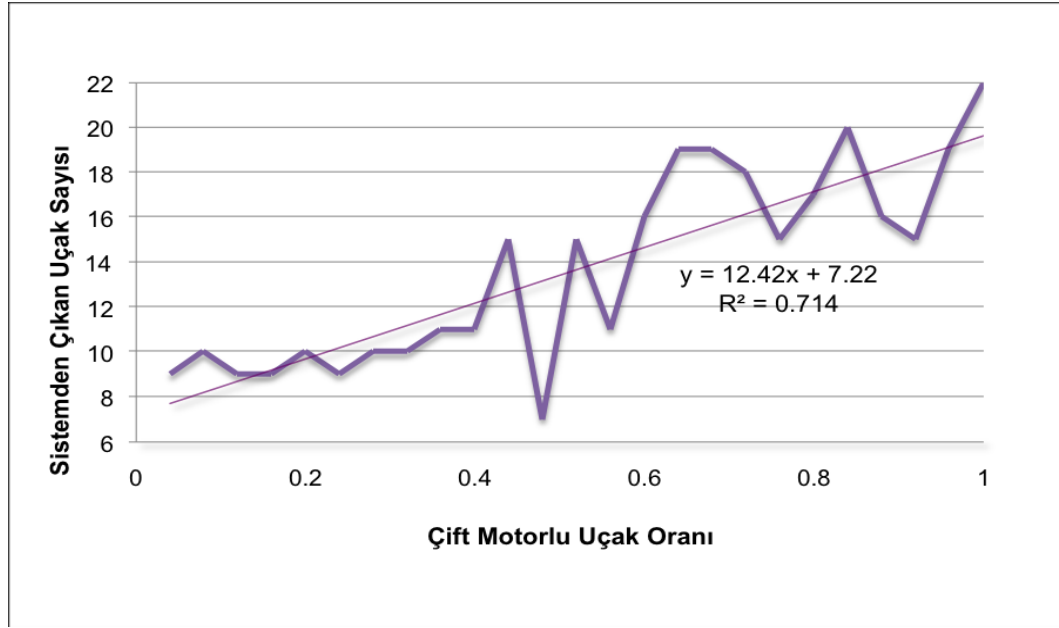


Şekil 6.25. Tek Motorlu 2 uçak oranı artışı ile beklemeye giren uçak sayısı ilişkisi

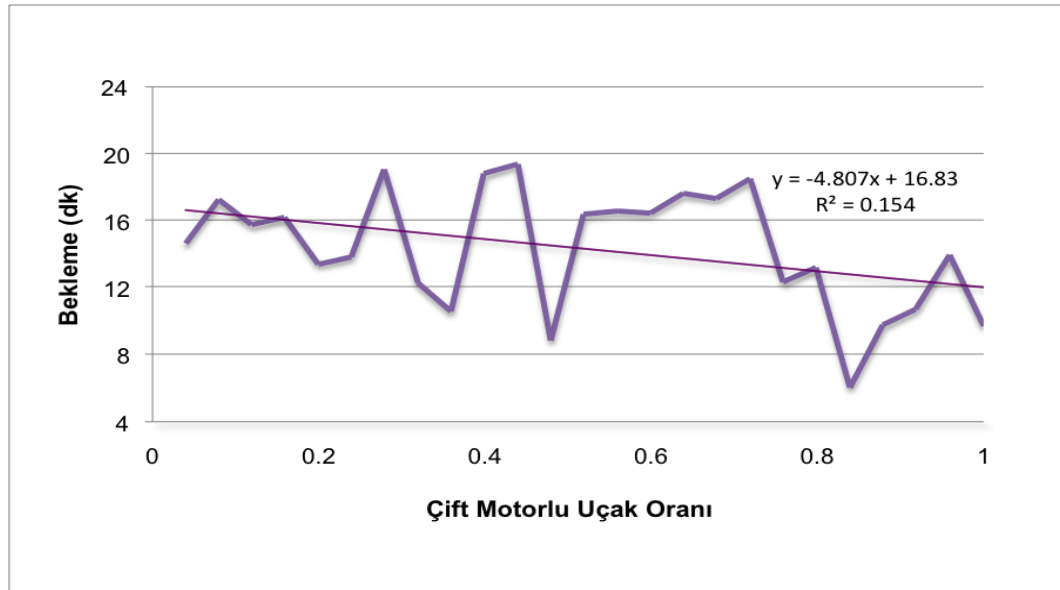
6.3.3. Touch and go operasyonları meydan turu modeli senaryo 1

Oluşturulan touch and go operasyonlu meydan turu modeli ile oluşturulacak ilk senaryoda sabit bir touch and go oranı alınarak uçak performans kategorilerinin oranlarının değişimi ile kapasite incelenecektir. Anadolu Üniversitesi Havaalanı eğitim koşullarında gerçekleştirilmesi gereken bu oranın %57 alınmasına karar verilmiştir. Her bir deney için bu oran aynı kalmak koşulu ile uçak kategori gruplarının oranları değiştirilerek deneyler yapılmıştır. Bölüm 6.3.1.'e benzer olarak tek motorlu uçakların oranları 0,48 eşit olarak alınmış ve çift motorlu uçakların oranları 0,04 olarak kabul edilmiştir. Çift motorlu uçakların oranları her yeni deneyde 0,04 oranında arttırılmıştır. Buna paralel olarak tek motorlu uçakların oranları düşürülmüştür. Bu şekilde %100 çift motorlu uçak oranına kadar yirmi beş deney yapılmıştır. Bu deneylerin analizleri aşağıdaki gibidir.

Sistemden çıkan uçak sayıları incelendiğinde çift motorlu uçaklar touch and go yapmadığı için çift motorluların oranları arttıkça sistemden çıkan uçak sayısı da artmaktadır (Şekil 6.26.). Ayrıca önceki bölümlerde görülen göreceli olarak daha yüksek performanslı uçakların sistemin verimini artırması burada da etkilidir.



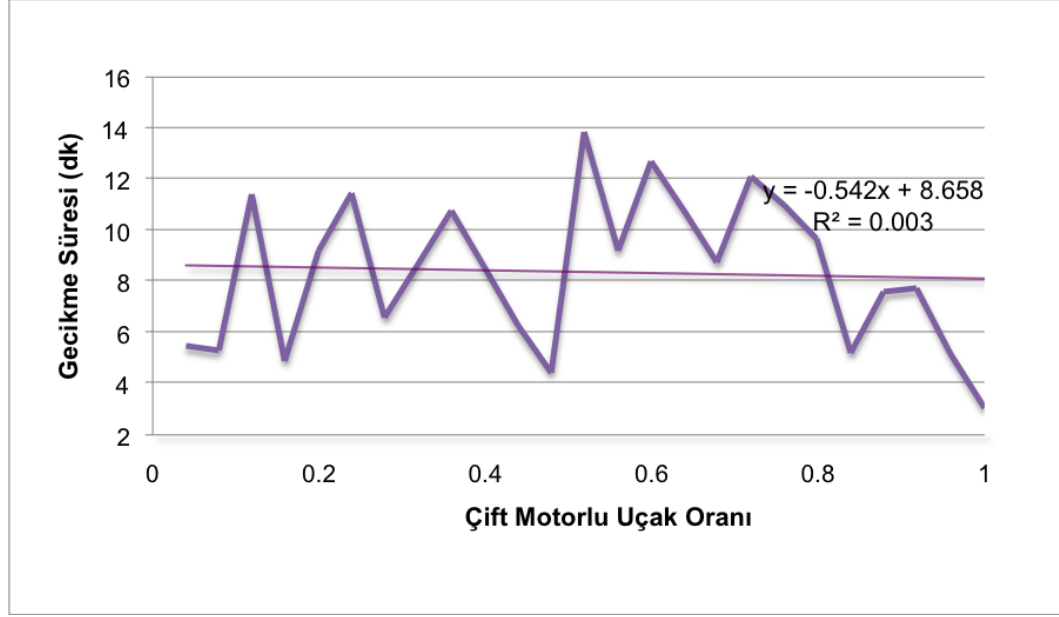
Şekil 6.26. Touch and go oranı %57 iken sistemden uçak sayısının çift motorlu uçakların oranlarına göre değişimi



Şekil 6.27. Touch and go oranı %57 iken pist başında gerçekleşen toplam beklemlerin çift motorlu uçakların oranlarına göre değişimi

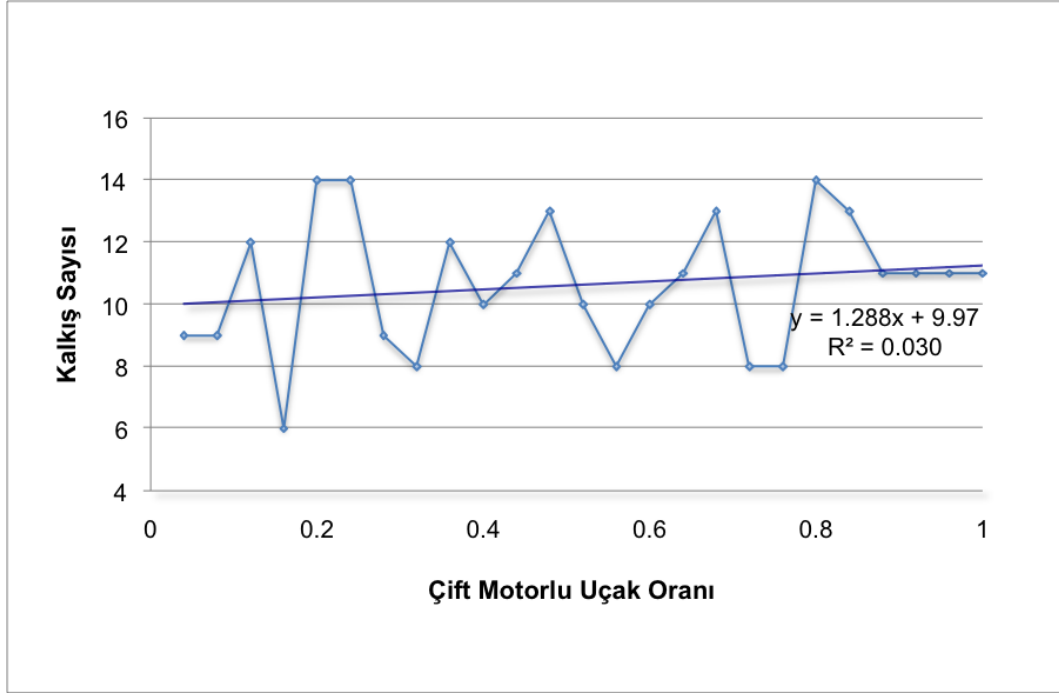
Pist başı beklmeler incelendiğinde çift motorlu uçakların oranları arttıkça ve dolayısı ile touch and go sayıları azaldıkça pist başında gerçekleşen toplam beklmelerin de azaldığı görülmektedir (Şekil 6.27.).

Meydan turunda havada alınan toplam gecikmelerde ise büyük oranda bir artış olmamıştır (Şekil 6.28.).

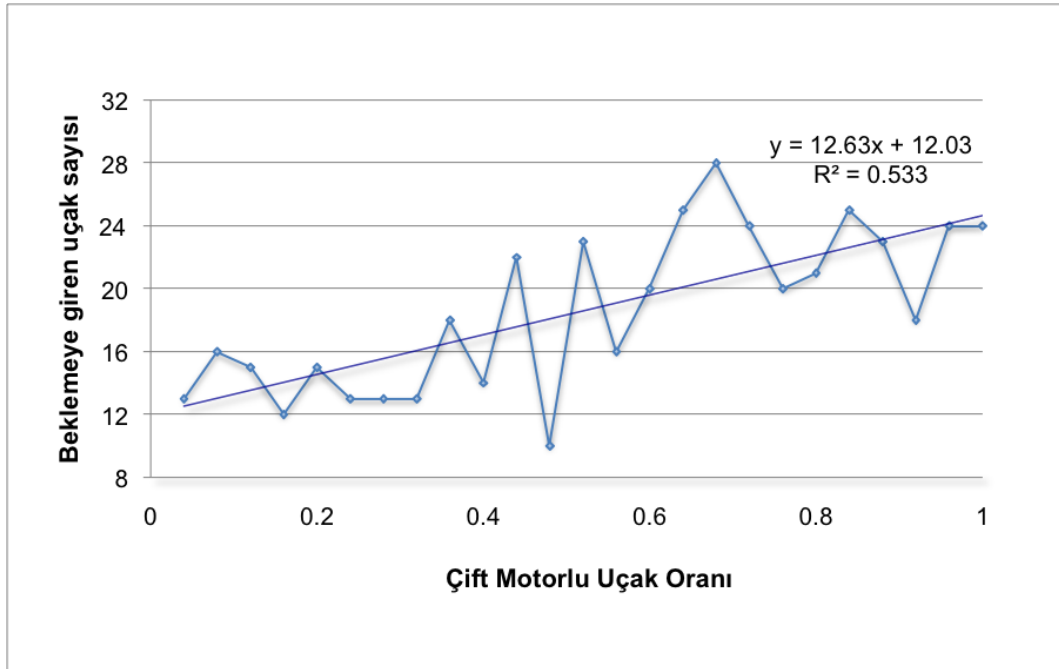


Şekil 6.28. Touch and go oranı %57 iken Meydan turunda havada alınan toplam gecikmeler

Önceki deneylere nazaran touch and go operasyonları etkisi ile kalkış sayılarında bir artış olmadığı Şekil 6.29.'de görülmektedir. Pistte düzenlenen operasyonların bir kısmı touch and go olduğu için doğrudan kalkış kapasitesini etkilemektedir. Çift motorlu uçakların fazladan yapacakları kalkış operasyonları yerine touch and go operasyonları kapasitenin gizli elemanı olarak karşımıza çıkmaktadır.

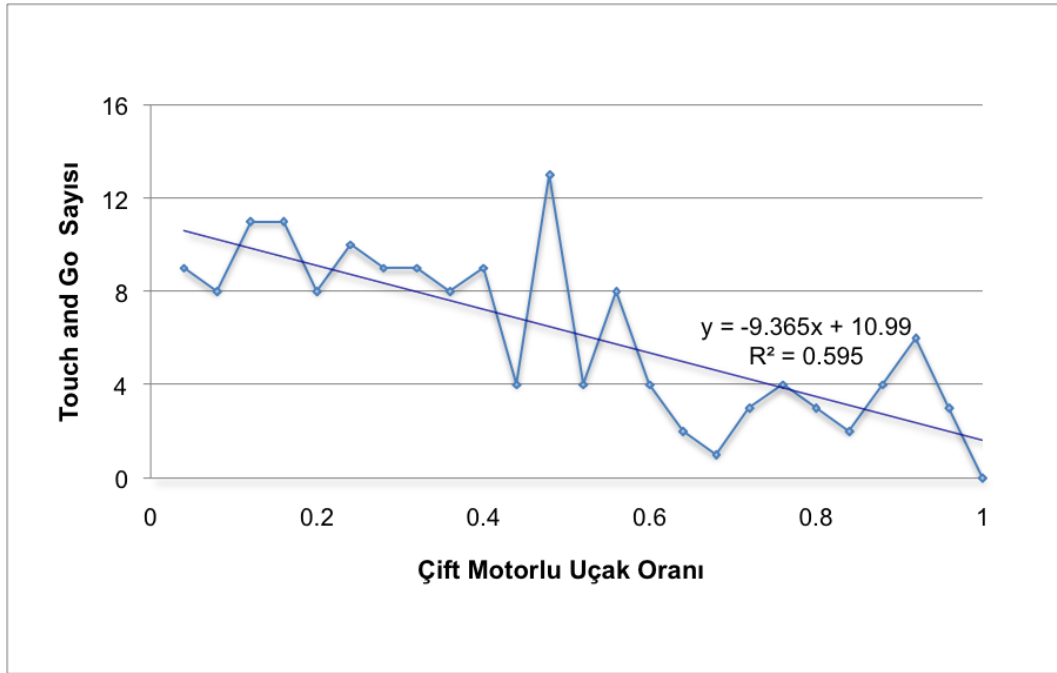


Şekil 6.29. Touch and go oranı %57 iken meydan turunda çift motorlu uçak oranının artışı ile kalkış sayısı ilişkisi



Şekil 6.30. Touch and go oranı %57 iken meydan turunda beklemeye giren uçak sayısının çift motorlu uçakların oranlarının artışı ile ilişkisi

Beklemeye giren uçak sayısı yüksek oranda artmaktadır (Şekil 6.30). Bu durum üzerinde trafik karmasındaki uçak performans farklılıklarının etkisi bulunmaktadır. Yüksek performanslı uçaklar ile düşük performanslı uçaklar bir arada olduğunda ve trafik yapısı olarak touch and go operasyonları da girdiğinde bekleme sürelerinin artışı olduğu gibi beklemeye giren uçak sayıları da artmaktadır. Touch and go operasyonlarının etkisi Bölüm 6.3.1.'deki touch and go operasyonlarının olmadığı deneyde ulaşılan en yüksek bekleme sayısı olarak 9 uçak görülmekte iken trafik yapısının değişimi ile bu sayı 24'e çıkmıştır. Bu uçaklar pist başında kalkış operasyonu düzenlemek üzere bekleyen uçaklardır. Bu durum bize meydan turu içerisinde touch and go operasyonları yapıldığı takdirde pist başından kalkış operasyonlarının gerçekleştirilmesinin zorlaştığını göstermektedir.



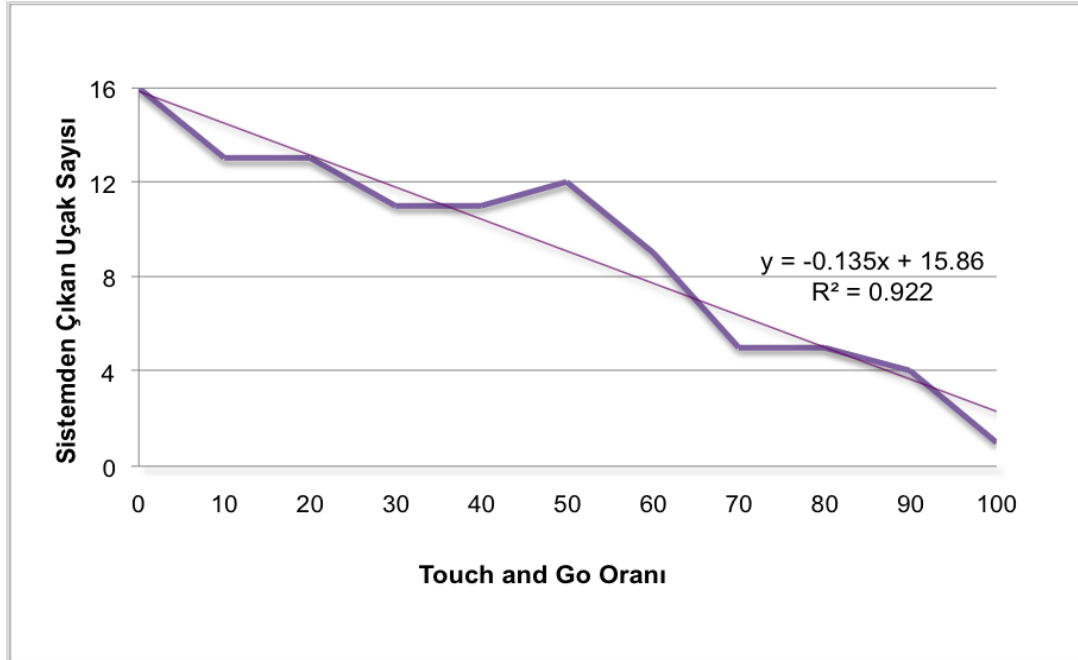
Şekil 6.31. Touch and go oranı %57 iken çift motorlu uçak oranının artması ile gerçekleşen touch and go sayısı ilişkisi

Şekil 6.31.'de görüldüğü gibi çift motorlu uçak oranı artış gösterdikçe gerçekleşen touch and go operasyon sayısı azalmaktadır. Touch and go sayılarının azalmasının sebebi sistem içerisinde bu operasyonu düzenleme amacı güden uçak kategorisinin azalmasıdır.

6.3.4. Touch and go operasyonları meydan turu modeli senaryo 2

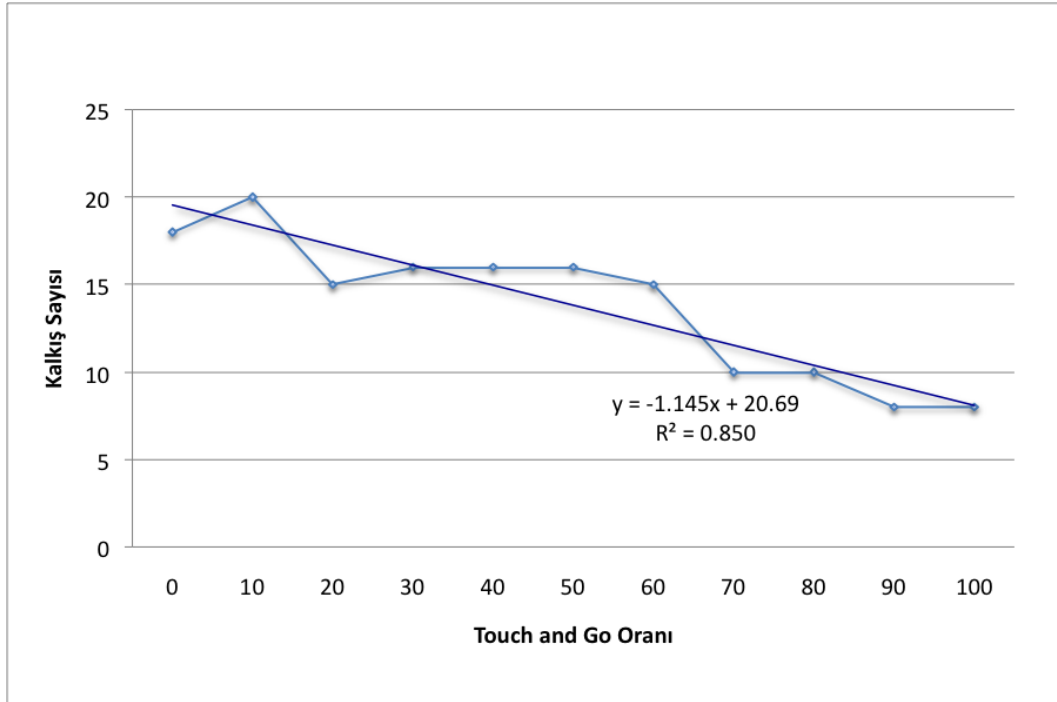
Meydan turu sisteminde uygulanan touch and go operasyonlarının sistem kapasitesine olan etkisini inceleyebilmek amacı ile son uygulanan senaryoda değişken touch and go operasyon oranı olarak belirlenmiştir. Bu senaryoda sabit olacak değer olan uçak performans gruplarının oranları, eğitim gerekliliklerinden elde edilen karma olarak belirlenmiştir. Değişken olarak belirlenen touch and go operasyon oranları ise % 0-100 arası 10'ar artış gösteren dilimler olarak alınmıştır. Buna göre on bir deney yapılmıştır.

Touch and go oranı artış gösterdikçe sistemden çıkan uçak sayısı azalmaktadır (Şekil 6.32.). Sistemin kapasitesi azalıyormuş gibi görünse de touch and go operasyonlarında pist ve meydan turu yine işgal edildiği için sistem kapasitesi yorumu değişiklik göstermektedir. Sistem kapasitesinden anlaşılması gereken sayısının içerisinde iniş (sistemden çıkan uçak sayısı) ve kalkış sayısının yanı sıra touch and go operasyonları da eklenmelidir, çünkü sistem amaca yönelik hizmet sağlamaya devam etmektedir. Bu sebeple sadece sistemden çıkan uçak sayısı ile inceleme yetersiz kalmaktadır.



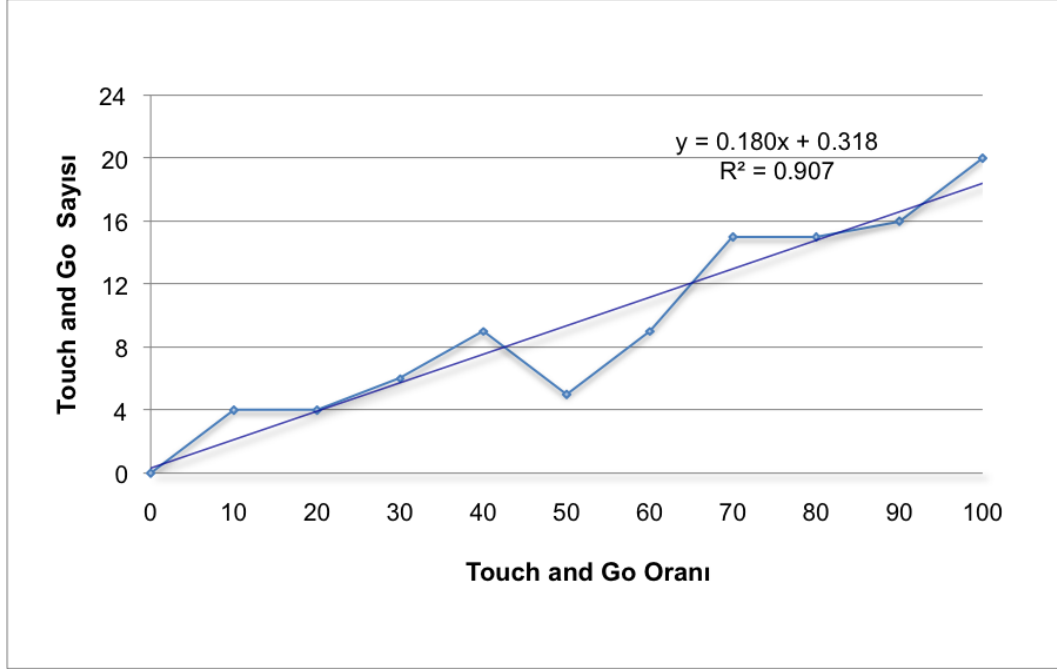
Şekil 6.32. Touch and go oranının değişimi ile sistemden çıkan uçak sayısının değişimi

Kapasite incelemesi için bakılacak bir diğer değerlendirme olan kalkış sayısının değişimi Şekil 6.33'deki gibidir. Bölüm birde kalkış sayısı ve iniş sayısı incelemesindeki grafiğe benzer bir şekilde touch and go operasyonları da kalkış sayısını azaltan bir etkiye sahiptir. Bir meydan içerisinde meydan turu çalışmalarında touch and go operasyonu düzenlenecek ise belirli bir orandan sonra kalkış operasyonları tıkanmaktadır. Kalkan tüm uçakların touch and go operasyonu düzenleyeceği senaryo da ise yeni kalkışın gerçekleşmesi mümkün değildir. Çizelgede görülen %100 orandaki kalkış sayısı her birinin touch and go operasyonu düzenlemek üzere meydan turunu yapan uçaklardır. Bunların arasında kalkış yaparak meydan turu operasyonu düzenlemeyerek başka bir meydana gidecek bir uçak için kalkış imkanı bulunmamaktadır. Kalkış kapasitesi touch and go yapan ilk uçakların kalkışının ardından sıfıra düşmektedir. Bu durumda ya touch and go yapan uçak sayısı azaltılmalı yada yeni farklı bir prosedür geliştirilmelidir.



Şekil 6.33. Touch and go oranlarının değişimi ile gerçekleştirilen kalkış sayısı değişimi

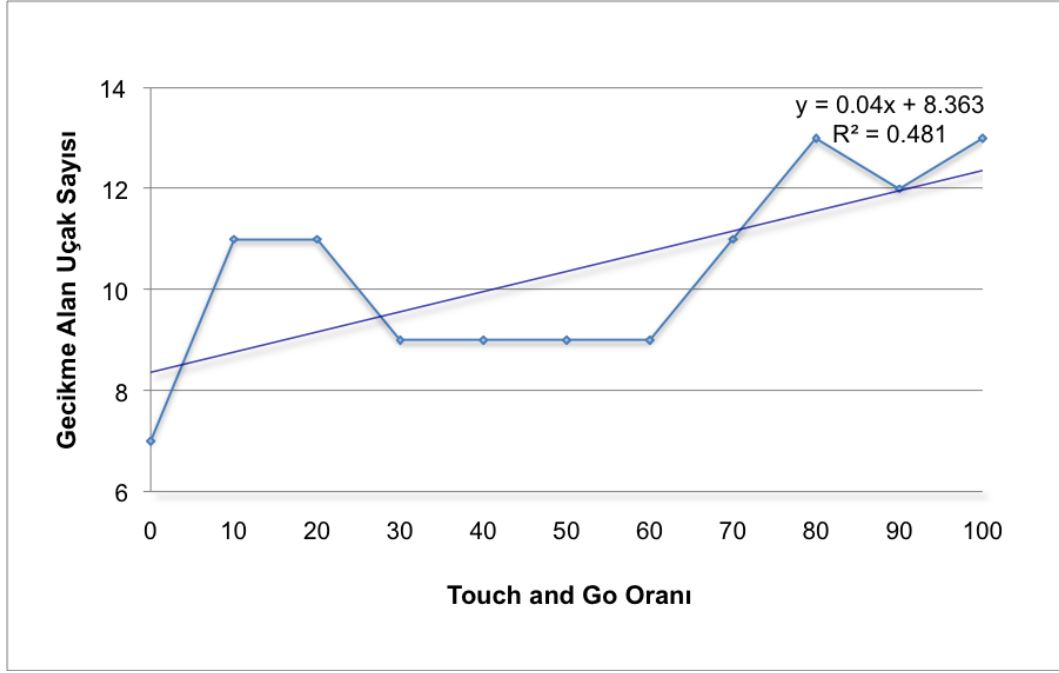
Touch and go oranı arttıkça touch and go sayısı da artmaktadır. Şekil 6.34.'de gösterildiği gibi meydan turu içerisinde 1 saatte yapılabilecek maksimum touch and go sayısı 20'dir.



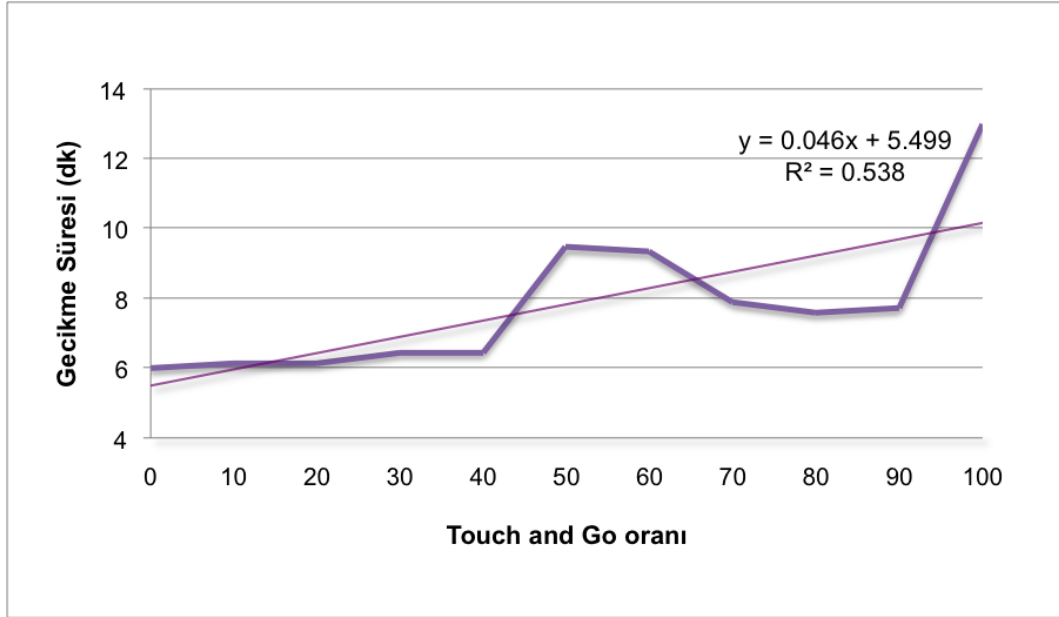
Şekil 6.34. Touch and go oranları ile touch and go sayılarının değişimi

Meydan trafiğinin karmaşıklığını etkileyen touch and go operasyonları artış gösterdikçe meydana gecikmeye giren uçak sayısı da artmaktadır (Şekil 6.35.). Diğer senaryodaki incelemelerde beklemeye giren uçak sayısı 6 ila 8 arasında değişirken touch and go operasyonu düzenlenmeye başlandığında bu sayı 20'lere çıkmaktadır. Bu da meydan trafik yapısının giderek ne kadar karmaşıklaştığının göstergesidir. Her bir beklemeye giren uçak hava trafik kontrolörüne iş yükü getirmekte ve arkasından gelen uçağın da bekleme almasına sebep olarak sistemin dengesini bozmakta ve katlanarak artan iş yüküne sebep olmaktadır.

Havada gecikme alan uçak sayısının yüksek oranda artmasının yanında gecikme süresi de touch and go oranı arttıkça yaklaşık iki kat artmaktadır (Şekil 6.36.). Gerçek zamanlı bir senaryo incelemesinde havada alınabilecek gecikme süresi birkaç dakika ile sınırlı olduğundan aslında Şekil 6.35'de görülen 10-12 dakikalık meydan turu gecikmeleri mümkün değildir. Bu gecikmeler uçaklara yer beklemesi olarak yansıtacaktır. Bu durumda sistemin kapasitesi çok daha azalacaktır. Bunun tespiti için ancak ya gerçek zamanlı ölçümler yapılmalı yada gerçek zamanlı bir simülasyon yapılmalıdır.



Şekil 6.35. Meydan turunda gecikme alan uçak sayısının touch and go oranlarının artışı ile ilişkisi



Şekil 6.36. Meydan turunda alınan gecikme sürelerinin touch and go oranları ile değişimi

7. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Özel amaçlı havaalanlarında pist kapasitesi, geliştirilmiş genel analitik modellerin uyarlanması ile hesaplanabilmektedir. Aynı zamanda touch and go operasyonlarına özel geliştirilmiş bir model bulunmadığından mevcut modeller touch and go operasyonlarına uyarlanmıştır. Uyarlanan model ile yapılan touch and go hesaplamasına göre bulunan saatlik touch and go pist kapasitesi ile meydan turu modellemesi sonucu elde edilen saatlik touch and go operasyonu kapasitesi sonuçları uyushmaktadır. Bunun yanında modellerin geçerliliği ve doğruluğunun sınanması, uygun trafik verilerinin ve başka bir simülasyon aracının mevcut olmaması nedeniyle bu çalışmanın dışında bırakılmıştır. Öte yandan bulunan sonuçlar görüşülen hava trafik kontrolörleri tarafından tutarlı bulunmuştur. Bu çalışmada analitik ve simülasyon modellerinin bir karşılaştırmasının yapılması amaçlanmamakla beraber, meydan turu için geliştirilen simülasyon modeli uçakların sıralaması rastsal olarak yapıldığından dolayı analitik modele göre daha gerçeğe yakın görülmektedir.

Havaalanı kontrol bölgesi kapasitesi için yapılan bilgisayar destekli bir modelleme ile meydan turu kapasitesi incelenebilir ve bu modelleme pek çok havaalanı trafik koşuluna uyarlanabilir. Oluşturulan meydan turu modellemesinin çıktıları analitik modellerle yapılan hesaplarla tutarlılık göstermektedir. Ayrıca meydan turu modeli ile elde edilen veriler kendi içinde de tutarlılık göstermektedir. Bu durum modelin güvenilir şekilde çalıştığını göstermektedir. Yapılan meydan turu modeli bazı değişikliklerle farklı meydanlara uyarlanabilir ya da koşulların değiştirildiği senaryolarla yeni incelemeler için tekrar kullanılabilir.

Analitik denklemler ile hesaplanan pist kapasitesi performansı daha yüksek uçakların oran artışı ile olumlu etkilenmektedir. Farklı performanslara uçakların operasyon düzenledikleri havaalanlarında, saatlere göre organizasyon yapılarak aynı zaman dilimi içerisinde benzer performanslardaki uçakların trafik karmasına alınması ile trafik yapısı basitleştirilebilir.

Analitik model ile saatlik karma operasyon kapasitesi 45, touch and go operasyonları hesaplandığında saatlik kapasite ortalama 43 olarak bulunmaktadır. Ancak simülasyon modeli ile klasik meydan turu uygulaması ve touch and go operasyonları uygulandığında da saatlik kapasite 20 olmaktadır. Bu durumda

meydan turu operasyonu bir kısıtlayıcı olarak ortaya çıkmaktadır. Anadolu Üniversitesi Havaalanı için askeri hava alanı trafikleri sebebi ile meydan turu tek yönlü yapıldığı için uygulamada bu yönde devam etmiştir [9]. Ancak gelecek çalışmalarda bu durumun kapasiteye etkileri incelenmesi faydalı olabilir.

Analitik model ile hesaplanan pist kapasitesinde olduğu gibi simülasyon modeli ile hesaplanan meydan turu kapasitesini de görece yüksek performansa sahip çift motorlu uçaklar olumlu olarak etkilemektedir. Simülasyon modeli verilerine göre çift motorlu uçakların oranları arttıkça sistemden çıkan uçak sayısı artmakta, bununla birlikte havada alınan gecikme süresi azalmaktadır. Ancak beklemeye giren uçak sayısında küçük de olsa bir artış görülmektedir. Bu artış trafiğin hızlı akmasına karşın iniş ayırmaları sebebi ile esas bacak başlangıcında düğüm oluşmaktadır. Gecikme alacak uçakların sayısının artması gerçek trafik akışında bu uçakların kalkış öncesinde bekleme almalarına sebep olacaktır.

Tek motorlu uçaklar kendi içlerinde simülasyon modeli çıktıları ile incelendiğinde sistemden çıkan uçak sayısı bakımından ciddi farklılıklar vardır. Tek motorlu 2 kategorisindeki uçakların oranları arttıkça sistemden çıkan uçak sayısı büyük oranda artmaktadır. Aynı şekilde yer beklemelerinde bekleme süresi de azalma göstermektedir. Ayrıca saatlik kapasitenin artışında önemli gösterge olan kalkış sayısı da artış göstermektedir. Bu sonuçlara bağlı olarak sistemin, performans karmasından çok aynı performanstaki uçakların aynı zaman diliminde operasyon düzenlemesi halinde daha verimli çalıştığı görülmektedir.

Meydan turu modelinde havada beklemeye giren uçak sayıları touch and go operasyonlarının düzenlenmediği klasik meydan turu modelinde saatlik kapasite en çok 9 olurken touch and go operasyonu düzenlendiği takdirde saatlik kapasite 14'e çıkmaktadır. Bu durum touch and go operasyonlarının sistemi olumsuz etkilediğini göstermektedir.

Diğer yandan beklemeye giren uçak sayısı her durumda artmaktadır bunun sebebi meydan turunda iniş ayırmalarının kalkış ayırmalarından fazla olmasıdır. İniş sırasında ayırmanın korunabilmesi için kalkışın ardından havada gecikme olarak uçakların ayırmayı koruması gerekmektedir. Bu durum pratikte operasyon düzenlenirken yer gecikmesi olarak uçaklara yansımaya sebep olacaktır.

Analitik model ile yapılan incelemede pist üzerinde karma operasyonlar ancak gecikme göze alındığında gerçekleştirilebileceği görülmüştür. Benzer şekilde meydan turu simülasyon sonuçlarında touch and go oranı arttıkça kalkış operasyonlarının sayısının çok düştüğü görülmüştür. %100 touch and go operasyonu düzenlenen bir sistemde meydan turunda aynı anda touch and go yapan 8 uçak bulunabilmektedir. Bu uçaklar havada gecikme aldıklarından dolayı pratikte uygulanması mümkün olan bir sayı değildir. Simülasyon modeline göre meydan turunda 8 uçak varken yeni kalkış gerçekleşmemektedir. Meydan turu ve özellikle touch and go operasyonları diğer operasyonların düzenlenmesini engellemektedir. Bu durumda yeni bir trafik organizasyonuna gidilmelidir.

Çalışma kapsamında süreçlerin süreleri analitik hesapların hassasiyeti ile sınırlıdır. Gelecek çalışmalar içerisinde bu sürelerin gerçek uçuş sürelerinin ölçümleri yapılarak tekrarlanması çalışmanın hassasiyetini arttıracaktır.

Çalışma kapsamında elde edilen sonuçların gerçek zamanlı bir hava trafik simülasyonu ortamında sınanması faydalı olacaktır.

Sisteme giren uçak tipleri içerisinde ticari hava yollarının uçaklarının yer alması ve buna bağlı olarak sistemin açık bir sistem olarak modifikasyonu modelin ileride uçuş planlamalarında kullanılmasına katkıda bulunacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] Anonim, *Türk Hava Yolları 01 Ocak-31 Aralık 2008 Tarihlerine İlişkin Faaliyet Raporu*, İstanbul, 2009.
- [2] Aybek F., Çetek C., ve Cavcar A., “Capacity Analysis of Small-Scaled Airports with Specific Use”, *4. Ankara International Aerospace Conference*, 10-12 Eylül, 2007- METU, Ankara
- [3] Annex 14, “*Aerodromes*”, ICAO Publications, 1999.
- [4] *Aerodrome Design Manual* Doc 9157-AN/901 ICAO Publications *Part I Runways*
- [5] Wells A. T., “Airport Layout and Land Use Plans”, *Airport Planning and Management*, (C. S.), McGraw-Hill, New York, 95-119, 1996.
- [6] Anonim, *Airport Capacity and Delay*, AC 150/5060-5, FAA Advisory Circular, 09.23.1983.
- [7] Janic M., “Airport System Capacity”, *Air Transport System Analysis and Modelling* (G. D.) Gordon and Breach Science Publishers, The Netherlands, 9-49, 2000.
- [8] Küçükönel H., *Havaalanı Yolcu Terminal Kapasitesi ve Adnan Menderes Havaalanı Dışhatlar Terminali Kapasitesi Analizi*, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Anadolu Üniversitesi, 1998.
- [9] Anonim, “Aerodromes”, *Aeronautical Information Publication Türkiye*, Devlet Hava Meydanları Genel Müdürlüğü, Ankara, 04 Haziran 2009.
- [10] Gerede E., *Havayolu Taşımacılığında Küreselleşme ve Havayolu İşbirlikleri-THY AO'da bir Uygulama*, Yayınlanmamış Doktora Tezi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Anadolu Üniversitesi, 2002.
- [11] Wright P. H. ve Ashford N., *Airport Capacity and Configuration*, *Airport Engineering*, (S. W.), John Wiley & Sons, New York, 185-229, 1992.
- [12] Annex 11, “*Air Traffic Services*”, ICAO Publications, 2001.
- [13] ICAO Rules of the Air and Air Traffic Services Doc 4444 ATM 501, *Air Traffic Management*, ICAO Publications, Fourteenth Edition, Kanada, 2001.

- [14] Laurence E. Gesell, *Air Traffic Control: An Invitation to a Career*, USA Coast Aire Publications, 1989.
- [15] William O’Conner, “*An Introduction to Airline Economics*” NewYork: Praeger Publishers, 1989, sf 174.
- [16] Horonjeff R. ve McKelvey F. X., *Airport Airside Capacity and Delay, Planning and Design of Airports*, Boston, Mass. : McGraw-Hill, 293-361, c1994.
- [17] Hassounah, M. I. and Steuart, G. N., 1993 *Demand for Aircraft Gates Transportation Research Record*, 1423, 26-33.
- [18] Caves, R. E., 1994, A search for more airport apron capacity, *Journal of Air Transport Management*, 1, 109-120.
- [19] *Airside Capacity Enhancement Implementation Manual* Eurocontrol / Edition 1.0 / 14 October 2003 s.1-1.
- [20] Bazargan M., Fleming K., Subramanian P., A Simulation Study to Investigate Runway Capacity Using Taam, Embry Riddle Aeronautical University, *Proceedings of the 2002 Winter Simulation Conference*, 2002.
- [21] Dr. Barrer J. N., Kuzminski P. ve Swedish W. J., Analyzing the Runway Capacity of Complex Airports, The MITRE Corporation, McLean, Virginia, 2005.
- [22] *Airport Airside Capacity Efficiency Enhancement - The Complete Guide*, Eurocontrol, may 2006.
- [23] Anonim, “Enroutes”, *Aeronautical Information Publication Türkiye*, Devlet Hava Meydanları Genel Müdürlüğü, Ankara, 04 Haziran 2009.
- [24] Peterson, M. D., Bertsimas, D. J. and Odoni, A. R., 1995, *Models and algorithms for transient queuing congestion at airports*, *Management Science*, 41, 1279-1295.
- [25] Lee D. A., Nelson C. and Shapiro G., *The ASAC Airport Capacity and Delay Models*, NASA Logistics Management Institute , McLean, Virginia, April 1998 NASA/CR-1998-207659.
- [26] EUROCONTROL Assistance to Turkish State Airports Authority, *Runway System Capacity Assessment of İstanbul – Atatürk Airport*, 2002

- [27] Anonim, *Techniques for Determining Airport Airside Capacity and Delay*, U.S. Department of Transportation Federal Aviation Administration, FAA-RD-74-I24, Washington D.C., 1976.
- [28] De Neufville R., Odoni A., *Airport Systems: Planning Design and Management*, McGraw-Hill, New York, 2003.
- [29] Visser H. G., *Terminal Area Traffic Management*, Faculty of Aerospace Engineering, Delft University of Technology, Delft, The Netherlands, March 1992.
- [30] Enhancing Airside Capacity, Complete Guide Eurocontrol / Edition 2.0 / 15 September 2003 s.1-2.
- [31] Shevell R. S., *Fundamentals of Flight*, Prentice Hall, New Jersey, 1989.
- [32] Kelton W. D., Sadowski R. P., Sturrock D. T., *Simulation with Arena*, McGraw-Hill Higher Education, New York, 2004.
- [33] Winston W. L., “*Simulation*”, *Operations Research, Application and Algorithms*, (G. J. B.), Thomson Brooks, Kanada, 1145-1191, 2004.
- [34] Anonim, Anadolu Üniversitesi Havaalanı Uçak Seferleri, 2009
<http://duyuru.anadolu.edu.tr/duyuruGoster.asp?NUM=7654>
- [35] Anonim, *Cessna 172 Pilot's Operating Handbook*, Wipaire, INC, U.S.A., 1998.
- [36] Anonim, *TB 9 Pilot's Information Manuel*, Socata, France, 1989.
- [37] Anonim, *TB 20 Flight Manuel*, Socata, France, 1989.
- [38] Anonim, *Beechcraft King Air C 90 Airplane Flight Manuel*, U.S.A., 1974.
- [39] Anonim, *Beech Super King Air 200 Pilot's Operating Handbook ans FAA Approved Airplane Flight Manual*, Raytheon Aircraft Company, 2002.

EK 1 PİLOTAJ EĞİTİMİ UÇUŞ SIRALAMASI

SORTİ NO	GÖREV KODU	UÇUŞ SÜRESİ	İNİŞ SAYISI	GÖREV TANIMI	PİLOT SAYISI	UÇUŞ TİPİ
1.SAFHA (CESSNA 172 S / TB-9)						
1	FAM-01	01.00	1	Bölge	2	VFR
2	VPF-01	01.00	1	Bölge	2	VFR
3	VPF-02	01.00	1	Bölge	2	VFR
4	VPF-03	01.00	2	Bölge	2	VFR
5	VPF-04	01.00	3	Bölge	2	VFR
6	VPF-05	01.15	4	Bölge	2	VFR
7	VPF-06	01.15	4	Bölge	2	VFR
8	VPF-07	01.15	4	Bölge	2	VFR
9	VPF-08	01.15	5	Bölge	2	VFR
10	VPF-09	01.15	5	Bölge	2	VFR
11	VPF-10	01.15	5	Bölge	2	VFR
12	VPF-11	01.15	5	Bölge	2	VFR
13	VPF-12	01.15	5	Bölge	2	VFR
2.SAFHA (CESSNA 172 S / TB-9)						
14	SVF-01	00.30	1	Trafik Paterni	1	VFR
15	DVF-01	01.00	2	Bölge	2	VFR
16	SVF-02	00.45	2	Trafik Paterni	1	VFR
17	DVF-02	01.15	2	Bölge	2	VFR
18	SVF-03	01.00	2	Trafik Paterni	1	VFR
19	DVF-03	01.15	2	Bölge	2	VFR
20	SVF-04	01.00	1	Bölge	1	VFR
21	DVX-01	01.30	1	S/S	2	VFR
22	SVF-05	01.15	1	Bölge	1	VFR
23	DVX-02	01.30	1	S/S	2	VFR
24	SVF-06	01.15	1	Bölge	1	VFR
25	DVX-03	01.30	3	S/S	2	VFR
26	DVX-04	02.00	1	S/S	2	VFR
27	SVX-01	01.15	1	S/S	1	VFR
28	SVX-02	01.30	1	S/S	1	VFR
29	SVX-03	01.30	1	S/S	1	VFR
3.SAFHA (CESSNA 172 S / TB-9)						
30	DVX-05	02.00	2	S/S	2	VFR
31	SYNF-01	01.30	0	Bölge	2	VFR
32	DVX-06	02.30	2	S/S	2	VFR
33	SYNF-02	01.30	0	Bölge	2	VFR
34	DVF-04	01.30	2	Bölge	2	VFR
35	SYNF-03	01.30	0	Bölge	2	VFR
36	DVX-07	02.30	2	S/S	2	VFR
37	DVF-05	01.30	2	Bölge	2	VFR
38	SYNF-04	01.30	0	S/S	2	VFR
39	DVX-08	02.30	2	S/S	2	VFR
40	DVF-06	01.30	2	Bölge	2	VFR
41	DVX-09	02.30	2	S/S	2	VFR
42	DVF-07	01.30	2	Bölge	2	VFR
43	DVX-10	02.30	2	S/S	2	VFR

SORTİ NO	GÖREV KODU	UÇUŞ SÜRESİ	İNİŞ SAYISI	GÖREV TANIMI	PİLOT SAYISI	UÇUŞ TİPİ
45	DVX-11	02.30	2	S/S	2	VFR
46	DVF-09	01.30	2	Bölge	2	VFR
47	SYNF-05	02.00	0	S/S	2	VFR
48	DVX-12	02.30	3	S/S	2	VFR
49	DVF-10	02.00	2	Bölge	2	VFR
50	SYNF-06	02.00	0	S/S	2	VFR
51	DVX-13	02.30	3	S/S	2	VFR
52	DVF-11	02.00	2	Bölge	2	VFR
53	DVX-14	02.30	3	S/S	2	VFR
54	DVX-15	02.30	2	S/S	2	VFR

3. SAFHA (TB-20)

55	VPF-13	01.30	2	İntibak	2	VFR
56	VPF-14	01.30	3	İntibak	2	VFR
57	VPF-15	01.30	3	İntibak	2	VFR
58	VPF-16	01.30	4	İntibak	2	VFR
59	VPF-17	01.30	4	İntibak	2	VFR
60	VPF-18	01.30	4	İntibak	2	VFR
61	VPF-19	01.30	4	İntibak	2	VFR
62	SVF-07	00.30	1	Trafik Paterni	1	VFR

4. SAFHA (TB-20)

63	SDIF-01	01.15	0	Temel Alet	2	IFR
64	DIF-01	01.30	2	Temel Alet	2	IFR
65	SDIF-02	01.15	0	Temel Alet	2	IFR
66	DIF-02	01.30	2	Temel Alet	2	IFR
67	SDIF-03	01.15	0	Temel Alet	2	IFR
68	DIF-03	01.30	2	Temel Alet	2	IFR
69	SDIF-04	01.15	0	Temel Alet	2	IFR
70	DIF-04	01.45	2	Temel Alet	2	IFR
71	DIF-05	01.30	2	Temel Alet	2	IFR
72	DIF-06	01.30	2	Temel Alet	2	IFR
73	SDIF-05	01.15	0	Temel Alet	2	IFR
74	DIF-07	01.45	2	Temel Alet	2	IFR
75	DIF-08	01.30	2	Temel Alet	2	IFR
76	DIF-09	01.30	2	Temel Alet	2	IFR
77	SDIF-06	01.15	0	Temel Alet	2	IFR
78	DIF-10	01.45	2	Temel Alet	2	IFR
79	DIF-11	01.45	2	Temel Alet	2	IFR
80	DIF-12	01.45	2	Temel Alet	2	IFR
81	SDIF-07	01.15	0	Temel Alet	2	IFR
82	DIF-13	01.45	2	Temel Alet	2	IFR
83	SDIF-08	01.15	0	Temel Alet	2	IFR
84	DIF-14	02.00	2	Temel Alet	2	IFR
85	SRIF-01	01.15	0	Radyo Alet	2	IFR
86	DRI-01	02.00	1	Radyo Alet	2	IFR
87	SRIF-02	01.15	0	Radyo Alet	2	IFR
88	DRI-02	01.30	1	Radyo Alet	2	IFR
89	DRI-03	02.00	1	Radyo Alet	2	IFR

SORTİ NO	GÖREV KODU	UÇUŞ SÜRESİ	İNİŞ SAYISI	GÖREV TANIMI	PİLOT SAYISI	UÇUŞ TİPİ
90	SRIF-03	01.15	0	Radyo Alet	2	IFR
91	DRI-04	01.30	1	Radyo Alet	2	IFR
92	DRI-05	02.00	1	Radyo Alet	2	IFR
93	SRIF-04	01.15	0	Radyo Alet	2	IFR
94	DRI-06	02.00	1	Radyo Alet	2	IFR
95	DRI-07	02.00	1	Radyo Alet	2	IFR
96	SRIF-05	01.15	0	Radyo Alet	2	IFR
97	DRI-08	02.00	1	Radyo Alet	2	IFR
98	DRI-09	02.00	1	Radyo Alet	2	IFR
99	SRIF-06	01.15	0	Radyo Alet	2	IFR
100	DRI-10	02.00	1	Radyo Alet	2	IFR
101	DRI-11	02.00	1	Radyo Alet	2	IFR
102	SRIF-07	01.15	0	Radyo Alet	2	IFR
103	DRI-12	02.00	1	Radyo Alet	2	IFR
104	DRI-13	02.00	1	Radyo Alet	2	IFR
105	SRIF-08	01.15	0	Radyo Alet	2	IFR
106	DRI-14	02.00	1	Radyo Alet	2	IFR
107	DNF-01	01.00	4	Gece Trf. Paterni	2	IFR
108	DNF-02	01.00	4	Gece Trf. Paterni	2	IFR
109	DNF-03	01.00	4	Gece Trf. Paterni	2	IFR
110	SNF-01	01.00	3	Gece Trf. Paterni	1	IFR
111	SNF-02	01.00	2	Gece Trf. Paterni	1	IFR
112	SRXF-01	01.15	0	Radyo Alet S/S	2	IFR
113	DRX-01	02.00	1	Radyo Alet S/S	2	IFR
114	DRX-02	02.00	1	Radyo Alet S/S	2	IFR
115	DRX-03	02.00	1	Radyo Alet S/S	2	IFR
116	SRXF-02	01.15	0	Radyo Alet S/S	2	IFR
117	DRX-04	02.00	1	Radyo Alet S/S	2	IFR
118	DRX-05	02.00	1	Radyo Alet S/S	2	IFR
119	SRXF-03	01.15	0	Radyo Alet S/S	2	IFR
120	DRX-06	02.00	1	Radyo Alet S/S	2	IFR
121	DRX-07	02.00	1	Radyo Alet S/S	2	IFR
122	DRX-08	02.00	1	Radyo Alet S/S	2	IFR
123	SRXF-04	01.15	0	Radyo Alet S/S	2	IFR
124	DRX-09	02.00	1	Radyo Alet S/S	2	IFR
125	DRX-10	02.00	1	Radyo Alet S/S	2	IFR
5. SAFHA (ÇOK MOTOR TYPE RATE) (BE 90)						
126	METR-01	01.30	1	Type Rate Int.	2	VFR
127	METR-02	01.30	1	Type Rate Int.	2	VFR
128	METR-03	01.30	1	Type Rate Int.	2	VFR
129	METR-04	01.30	1	Type Rate Int.	2	VFR

SORTİ NO	GÖREV KODU	UÇUŞ SÜRESİ	İNİŞ SAYISI	GÖREV TANIMI	PİLOT SAYISI	UÇUŞ TİPİ
ÇOK MOTOR ALET (BE 90)						
130	MEIR	01.00	1	Çok Motor A. S/S	2	IFR
131	MEIRX-01	01.30	1	Çok Motor A. S/S	2	IFR
132	MEIRX-02	01.30	1	Çok Motor A. S/S	2	IFR
133	MEIRNX	01.00	1	Çok Motor G. S/S	2	IFR
134	MEIRST	01.00	1	Skill Test	2	IFR
135	METRST	01.30	1	Skill Test	2	VFR
3.SAFHA (CESSNA 172 S / TB-9)						
30	DVX-05	02.00	2	S/S	2	VFR
31	SYNF-01	01.30	0	Bölge	2	VFR
32	DVX-06	02.30	2	S/S	2	VFR
33	SYNF-02	01.30	0	Bölge	2	VFR
34	DVF-04	01.30	2	Bölge	2	VFR
35	SYNF-03	01.30	0	Bölge	2	VFR
36	DVX-07	02.30	2	S/S	2	VFR
37	DVF-05	01.30	2	Bölge	2	VFR
38	SYNF-04	01.30	0	S/S	2	VFR
39	DVX-08	02.30	2	S/S	2	VFR
40	DVF-06	01.30	2	Bölge	2	VFR
41	DVX-09	02.30	2	S/S	2	VFR
42	DVF-07	01.30	2	Bölge	2	VFR
43	DVX-10	02.30	2	S/S	2	VFR
44	DVF-08	01.30	2	Bölge	2	VFR
45	DVX-11	02.30	2	S/S	2	VFR
46	DVF-09	01.30	2	Bölge	2	VFR
47	SYNF-05	02.00	0	S/S	2	VFR
48	DVX-12	02.30	3	S/S	2	VFR
49	DVF-10	02.00	2	Bölge	2	VFR
50	SYNF-06	02.00	0	S/S	2	VFR
51	DVX-13	02.30	3	S/S	2	VFR
52	DVF-11	02.00	2	Bölge	2	VFR
53	DVX-14	02.30	3	S/S	2	VFR
54	DVX-15	02.30	2	S/S	2	VFR
3. SAFHA (TB-20)						
55	VPF-13	01.30	2	İntibak	2	VFR
56	VPF-14	01.30	3	İntibak	2	VFR
57	VPF-15	01.30	3	İntibak	2	VFR
58	VPF-16	01.30	4	İntibak	2	VFR
59	VPF-17	01.30	4	İntibak	2	VFR
60	VPF-18	01.30	4	İntibak	2	VFR
61	VPF-19	01.30	4	İntibak	2	VFR
62	SVF-07	00.30	1	Trafik Paterni	1	VFR

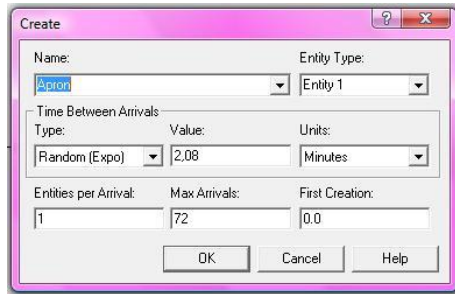
EK 2 ARENA MEYDAN TURU MODELİ AÇIKLAMASI

Meydan turu kapasitesi belirlemek için bilgisayar destekli bir simülasyon modelinin açıklaması bu bölüm içerisinde yer alacaktır. Simülasyonda kullanılacak bilgisayar yazılımı olarak ARENA programı seçilmiştir. Arena programı kuyruk teorisine uygun modelleme imkanı tanıyan güçlü bir simülasyon yazılımıdır ve bu anlamda hava trafik simülasyonları için ideal bir programdır.

Klasik meydan turu modeli, performanslarına göre üç ayrı kategoriye ayrılmış uçakların girdiği bir sistem olarak tasarlanmış ve her bir kategori için ayrı bir apron girişi tanımlanmıştır. Bu kategori sayısı incelenecek meydanın trafik karması içinde bulunan uçakların performans farklılıklarına göre değişebilir. Her giriş yapacak uçak karmasının olasılıkları belirlenirken uçakların olasılıkları doğrultusunda rastsal olarak sisteme girdikleri kabul edilir. Şekilde gösterilen modül uçakların sisteme girişlerini belirlemektedir. Buna göre; sisteme giriş noktasının ismi “Apron”dur. “Type” ile sisteme rastsal olarak girişi seçilmektedir.

Gelişler arası sürenin, geçmiş yıllara ait verilerden yararlanarak, parametresi 2.08 dakika olan üssel dağılıma uyduğu belirlenmiştir. Bu dağılım, sisteme uçak gelişlerini tanımlama amacıyla kullanılan “create” modülü yardımıyla örnek olarak Şekil Ek 2.1’de gösterildiği gibi simülasyon modeline yansıtılmıştır.

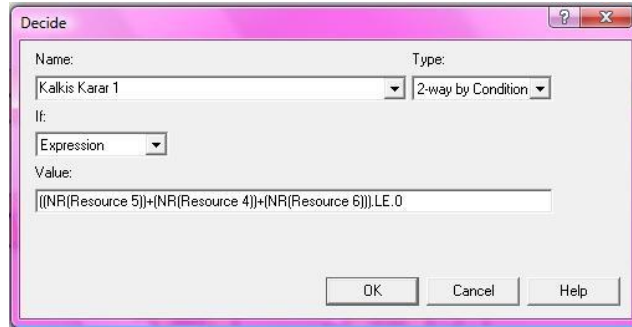
Gelişler arası süre dakika olarak alınmıştır ve her geliş için girdi sayısı (entities per arrival) bir olarak belirlenmiştir. Her uçak grubu için toplam 150 uçak içinde en çok kaç uçağın sisteme gireceği oranlara göre belirlenmiş ve “max arrivals” hanesine girilmiştir.



Şekil Ek 2.1. Uçakların simülasyon programına giriş modülü

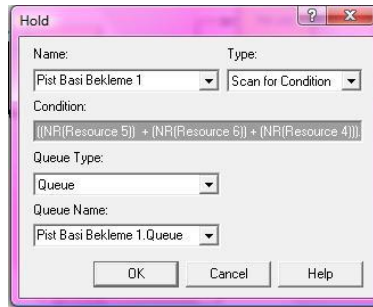
Sisteme giren uçaklar park pozisyonları olan istasyonlara gelmektedir. Buradan uçaklar taksi hareketine başlamaktadır. Taksi süresi olarak belirlenen sayı kule çalışanlarına danışılarak temsili bir değer alınmıştır. Taksi sürecini

tamamlayan uçak “*pist başı*” istasyonuna gelmektedir. Pist başında uçağın kalkışı için kullanılması gerekli ayırmalar kontrol edilir. Bu amaçla Şekil Ek 2.2 (A)’da gösterildiği gibi karar modülleri eklenmiştir. İlk karar modülü durumsal olarak iki yola ayrılan bir karardır. Modülün ismi “*Kalkış Karar 1*” olarak belirlenmiştir. Bu karar pistte iniş veya kalkış yapmak üzere bir uçağın olup olmadığını, iniş yapmak için son yaklaşımda bir uçağın olup olmadığını kontrol eder. *Resource 4* ve *Resource 5* pist üzerindeki iniş ve kalkışı temsil ederken, *Resource 6* son yaklaşımdaki uçağı temsil etmektedir.

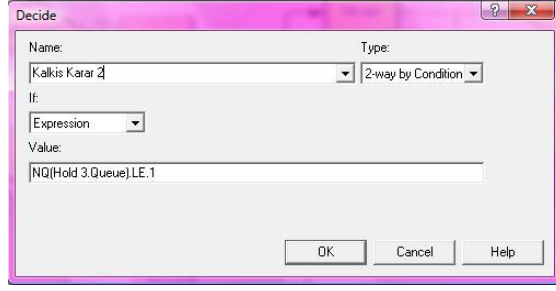


Şekil Ek 2.2. Pist başında ayırmalar için oluşturulmuş karar modülü

Eğer belirtilen noktalarda uçak var ise kalkış uçağı koşul sağlanana kadar pist başında bekleyeme girmektedir. İniş uçakları gelişlerden öncelikli olduğundan havada iniş için gecikme alan uçaklar birden az ise kalkış gerçekleştirilebilecektir. Bunun tespiti için yeni bir karar eklenmiştir (Şekil Ek 2.2 (B)). Koşul sağlanmadığı sürece uçak pist başında beklemeye girer. Bu bekleme süreleri deneyler sonucu analizlerde kullanılmak üzere kayıt edilmektedir.

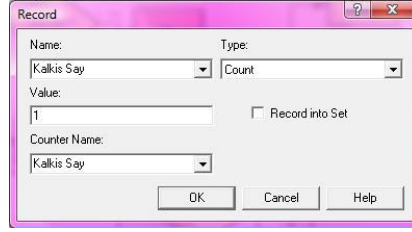


Şekil Ek 2.3. Pist başı bekleme



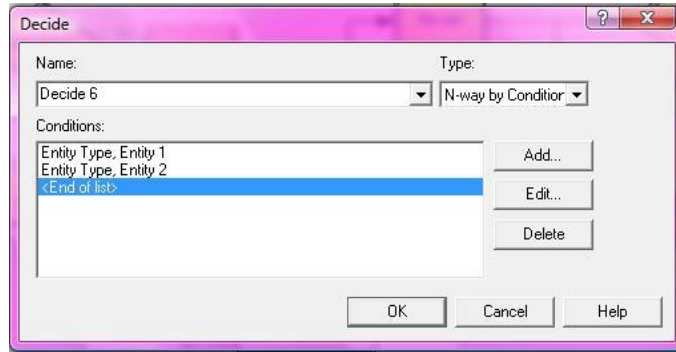
Şekil Ek 2.4. Pist başında ayırmalar için oluşturulmuş ikinci karar modülü

Uçakların kalkışını gerçekleştirilebileceği koşullar sağlandığı takdirde kalkışa geçilir. Kalkışların gerçekleşme sayısını elde edebilmek için “Kalkış Say” modülü eklenmiştir. Bu sayede deney sonucunda yapılan kalkış sayısı rapor olarak alınacaktır.



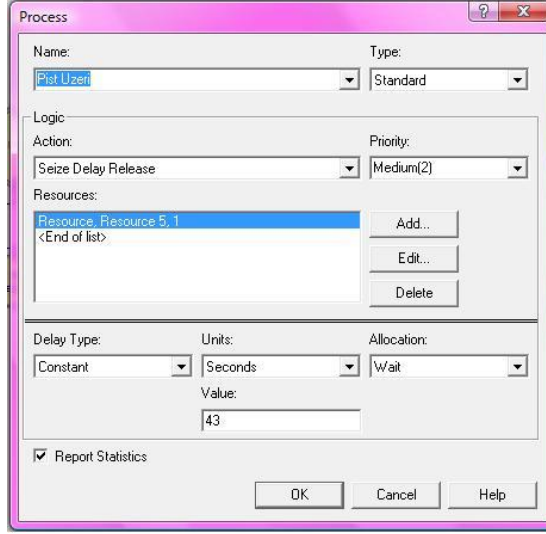
Şekil Ek 2.5. Sistemde kalkan uçak sayısını belirleyen kayıt modülü

Farklı performanslara sahip uçakların girdikleri süreçlerin süreleri de farklı olacağından uçak tiplerine göre farklı süreçlere girmeleri için her süreçten önce karar modülü konulmuştur (Şekil Ek 2.5.). Bu karar 3 farklı performans grubu olduğundan girdi tiplerine göre ayırmaktadır.



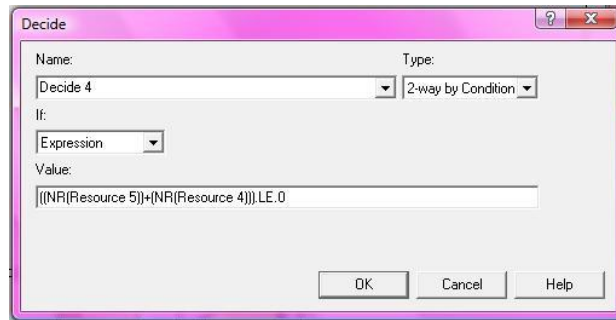
Şekil Ek 2.6. Performans farklılıklarına göre süreçlere dağılım karar modülü

Uçakların her bir süreçteki işlem süreleri hesaplamaları sonucunda sabit değerler olarak alınmaktadır. Bu sebeple “Delay Type” olarak “Constant” seçilmiştir ve saniye cinsinden süreler girilmiştir (Şekil Ek 2.6.).



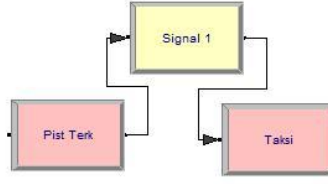
Şekil Ek 2.7. Süreçlerin işlem sürelerinin girilmesi

Uçağın kalkışının ardından tüm süreçler için aynı şekilde karar modülleri kullanılmış ve süreçlerin hesaplanan süreleri aynı şekilde girilmiştir. Uçak rüzgâr altı bacağının sonuna geldiğinde inişi için diğer bir iniş uçağı veya kalkış uçağı ile gerekli ayırmayı sağlamalıdır. Bu ayırmanın kontrolü için Şekil Ek 2.7.’de gösterildiği gibi bir karar modülü eklenmiştir. Bu karar modülü pist üzerinde iniş ya da kalkış halinde uçak olup olmadığı koşulunu kontrol etmektedir. Eğer iniş ya da kalkışta uçak var ise uçak bu noktada gecikme almak üzere koşul sağlanana kadar beklemeye girer. Bu bekleme sayısının raporda yer alması için kalkışta olduğu gibi bir “record” modülü eklenmiştir.



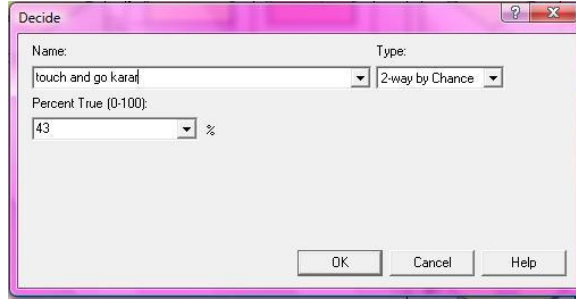
Şekil Ek 2.8. İniş ayırma kurallarının uygulandığı karar modülü

Uçak inişinin ardından “Pist Terk” istasyonuna giderek pisti terk eder ve bir sinyal göndererek pistin yeni operasyon için uygun olduğunu bildirir (Şekil Ek 2.8.).



Şekil Ek 2.9. Pistin terk edildiğini bildiren sinyal modülü

Bu modele ek olarak Touch and Go operasyonları modelinde iniş öncesine farklı bir karar modülü eklenerek uçakların bir kısmının touch and go operasyonu yaparak tekrar meydan turna girmeleri sağlanmıştır. Touch and go operasyonu düzenleyecek uçaklar karar verilen yüzdelerinin girilmesi ile belirlenmektedir. Deney sırasında yapılan touch and go sayısının raporlarda yer alması için “count” modülü eklenmiştir.



Şekil Ek 2.10. Touch and Go operasyonunu düzenleyecek uçakların ayrıldığı karar modülü