

**HAVAALANLARINDA UÇAK PARK
YERİ TAHSİSİ VE TAKSİ HAREKETLERİ
OPTİMİZASYONU**

Orhan Ertuğrul Güçlü
Yüksek Lisans Tezi

Hava Trafik Kontrol Anabilim Dalı
Şubat 2015

**Bu tez çalışması Anadolu Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri
Komisyonu Başkanlığı tarafından desteklenmiştir. Proje No: 1307F297**

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

Orhan Ertuğrul Güçlü'nün "Havaalanlarında Uçak Park Yeri Tahsisi ve Taksi Hareketleri Optimizasyonu" başlıklı Hava Trafik Kontrol Anabilim Dalındaki, Yüksek Lisans Tezi 27.01.2015 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	: Prof. Dr. Aydan CAVCAR
Üye	: Doç. Dr. Nihal ERGİNEL

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

Enstitü Müdürü

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

HAVAALANLARINDA UÇAK PARK YERİ TAHSİSİ VE TAKSİ HAREKETLERİ OPTİMİZASYONU

Orhan Ertuğrul GÜÇLÜ

Danışman: Yard. Doç. Dr. Cem ÇETEK
2015, 93 sayfa

Havayolu ulaşımına hızlı bir şekilde artan talep, her geçen gün büyük havalimanlarında gecikme ve çakışmalar gibi ciddi kapasite problemlerine yol açmaktadır. Havayolu şirketleri ve işletmecileri için bu gecikmelerden kaynaklı ekstra maliyetler ve müşteri memnuniyetsizliği büyük bir önem arz etmeye başlamıştır. Bu olumsuz etkilerin operasyonel yönetim organizasyonunda aksaklıklara neden olması da Park Yeri Tahsis Problemi (PYTP) olarak tanımlanmıştır. PYTP özellikle uçakların kalkış, yol safhası ve son yaklaşımadaki gecikmelerin toplam etkisi sonucu oluşmaktadır. Bu gecikmeler park yerlerinin verimli bir şekilde kullanılmasının önüne geçmesinin yanı sıra taksi yolu kesişimlerdeki uçakların çakışmalarından kaynaklı beklemlerin artmasına da neden olmaktadır. Park yeri tahsisinde mevcut yöntemlerin hepsi slot tahsis tekniklerine dayandığı için uçakların gecikmelerinin toplam etkisi göz önüne alınamamaktadır. Bu tez çalışması, toplam gecikmelerin etkisini azaltmak için daha taktiksel park yeri tahsis algoritması olan Hibrit Dinamik Park Yeri Tahsis Modelini ortaya konmuştur. Bu model algoritma temel anlamda uygun park yerlerinin ve taksi yollarının son yaklaşma hattında önceden belirlenmiş bölgelere giriş yapmış uçaklara tahsis edilmesini ön görmektedir. Bu model hızlı zamanlı simülasyon tekniği kullanılarak sınanmış ve mevcut durum modeli ile karşılaştırılmıştır. Dinamik bir planlama, daha esnek bir park yeri tahsisinin yapılmasını ve havaalanlarındaki özellikle en yoğun olduğu zamanlarda karşılaşılan gecikmelerin etkilerinin en aza indirilmesini sağlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Park yeri tahsis problemi, Hibrit dinamik park yeri tahsis, Yer gecikmeleri, Hızlı zamanlı simülasyon, Hava trafik yönetimi

ABSTRACT

Master of Science Thesis

OPTIMIZATION OF AIRCRAFT TAXI MOVEMENTS AND GATE ALLOCATION IN THE AIRPORTS

Orhan Ertuğrul GÜÇLÜ

**Supervisor: Asst. Prof. Dr. Cem ÇETEK
2015, 93 pages**

Rapidly increasing demand for air transportation leads to serious capacity problems at major airports such as delays and congestions. The extra operational costs introduced by these delays become more important for the airline companies and enterprises. The allocation of parking gates plays an active role in reduction of these delays. Well planned gate allocation reduces or even eliminates ground holds at taxiway intersections between arriving and departing traffic. This situation is defined as Gate Assignment Problem (GAP). The GAP especially occurs because of the cumulative effects of delays during take-off, en-route and final approach. These delays cause not only in-efficient use of the gates but also increase of ground holds at taxiway intersections. In the conventional approach gates are assigned using slot allocation techniques which require strategic planning done before flights. Therefore they do not take the possible cumulative delays during the flight into account. This study proposes a hybrid dynamic gate allocation model in attempt to minimize the effect of these delays using a more tactical gate allocation algorithm. The proposed algorithm assigns available gates to arriving aircraft when they establish on the final approach course. Using fast time simulation technique, this model have been analized and compared with the conventional gate allocation method. Dynamic planning provides more robust gate assignment and delay management at the airports especially in the peak hours.

Keywords: Gate Assignment Problem (GAP), Hybrid Dynamic Gate Assignment, Ground Delays, Fast time simulation, Air traffic management

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ÇİZELGELER DİZİNİ	vii
KISALTMALAR DİZİNİ	viii
1. GİRİŞ	1
1.1. Çalışmanın Konusu	1
1.2. Literatür Taraması	4
2. HAVAALANI SİSTEMİ HAKKINDA TEMEL TANIMLAR	11
2.1. Havaalanı Sistemi ve Elemanları.....	11
2.2. Kara Tarafı	12
2.3. Hava Tarafı.....	12
2.4. Havaalanlarında Hava Trafik Hizmetleri	14
2.5. Havaalarında Kapasite, Gecikme ve Operasyonlar	15
2.6. Havaalanı Elemanlarının Kapasitesi	16
2.7. Pist, Apron ve Taksiyolları (PAT) Sistemlerinin Kapasitesi.....	18
2.8. Uçak park yerleri kapasitesi	18
2.9. PAT Sahalarındaki Operasyonlar	20
2.10. Mevcut Durumda Park Yeri Tahsisi.....	21
3. MODELİN KURULUMU	23
3.1. Alternatif Yöntem.....	23
3.2. Kabuller	24
3.3. Modelin Tasarlanması	26
3.4. Genel Algoritma	28

3.5.	Park Yeri Tahsisi Süreci.....	29
3.5.1.	Körüklü Park Pozisyonu Tahsisi Süreci	31
3.5.2.	Açık Park Pozisyonu Tahsisi Süreci	31
3.6.	Park Yeri Tahsisi Sürecinde Koşullu Kullanım Kuralları.....	32
3.7.	Taksi Yolu Ataması Süreci.....	34
4.	SİMÜLASYONLAR	36
4.1.	Giriş	36
4.2.	Uygulama Alanı: İstanbul Atatürk Havalimanı.....	37
4.2.1.	Genel Tanım ve Bilgiler	37
4.2.2.	Coğrafi Konum ve Yerleşim Planı.....	39
4.2.3.	Trafik Analizi.....	42
4.2.4.	Park Yerlerinin Özellikleri ve Sınıflandırılması.....	49
4.3.	Mevcut Park Yeri Tahsisi Süreci.....	56
4.4.	Operasyon Usülleri ve Ayırma Minimaları.....	57
4.5.	Simülasyon Modelinin Hazırlanması	61
4.6.	Senaryoların Koşturulması	66
5.	SONUÇLAR	69
5.1.	Pist işgaliyet yüzdeleri karşılaştırması:	75
5.2.	Pist başı bekleme noktası bekleme süreleri karşılaştırması:	77
5.3.	Uçakların Taksi Süreleri Karşılaştırması.....	79
5.4.	Park Yeri Kullanım Süreleri Karşılaştırması.....	83
6.	TARTIŞMA VE ÖNERİLER	88
	KAYNAKLAR	90

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

2.1 Paralel Pist	13
2.2 Kesişen Pist.....	13
2.3. Hava Trafik Hizmetleri.....	14
2.4. Talep kapasite eğrisi	16
2.5 Körüklü Park Yerleri	19
2.6 Açık Park Yerleri.....	19
2.7 Havaalanı park yeri planlamasında kullanılan Gantt çizelgesi.....	21
3.1 Hibrit dinamik park ve taksi yolu ataması modeli.....	25
3.2 Genel park yeri ve taksi yolu atama algoritması	29
3.3 Park yeri tahsisi algoritması.....	30
3.4 Medium kategori uçaklara tahditli park yeri tahsis algoritması	33
3.5 Heavy kategori uçaklara tahditli park yeri tahsis algoritması	34
3.6 Taksi yolu ataması algoritması	35
4.1 Yıllara göre İstanbul Atatürk Havalimanı aylık uçak trafiği	38
4.2 Yıllara göre İstanbul Atatürk Havalimanı yolcu sayısı	38
4.3 İstanbul Atatürk Havalimanı Yerleşim Planı	40
4.4 İstanbul Atatürk Havalimanı apron, terminal ve park yeri konumu	41
4.5 İstanbul Atatürk Havalimanı aylık ticari toplam, günlük ticari ortalama ve pik gün trafiği	43
4.6 İstanbul Atatürk Havalimanı 29 Haziran 2012 günü içerisinde operasyonların iniş ve kalkış trafiği dağılımı	45
4.7 İstanbul Atatürk Havalimanı 29 Haziran 2012 verilerine göre uçakların günlük kategori dağılımı.....	46
4.8 İstanbul Atatürk Havalimanı 29 Haziran 2012 verilerine göre uçak tiplerinin gün içindeki yüzdelik dağılımı	47
4.9 İstanbul Atatürk Havalimanı 29 Haziran 2012 verilerine göre gün içindeki uçak tiplerinin toplam miktarı	48
4.10 İstanbul Atatürk Havalimanı 29 Haziran 2012 verilerine göre meydana operasyon düzenleyen havayolu şirketlerinin yüzdelik dağılımı.....	49

4.11 Uçak kanat genişliği(b) ve gövde uzunluğunu(L) gösterir resim.	50
4.12 İstanbul Atatürk Havalimanı'na operasyon düzenleyen uçak tiplerinin gövde boyu ve kanat uzunluklarına göre sıralaması.....	51
4.13 Aynı pisti kullanan iniş ve kalkış uçaklarının pist içi ayırmaları	60
4.14 Aynı pisti kullanan kalkış uçakları arasındaki pist içi ayırmaları.....	60
4.15 SIMMOD Pro Üzerindeki İstanbul Atatürk Havalimanı'nın yakın plan görünümü.....	63
4.16 SIMMOD Pro modelinde İstanbul Atatürk Havalimanı pistleri için son yaklaşma ve ilk tırmanma yollarının genel görünümü	63
4.17 SIMMOD Animator'ündeki İstanbul Atatürk Havalimanı'nın uçuşların yakın plan görünümü	68
4.18 SIMMOD Pro Animator'ü üzerindeki İstanbul Atatürk Havalimanı uçuşlarının genel plan görünümü.....	68
5.1 Pist kullanım oranları karşılaştırması	76
5.2 Kalkış uçakları için toplam pist başı bekleme süresi.....	78
5.3 Kalkış uçakları için uçak başına ortalama pist başı bekleme süresi	78
5.4 Toplam Taksi Süreleri Karşılaştırması	80
5.5 Ortalama Taksi Süreleri Karşılaştırması.....	80
5.6 Ağırlıklandırılmış referans senaryo taksi bekleme noktaları.....	81
5.7 Ağırlıklandırılmış alternatif senaryo taksi bekleme noktaları	82
5.8 Körüklü park yerleri kullanım oranı	85
5.9 Açık park pozisyonu kullanım yüzdesi.....	86
5.10 Kargo ve genel havacılık apronu park yerleri kullanım yüzdesi	87

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
2.1. Uçak Kategori Sınıflandırması.....	17
4.1 Körüklü park yerlerini kullanabilecek en büyük uçak tipi.....	52
4.2 Açık park yerlerini kullanabilecek en büyük uçak tipi	54
4.3 Körüklü park yerlerinin koşullu kullanım kuralları	55
4.4 İniş uçakları arasındaki ayırma mesafeleri.....	58
4.5 Kalkış uçakları arasındaki pist sonunu terk ettikten sonraki ayırma süreleri..	59
4.6 İstanbul Atatürk Havalimanı'na operasyon düzenleyen uçak tiplerinin SIMMOD Pro ortamında tanımlanan kategorileri	65
5.1 Simülasyon süresince gerçekleşen operasyon sayıları.....	69
5.2 İnen uçakların taksi süreleri karşılaştırması	70
5.3 Kalkan uçakların taksi süreleri karşılaştırması	70
5.4 Kalkan uçakların bekleme noktası ortalama gecikme süreleri.....	71
5.5 Referans senaryo iterasyonlarının çıktıları.....	73
5.6 Alternatif senaryo iterasyonlarının çıktıları	74
5.7 Senaryoların park yerleri kullanım oranı ve süreleri.....	83

KISALTMALAR DİZİNİ

PYTP	:	Park Yeri Tahsisi Problemi
GAP	:	Gate Assignment Problem
PAT	:	Pist, Apron ve Taksi Yolları
b	:	Kanat Genişliği
L	:	Gövde Uzunluğu
CBDM	:	Computer Based Desicion Making Bilgisayar Tabanlı Karar Destek Sistemi
BACoE	:	Business Architecture Center of Excellence İç Mimarisi Mükemmeliyet Merkezi
OPL	:	Optimal Programlama Dili
AMAN	:	Arrival Manager Geliş Yönetimi Asistanı
DMAN	:	Departure Manager Kalkış Yönetimi Asistanı
SMAN	:	Surface Manager Yer Yönetimi Asistanı
ICAO	:	International Civil Aviation Organization Uluslararası Sivil Havacılık Örgütü
ACC	:	Area Control Center Saha Kontrol Merkezi
VFR	:	Visual Flight Rules Görerek Uçuş Kuralları
IFR	:	Instrument Flight Rules Aletli Uçuş Kuralları
TMA	:	Terminal Maneuvering Area Terminal Sahası
SSR	:	Secondary Surveillance Radar

CPDLC	:	Computer-Pilot Data Link Communications Pilot-Bilgisayar Veri Hattı İletişimi
FMS	:	Flight Management System Uçuş Yönetim Sistemi
NM	:	Nautical Mile Deniz Mili
FIC	:	Flight Information Center Uçuş Bilgi Merkezi
CTR	:	Control Region Control Bölgesi
AIP	:	Aeronautical Information Publication Ulusal Havacılık Yayını
DHMİ	:	Devlet Hava Meydanları İşletmesi
TAV	:	Tepe-Akfen-Vie
THY	:	Türk Hava Yolları
FAA	:	Federal Aviation Administration Amerikan Federal Havacılık Dairesi
EUROCONTROL	:	Avrupa Hava Seyrüsefer Emniyeti Teşkilatı

1. GİRİŞ

1.1. Çalışmanın Konusu

Büyük ölçekli havalimanlarının en büyük sorunu artan talebi karşılayacak kapasitede olamaması ya da bu ihtiyaçları sağlayabilecek hızda kapasite artışına imkân verememesidir. Mevcut sorunun bu faktörler göz önünde bulundurularak aşılabilmesinin en etkin yolu da havalimanın trafiğinin en verimli şekilde yönetilebilmesidir. Ancak havaalanı sistemini operasyonel açıdan verimli bir şekilde kullanımı da sınırlayan etkenler vardır. Bu etkenler hava trafik kontrolörünün performansı, yer hizmetlerinin performansı, pilotun tepki süresi gibi etkenlerdir. Bu etkenleri göz ardı edebilmemizin imkânı yoktur ancak etkilerini daha aza indirecek yöntem ve tekniklerden faydalanılabilir. Özellikle park yeri tahsisinde insan faktörlerinin etkisinin mümkün olan düşük seviyeye indirilmesi gerekmektedir. Konvansiyonel yöntemlerde kullanılan yazılım sistemleri sadece park yeri tahsisinin planlama sürecinde yardımcı olmaktadır. Fakat en önemli aşama olan karar aşamasında çoğunlukla kullanıcının insiyatifi doğrultusunda park yeri tahsisi yapılmaktadır. Hava trafiği yoğun olan meydanlarda park yerlerinin yetersiz sayıda olması bir de bu park pozisyonlarının iyi planlanmaması havalimanının kapasitesini sınırlandırmaktadır.

Havalimanlarında park yeri tahsisi statik bir yapıya sahip olduğu için gün içindeki yaşanan operasyonel değişiklikler ve uçuşların gecikmelerine karşı sistem kendini yeteri kadar hızlı yenileyememektedir. Bu gibi durumlarda statik yapıdaki park yeri tahsisinde operatörlerin emek yoğun çalışmaları sonucunda problemler giderilmektedir. Bu tür kısa zamanda emek yoğun bir çalışma gerektiren durumlarda doğal olarak insan faktörlerine dayalı hatalar ya da sistem genelinde verimsizlikler ortaya çıkmaktadır. Söz konusu bu problemlerin etkilerini en aza indirebilmek için dinamik, otomasyon seviyesini artıracak ve aynı zamanda havalimanlarına ait özel karar kriterlerinin tanımlanabileceği bir sistemin kullanılması gerekmektedir.

Uygulama alanı olarak seçilen ülkemizin hava trafiği açısından en yoğun havaalanı olan İstanbul Atatürk Havalimanı'nda da benzer sorunlar ile karşılaşmaktadır. Havalimanındaki RAMP kule biriminde yapılan park yeri

tahsisinde karar verme süreci, kısmi olarak özel planlama yazılımları ile yürütülse dahi işin büyük kısmı emeği yoğun olarak gerçekleştirilmektedir. Bu anlamda karar verme sürecinde SELEX tarafından geliştirilen Gantt çizelgesi tabanlı ROTA adındaki yardımcı bir yazılımın kullanılmaktadır. ROTA yazılımı, gün içerisinde park pozisyonlarının işgaliyet durumu tamamen kullanıcı tarafından girilen ve park pozisyonlarının saatlik planlamasını gösteren bir yazılımdır. Bir başka deyişle park yeri tahsisi tamamen kullanıcıya ait olmaktadır. Mevcut park pozisyonlarının kullanılmayacağı durumlar olduğunda, örneğin taksi yolunun kapanması, bakım-onarım-inşaat işleri gibi, o bölgedeki park pozisyonlarına atama yapılmamaktadır. Bu da ROTA ekranında görülmektedir.

Günlük ortalama yaklaşık 600 uçağın indiği Atatürk Havalimanında park yeri tahsisi süreci büyük bir ehemmiyet taşımaktadır [1]. RAMP kule yetkilileri de özellikle havayolu şirketlerinin körüklü park pozisyonlarına olan taleplerinin park yeri tahsisi sürecinde büyük bir sıkıntı yarattığını belirtmektedirler. ROTA yazılımında bir park pozisyonunun bir uçağa tahsisinden sonra o park pozisyonunun işgaliyet süresi tamamen havayolu şirketi ile servis sağlayıcısının arasındaki anlaşmalara dayandırılmaktadır. Fakat motor arızası gibi teknik sorunlar ya da kalkış için yapılan hazırlıkların gecikmesi gibi durumlarda uçakların işgaliyet süreleri artmaktadır. Bu işgaliyet süresinin uzadığı durumlarda o park yeri için bir sonraki planlanmış uçağa yeni bir park yerinin tahsis edilmesi gibi durumlar RAMP kule yetkilileri tarafından çözülmesi zor problemler oluşturmaktadır. Bunun yanında 30 dakikadan fazla gecikmeli gelen uçakların tekrardan park yeri tahsisinin yapılması gerekmektedir. Bu problemlerin yaşandığı durumlarda park yeri tahsislerinin zincirleme olarak değiştirilmesi gerekmektedir.

Atatürk Havalimanı'nda taksi yolu üzerinde herhangi bir park yeri değişikliğine uğrayan uçakların tekrardan park yeri tahsisi, yer hizmetlerini sunan ekiplerin bölgeye intikal sürelerinden kaynaklı da bir gecikme problemi de ortaya çıkarmaktadır. Kısa süreli konaklama (quick-turn) yapacak uçakların yer hizmetlerinin gecikmesi sebebiyle quick-turn süreleri uzamaktadır. Bu da o park pozisyonu için sonradan planlanan uçağın tekrardan park yerinin atanmasına neden olmaktadır.

İstanbul Atatürk Havalimanı 38'i körüklü park yeri olmak üzere 104 park pozisyonuna sahip olmasına rağmen yukarıda bahsedilen problemlerden kaynaklı olarak park yeri tahsisi sürecinin optimum seviyede tamamlanabilmesi mümkün olmamaktadır. Park yerlerindeki kapasite artışı park pozisyonlarının etkin bir şekilde kullanılması sağlanarak yapılabilir. Park pozisyonlarının etkin bir şekilde kullanılması da buradaki körüklü ve açık park yeri planlamasının en iyi şekilde yapılmasını gerektirmektedir. Genellikle bu kapı zamanlamasında karşılaşılan en büyük sorun gecikmelerdir. Özellikle slot tahsisi sırasında planlanan park yerinden; kalkış, yol ve yaklaşma safhalarında yaşanan gecikmelerden dolayı iyi bir verim sağlanamamaktadır. Bu da havaalanı kapasitesindeki beklenen artışın yakalanamamasına neden olmaktadır.

Aynı zamanda taksi trafiğindeki verimlilik de iyi bir park pozisyonu planlamasının bir sonucu olabilmektedir. Çünkü park pozisyonlarına erişim sırasında hangi taksi yollarının kullanılacağı ile ilgili bir kısıtlama yapılması durumunda bu taksi yollarındaki karşılaşmalar minimuma indirilmiş olacak ve bunun sonucu olarak da taksi yollarındaki verimlilik de istenilen seviye de kapasite artışını da sağlamış olacaktır.

Park yeri tahsisi ve onu takip eden taksi yolu ataması sırasında insan faktörlerinin oluşturduğu olumsuz etkilerin de göz ardı edilmemesi gerekmektedir. Slot tahsisini yapan ekip ilgili uçağın ortalama tahmini varış süresini, uçak performans verilerini ve o zamana kadar yapılmış uçuş verilerini göz önüne alarak belirler. Bu varış süresine göre de o tip uçak ve havayolu şirketi için en uygun park yeri ataması yapılır. Bu atama yapılırken taksi yollarındaki kalkış yapacak uçakların durumları göz önünde bulundurulmamaktadır ve taksi yollarındaki ayırmalar yer kontrolörüne bırakılmaktadır. Burada da insan faktörleri önem arz etmektedir. Kontrolörün tepki süresine göre bu sistem içerisinde havaalanının verimliliği belirlenmektedir. Bu da nihai ulaşılmış olan havaalanı kapasiteleri ile karşıımıza çıkmaktadır.

Bu çalışmanın amacı bütün bu faktörlerin olumsuz etkilerini en aza indirecek bir park yeri ve taksi yolu tahsis sistem modelini ortaya koymaktır. Bu sistem dinamik bir yapıya sahip otomasyon mekanizmasına sahip olmalıdır. Bu da tamamen insan faktörünün ve uçuşun belirli safhalarında olan gecikmelerin

etkilerinin minimuma indirilmesi ile sağlanacaktır. Son yaklaşma safhasına girmiş bir uçağın verisini radardan alan ve motor çalıştırma müsaadesini almasına müteakip transponderini açan uçağın verisini yer radarından alan bir sistem, park yeri tahsisini ve taksi yolu belirlemede optimum çalışmayı ortaya çıkartacaktır. Bu yöntemle gecikmelerin etkilerini en aza indirmenin yanında insan kaynaklı negatif etkilerin de bilgisayar destekli karar verme mekanizması (CBDM) ile yapılabilmesi sonucunda minimize edilmesinin sağlanması hedeflenmektedir. Oluşturulan çözüm algoritması öncelikle hızlı zamanlı simülasyon yazılımı olan SIMMOD Pro ortamında modellenerek sınanacaktır. Gerçek operasyonel verilere dayalı referans ve hibrit dinamik algoritma modelini kullanan alternatif senaryolar SIMMOD Pro ortamında koşturularak trafik akışı, gecikmeler, pist ve park yeri kullanım oranları ayrıntılı olarak karşılaştırılacaktır.

1.2. Literatür Taraması

1970'lerden itibaren hava trafiğinin yoğunlaşması ile birlikte havaalanları yapısal olarak daha karmaşık hale gelmeye başladı. Bu karmaşıklık gerek yolcuların terminal binalarında özellikle aktarmalı uçuşlarına yetişmek için çok uzun mesafeler yürümesine gerekse bu yürüyüş trafiklerinin belirli noktalarda birbirlerini keserek yolcu kalabalığının oluşmasına neden olmaktadır. Bu nedenle, havaalanlarında uçak park tahsisine ilişkin ilk çalışmalar terminal binaları içindeki yolcuların yürüyüş mesafesini ve buna bağlı trafik sıkışıklığını azaltmak yönünde yapılmaya başlandı. İlk olarak Braaksma ve Shortreed [2] havaalanı yolcu terminal binalarında toplam yolcu yürüyüş mesafesini en aza indirebilecek uçak park yeri tahsis algoritmasını önerdiler. Braaksma, daha sonra, yolcuların terminal binası içindeki akış yönlerini de hesaba katan yeni bir park yeri tahsis algoritması oluşturdu [3].

Babic ve ark. [4] ise doğrusal 0-1 tamsayı programlamasını kullanarak yeni bir park yeri tahsis prosedürünü ortaya koydular. Bu çalışmadaki temel strateji yolcuların yürüyüş mesafelerini kısaltmak için doluluk oranı en yüksek olan uçakların park tahsisinin terminalin merkez girişine yakın bölgelere yapılmasıydı.

Havaalanlarında 1980'lerden itibaren hızlanarak artan yolcu ve uçak trafiği yoğunluğu ve topla-dağıt (hub-and-spoke) sistemlerinin yaygınlaşması

sonucu uçak park pozisyonlarının kullanımındaki sıkıntıları daha ciddi hale getirdi. Bu nedenle gerek yeni havaalanlarının tasarımı gerekse mevcut fiziksel altyapının daha verimli kullanılabilmesi için daha kapsamlı ve büyük ölçekli park yeri tahsisinin problemleri için çeşitli yöneylem araştırması tekniklerinin kullanımına başlandı. Bunlardan ilki Mangoubi ve Mathasiel'in [5] tamsayı programlama formüllerinin doğrusal program gevşetilmesi yaklaşımı ile gerçekleştirilen uçaklar için havaalanı terminallerinde uçak kapı tahsisinin optimizasyonu çalışmasını gerçekleştirmiştir. Bihr [6] ise havaalanlarında uçak park yeri tahsisi için suboptimal ve uçakların konma ve konaklama gibi maliyetleri için de optimal çözümlerin doğrusal programlama ile hesaplanabileceğini göstermiştir.

Uçak park yeri tahsis problemi üzerine gerçekleştirilen bu çalışmalarda sadece havaalanı yolcu terminal planlaması ve operasyonlarına yoğunlaşmış ve hava tarafı kısıtlayıcıları ihmal edilmiştir. Ancak uçuş programları, uçak performansları vb. gibi hava tarafı kısıtlayıcıları da göz önüne alındığında park yeri tahsisi problemi kuadratik tahsis problemine dönüştüğü görülmüştür [7]. Kuadratik tahsis problemini ilk olarak tanımlayan Obata [8], bu problemin deterministik olmayan polinomsal zamanda yaklaşık olarak çözülebilen (NP-zor) problem olarak sınıflandırmıştır.

Bu tür bir problemin çözümü için Haghani ve Chen [9] çoklu periyotlu tamsayı programlama çözümünün yanı sıra yolcu mesafesini uçuş programlarına dayalı olarak kısaltan sezgisel bir atama algoritması ortaya koymuşlardır. Mangoubi ve Mathaisel [5] ise aynı yönteme ek olarak tamsayı programlama formülünün doğrusal programlama ile esnekleştirilmesi üzerine bir çalışma yaparak hesaplama zamanını kısaltmıştır.

Klasik matematiksel programlama tekniklerinde göz ardı edilen uçuş gecikmelerinin park tahsisi üzerindeki olumsuz etkilerini en aza indirebilmek için de problem çözümlerinde bilgiye dayalı yaklaşımlar geliştirilmiştir. Bilgiye dayalı çözüm yöntemlerinin temel avantajı hem hava tarafı uçak trafiğini hem de kara tarafı yolcu hareketlerin göz önünde bulundurmasıdır. Özellikle hava tarafındaki uçak tipi veya kapı konfigürasyonu kısıtlamaları, uçuş programları, uçakların kapılarda veya apron bölgesinde çakışmaları, kara tarafında ise yolcuların ve bagajların transfer bölgesi, yolcu akış karşılaşmaları gibi kısıtlayıcılar bilgiye

dayalı sistemelerde kullanılmaktadır. Bu kısıtlayıcıları da dâhil ederek bu problemlerin çözümüne yönelik çalışmalar yapanlara örnek olarak Brazile ve Swigger [10], Gosling [11] ile Srihari ve Muthukrishnan [12] gösterilebilir.

Her ne kadar bu çalışmalarda bilgiye dayalı sistemler teoride gecikme, park yeri çakışmaları veya uçağa uyum olmayan park yeri tahsisi gibi operasyon hataları en aza indirgediği gösterilse de pratikte beklenen iyileşmenin sağlanamadığı görülmüştür. Bunun nedeni bu yaklaşımın sezgisel yöntemlerin sağladığı esnek karar verme mekanizmasına sahip olmamasıdır.

Havaalanlarında park yeri tahsisi sürecinde kullanılan bilgiye dayalı sistemlerin en büyük eksikliği kısıtlayıcı etkenlerin herhangi birindeki beklenmedik bir değişiklik gerçekleştiğinde etkinliğini yitirmesidir. Bu nedenle gerçek operasyon koşullarında çıkabilecek ani değişikliklere rağmen problemin etkin ve hızlı bir şekilde çözümünü sağlayabilecek sezgisel algoritmalar üzerine çalışılmaya başlanmıştır. Bunlara örnek olarak Xu ve Bailey [13] tabu arama tekniğini kullanarak örnek durum senaryoları için sonuca daha hızlı yakınsayan bir algoritma geliştirmişlerdir.

Gu ve Chung [14] ise genetik algoritmanın global arama teknikleri ile park yeri kapılarındaki gecikme yaşanması halinde uçaklara minimum zamanda yeniden park yeri tahsis eden bir çözüm yöntemi geliştirmişlerdir. Hu ve Di Paolo [15] ise park yeri tahsisindeki kısıtlayıcıların matris formatında işlenmesi durumunda yaşanan hafıza yetersizliğinin giderilmesi için genetik algoritma tekniğine dayalı bir yaklaşım sunmuşlardır.

Ding ve Zhang [16] ise park yeri tahsisi probleminin çözümü için kesikli parçacık sürü optimizasyonunu kullanmıştır. Bu çalışmada uçakların ortalama taksi sürelerini, pist ve park yeri işgaliyet sürelerini göz önünde bulundurarak sadece hava tarafı kısıtlayıcılarını ayırık parçacık sürü optimizasyonu algoritmalarına eklenmiştir.

Zhao ve Cheng [17] karınca koloni algoritmasını kullanarak park yeri tahsisi üzerine bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada karınca kolonisi algoritmasının kapı çakışmalarının önüne geçilmiş ve kalkan uçakların zamanında havalimanının terkedilmesi amaçlanmıştır. Ancak bu algoritmanın, havalimanında

karşılaşılabilecek yapısal ve operasyonel kısıtlamalara karşı güncellenebilmesi mümkün değildir.

Cheng [18] ise sezgisel yöntemlerin tek başına yeterli olamayacağını düşünerek, genetik algoritma, tabu araştırması ve simülasyon tekniklerinin beraber kullanıldığı bir yarı sezgisel yöntem önermiştir.

Park yeri tahsis algoritmalarının, gerçek operasyonel durumlarda oluşabilecek ani değişikliklere karşı hızlı çözüm getirebilecek dinamik bir yapıya sahip olması gereklidir. Sezgisel teknikler ise bu etkin yapıyı henüz yeterince sunamamaktadır. Bu nedenle hem bilgiye dayalı hem de dinamik şekilde çözüm üretebilecek hibrit teknikleri üzerine çalışılmaya başlanmıştır. Örneğin statik park yeri tahsisinde değişken uçuş gecikmelerinin analizi yapılamaktadır. Matematiksel modeller ve prosedürlerde ise uçak park yeri tahsisinde bırakılan boş sürelerin homojen bir şekilde dağılımı için çözüm önerileri sunulamamaktadır. Aynı zamanda matematiksel ya da sezgisel yöntemlerde gerçek zamanlı park yeri kuralları ve esnek tampon zamanları değerlendirilmemiştir.

Bu tanım doğrultusunda Yan [19] ve Huo [20] büyük ölçekli park yeri tahsis problemlerinin çözümü için birden fazla farklı yöntemi bir arada içeren hibrit yaklaşımlar kullanmışlardır. Bu yöntemler temel olarak ağırlıklandırma, sütun oluşturma, tek yönlü metot ile dallandırma ve sınırlandırma yöntemlerini içermektedir.

Maharjan ve Matis [21] ise ikili sistemde çoklu emtialı kapı akış network modelini geliştirmiştir. Bu model ile uçakların taksi sırasındaki yakıt tüketim maliyetleri ile yolcuların aktarmalı uçuşlardaki kapılar arasındaki mesafeden kaynaklı memnuniyetsizlikler üzerinde olumlu bir etki yaratmıştır. Cheng [22] ise park yeri tahsisinde statik ve dinamik oluşan durumlara matematiksel programlama ile desteklenmiş bilgiye dayalı bir yöntem kullanmıştır. Ding ve ark. [23] ise park pozisyonu atanmamış uçaklar için tıkanmayan bir çözüm sağlayan tabu araştırması ve benzetilmiş tavlama (simulated annealing) yöntemlerine dayalı hibrit bir algoritma geliştirmişlerdir.

Wipro Technologies'den Airlina Innovation Centre of Intelligence (BACoE) takımı, kendi geliştirdikleri hibrit sezgisel yaklaşımla park yeri tahsisi üzerine çalışmalarda bulunmuşlar [24]. Bu çalışmada hava ve kara tarafı

kısıtlayıcılarını yolcu yürüyüş mesafesi ve memnuniyeti, uçuş zamanı, park yeri durumu, park yerini işgaliet süresi ve park yeri ile ilgili kısıtlamaları sistemlerinin girdisi olarak kabul edip, olası muhtemel uçakların gecikmelerini göz önünde bulundurulmamaktadır. Bu yüzden gecikme yaşaması muhtemel uçakların havaalanı park yeri tahsisine olan etkilerini azaltamamaktadır.

Çok amaçlı karar verme mekanizmaları park yeri tahsisinde önemli rol oynamıştır. Çünkü park yeri tahsisi sürecinde birden fazla kısıtlayıcı kriterlerin olması araştırmacıları bu kısıtlayıcıların etkilerine göre ağırlıklandırıp tahsisin en optimum bir şekilde yapılabilmesini üzerine çalışmışlardır. Drexl ve Nikulin [25] çok amaçlı karar vermede yardımcı yöntemlerinden olan Pareto dağılımını kullanarak park yeri tahsisindeki kara ve hava tarafındaki kısıtlayıcılar ile uçaklara tahsis edilebilecek en optimum park yerinin ataması üzerine çalışmıştır. Bu çalışma ile park yeri atanamayan uçakların sayısı ile yolcuların terminal binasındaki yürüyüş mesafelerininin azaltılması planlanmıştır.

Kumar ve ark. [26] optimal programlama dili (OPL) kullanarak park yeri tahsisi sürecinde uçuş verilerinin günlük olarak değerlendirildiği, yolcu sayılarının ve onların transfer uçuşlarının olup olmadığına dayanan çok amaçlı bir algoritma oluşturmuşlardır. Bu yöntemde uçak çekme maliyeti ve farklı bir park yeri atama cezasının azaltılması bunlara karşılık inen ve kalkan uçaklar arasındaki serbest kapı sürelerinin artırılması hedeflenmiştir. Günlük olarak bu verilerin alınması, kalkış öncesi olası gecikmelerin etkilerini azaltırken, uçağın kalktıktan sonraki yolculuğu esnasında yaşadığı gecikmelerin etkilerini azaltamamaktadır.

Neuman ve Atkin [27] havaalanında uçak park yeri tahsisi yaparken uçakların taksi hareketlerindeki olası çakışmaları ve karşılaşmaları göz önünde bulundurmuştur. Bu çalışmada park bölgesinde oluşan park yerini terk eden veya park yerine giren uçakların olası muhtemel çakışmalarını göz önünde bulundurarak uçakların park yeri atamasını bu kritere dayandırarak yapılmaktadır. Ancak çalışmada inen ve kalkan uçakların yaşadığı gecikmeler göz ardı edilmiştir. Aynı zamanda kara tarafı kısıtlayıcıları ile uçakların taksi mesafesi kısıtlayıcılarını da değerlendirmeye katılmamıştır.

Li [28], araştırmasında ardışık inen iki uçağa aynı park yeri tahsisinin yapılmasının önüne geçilmesi için CPLEX optimizasyon programlama dilini

kullanarak bir algoritma geliştirdi. Bu alışmasıyla Chendong uçaklara aynı park yeri tahsisinin önüne geçerek dinamik park yeri tahsisi sürecine bir temel oluşturmuştur.

Bu tez çalışmasında park yeri ve taksi yolu ataması için oluşturulan zmler referans ve alternatif senaryolar için hızlı zamanlı simülasyon yöntemi ile sinanmıştır. Hızlı zamanlı simülasyon teknikleri, havaalanları hava sahasındaki yapısal ve operasyonel iyileştirmelerin yapılması ve analiz edilmesinde kullanılan en yaygın yöntemdir. Özellikle sonuç alınması uzun sürecek senaryolarda bu simülasyon tekniği ile çok daha kısa sürede çok yakın sonuçlara ulaşılabilmesi mümkündür. Bu yöntemin ayrıntıları ilgili kaynaklarda detaylı olarak verilmiştir [29].

Geleneksel yöneylem araştırmaları, kesin olmayan bilgilerden ve çoklu kriterlerden dolayı birçok zorluğu da bünyesinde bulundurması nedeniyle ilk olarak Hamzawi [30] park yeri tahsis probleminin üzümünde simülasyon yöntemini kullandı. Bu çalışmada mikrodenetleyicilerle çalışan uçakların kapı atamalarının simülasyonunu gerçekleştiren ve operasyonel seçeneklerin etkilerini park yeri kullanım oranını da göz önünde bulundurarak değerlendiren bir park yeri tahsis modeli oluşturuldu.

Gosling [31] havalimanlarının yer hareketlerinin ve ulaşımının organize bir şekilde yapılabilmesi için gerekli olan modelleme gerekliliklerini belirlemiştir. Khoury ve ark [32]; Detroit Havalimanı'nın Stroboscope ve Vitascope ile simülasyon modellerini oluşturmuşlar. Bu oluşturulan model ile havalimanında yapılması planlanan inşaat işlerinin hava tarafı operasyonlarına etkilerinin ıktıları alınmıştır.

Günümüzde bazı büyük havalimanlarında kullanılmakta olan AMAN geliş uçaklarının sıralamasında yardımcı, DMAN kalkış uçaklarının sıralamasında yardımcı ve SMAN uçakların yerdeki hareketlerini yönetmede yardımcı karar destek sistemleri bulunmaktadır. Bu sistemler yoğun havalimanlarındaki uçakların kontrol edilmesindeki yaşanan sıkıntıları minimize ederken, insan faktöründen kaynaklı hataları da en düşük seviyelere eker. Raphael Deau ve ark [33] Charles de Gaulle Havalimanı'nda AMAN/DMAN sistemleri ile SMAN sistemlerinin birbirleri ile olan ilişkilerini düzenleyerek yer gecikmelerini minimize edebilmek

üzerine bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmalarında AMAN, DMAN ve SMAN karar destek sistemlerinin birbirleri ile koordineli çalışmaları durumunda havalimanında yer gecikmelerinin olduğunu ve bu sistemlerde bir sistemin çıktısı diğer sistemin girdisi olarak çalışması gerektiğini belirtmişlerdir. Kjenstad ve ark. [34] Arlanda Havalimanı'nda karar destek sistemlerinin koordineli ve birbiriyle entegre bir şekilde çalışmasıyla elde edilen sonuçları bir bildiriye açıklamışlardır.

2014'lere kadar yapılan çalışmaların sonuçlarına bakıldığında geliş, yer ve kalkış yönetimi probleminin birbirleri ile ilişkili olduğunu ve oluşturdukları algoritma ile bu problemlerin çözümüne yeni bir bakış açısı getirdikleri görülebilmektedir. Fakat operasyonel anlamda bu çalışmaların sahadaki çıktıları teorikte elde edilen sonuçlar kadar etkili olamamaktadır. Uçakların uçuş döngüleri süresince yaşadıkları gecikmelerin etkileri en çok havaalanlarında görülmektedir. Örneğin, planlanan iniş vaktine göre geciken bir uçak, havalimanındaki park yeri işgaliet süresini de bu gecikme oranında artırmaktadır. Bu zamana kadar yapılan çalışmalar uçuş planlarına dayalı park yeri tahsisine odaklanmaktadır. Bazı çalışmalarda ulaşılan sonuçlar uçakların kalkışından önce yaşadığı gecikmelerin telafisini sağlamakya yöneliktir. Fakat uçuş döngüsü içinde yaşanan gecikmelerin telafisini sağlayacak bir çalışma bu zamana kadar yapılmamıştır.

2. HAVAALANI SİSTEMİ HAKKINDA TEMEL TANIMLAR

2.1. Havaalanı Sistemi ve Elemanları

Havaalanı; hava araçlarının kalkması, inmesi, bakımlarının yapılması, diğer ihtiyaçlarının karşılanması, yolcu ve yük alıp indirmesine ilişkin tesisleri bünyesinde barındıran denizde ya da havada konuşlandırılmış yerlerdir [35], [36]. Havaalanı sistemi, içerisinde her elemanın birbirinden yapısal olarak ayrı fakat birbirleri ile operasyonel olarak bağlantılı elemanlardan oluşmaktadır.

Havaalanları kullanım amacına göre, trafik hacmine göre, sahip oldukları fiziksel tesis ve donanımlara göre ulusal ve uluslararası havacılık otoritelerinin yaklaşımlarına göre sınıflara ayrılmaktadır. Bu sınıflandırmayı en genel haliyle sivil, genel havacılık ve askeri amaçlı uçuş faaliyetlerine hizmet veren havaalanları olarak incelemek mümkündür. Askeri havaalanları her türlü askeri uçuş operasyonuna (hava önleme, bombardıman, keşif vb.) hizmet verebilecek donanımda olan havaalanlarıdır. Sivil amaçlı havaalanları ise kargo taşımacılığı ve ticari yolcu taşımacılığı gerçekleştiren uçuş faaliyetlerine hizmet veren havaalanları olarak incelemek mümkündür. Genel havacılık amaçlı uçuş faaliyetlerine hizmet veren havaalanları askeri ve sivil amaçlı uçuş faaliyetlerinin dışında tüm ticari ya da ticari olmayan uçuş operasyonlarının düzenlendiği havaalanlarını içermektedir. Bu uçuş operasyonlarının içerisinde sportif ve hobi amaçlı uçuş faaliyetleri; şirket veya şahıs taşımacılığı; ticari ve endüstriyel amaçlı uçuş faaliyetleri ve uçuş eğitimi amaçlı uçuş faaliyetleri girmektedir.

Bir havaalanı genel olarak hava ve kara tarafı olmak üzere iki ana kısımdan oluşmaktadır. Bu kısımlar bir sonraki bölümde ayrıntılı olarak incelenecektir.

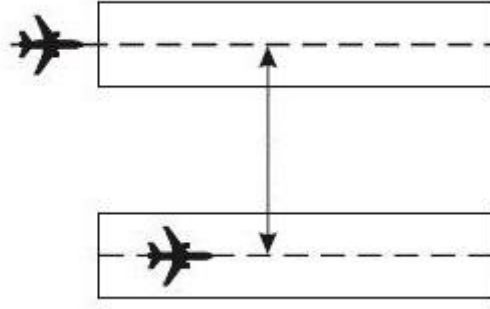
2.2. Kara Tarafı

Havaalanı kara tarafı, hava taşımacılığı hizmeti verilecek yolcu ya da kargonun havaalanına ulaşımından uçağa transferine kadar geçen sürecin gerçekleştiği alan ve tesisler olarak tanımlanabilir. Bu kısmı; havaalanı terminal binası ve terminal binası dışındaki alanlar olarak incelemek mümkündür [37]. Terminal binası dışında kalan alanlar olarak kara havaalanı bağlantı sistemleri (yeraltı treni sistemleri, servis hizmetleri, yerel otobüs hatları vb.) otoparklar olarak kabul edilebilir. Terminal binaları ise genel olarak yolcu ve kargo terminallerini kapsayan araba kiralama büroları, bankalar, alışveriş mağazaları, restoranlar, bagaj ve check-in işlemlerinin yapıldığı bankolar ve yolcu yükleme ve bekleme alanlarının bulunduğu kısımlardır. Havaalanı kara tarafı unsurları bu çalışmanın kapsamı dışında olup bu konudaki ayrıntılı bilgi ilgili kaynaklarda bulunabilir [38].

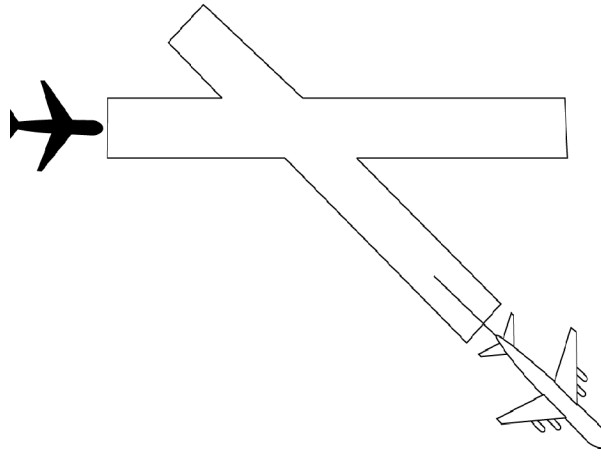
2.3. Hava Tarafı

Havaalanının hava tarafı elemanları, yolcu ve kargonun uçağa transferinden uçağın gideceği yere varmak üzere kalkış yaparak bulunduğu havaalanını terk edene kadar geçirdiği süreci kapsayan alanlardır. Bu alanlarda uçakların iniş kalkış operasyonlarını gerçekleştirdiği pistler, yer hareketlerini gerçekleştirdiği taksi yolları, uçakların park edip yolcu indirip bindirdiği ya da yük alıp verdiği alanlar olan apronlar ve uçakların bakım ve onarımlarının yapıldığı hangar binaları bulunmaktadır.

Pistler; uçakların iniş ve kalkışları için düzenlenmiş, havaalanı arazisi içindeki dikdörtgen alanlardır. Konfigürasyonlarına göre paralel (Şekil 2.1) ve kesişen (Şekil 2.2) olmak üzere ikiye ayrılır. Paralel pistler merkez hatlarının ve uzantılarının hiçbir şekilde kesişmediği pistlerdir. Kesişen pistlerde ise merkez hatları veya uzantıları kesişmektedir.



Şekil 2.1 Paralel Pist



Şekil 2.2 Kesişen Pist

Havaalanlarında pistlerin numaralandırması pist başının manyetik pusula yönüne göre iki haneli olarak yapılmaktadır. Örneğin pist başındaki uçağın pusulasında gördüğü değer 270° ise o pistin numaralandırılması 27 olarak yapılır. Pistin diğer tarafı ise 09 olarak adlandırılır. Paralel pistler ise aynı numara ile birlikte sağ(R) ve sol(L) belirtilerek adlandırılır. Örneğin sağdaki pist 27R, soldaki pist ise 27L olarak adlandırılır. Eğer paralel üç pist varsa ortadaki pist merkez(C) şeklinde (örneğin 27C olarak) adlandırılır [35].

Taksi yolu; bir havaalanında uçakların yerde pist ve apron gibi bölümler arasında gidip gelmeleri için düzenlenmiş standart ölçülerdeki yollardır. Apron; uçakların yolcu ve kargo indirme ve bindirme, yakıt alma, park etme ve bakımı amacıyla hazırlanmış alanlardır. Hangar ve bakım tesisleri; uçakların periyodik bakımlarının ve gerekli arıza tespit ve onarımlarının yapıldığı devlet kontrolündeki ya da özel şirketlerce işletilen büyük yapıli binalardır.

2.4. Havaalanlarında Hava Trafik Hizmetleri

Hava araçlarının emniyetli, verimli ve ekonomik uçuş operasyonları düzenleyebilmesi için verilen hizmetlerin tümü Hava Trafik Hizmetleri olarak adlandırılır. Hava trafik hizmetleri; Hava trafik kontrol hizmeti, uçuş bilgi hizmeti ve ikaz hizmetleri olarak üçe ayrılır. Hava trafik kontrol hizmeti ise kendi içinde üç kısma ayrılır (Şekil 2.3). Bunlar; meydan kontrol hizmeti, yaklaşma kontrol hizmeti ve saha kontrol hizmetidir.



Şekil 2.3. Hava Trafik Hizmetleri

Bir havaalanının manevra sahası üzerindeki ve havaalanı civarında uçan bütün hava araçları meydan trafiği olarak adlandırılır. Meydan kontrol hizmeti ise meydan trafiklerine emniyetli, düzenli ve verimli operasyon düzenleyebilmesi için verilen hava trafik hizmetidir. Meydan kontrol hizmeti, meydan kontrol kuleleri tarafından verilmektedir. Uluslararası Sivil Havacılık Organizasyonu tarafından yayınlanan Ek 11'e göre meydan kontrol kulesi, meydan trafiğine hava trafik kontrol hizmeti sağlamak için tesis edilmiş bir ünite olarak tanımlanmıştır.

Yaklaşma kontrol hizmeti, meydan kontrol kulesi tarafından devredilen kontrollü kalkış uçuşlarına, saha kontrol merkezi tarafından devredilen kontrollü incek uçuşlara verilen hava trafik kontrol hizmetidir. Yaklaşma kontrol hizmeti, yaklaşma kontrol ofisleri tarafından verilmektedir. Yaklaşma kontrol hizmetinin işlevlerini meydan kontrol hizmeti ya da saha kontrol hizmetinin işlevleri ile tek bir ünitenin sorumluluğunda birleştirmek gerektiğinde veya arzu edildiğinde, bu hizmet meydan kontrol kulesi veya saha kontrol merkezi tarafından verilebilir [39].

Saha kontrol hizmeti, yaklaşma kontrol merkezleri tarafından devredilen seyrüseferini kontrol sahaları içerisinde kontrollü bir şekilde gerçekleştirecek hava araçlarına verilen hava trafik kontrol hizmetidir. Saha kontrol merkezi (ACC); kontrol sahaları içerisinde kendi sorumluluğu altında bulunan kontrollü uçuşlara hava trafik kontrol hizmeti sağlamak için tesis edilen ünedir [39].

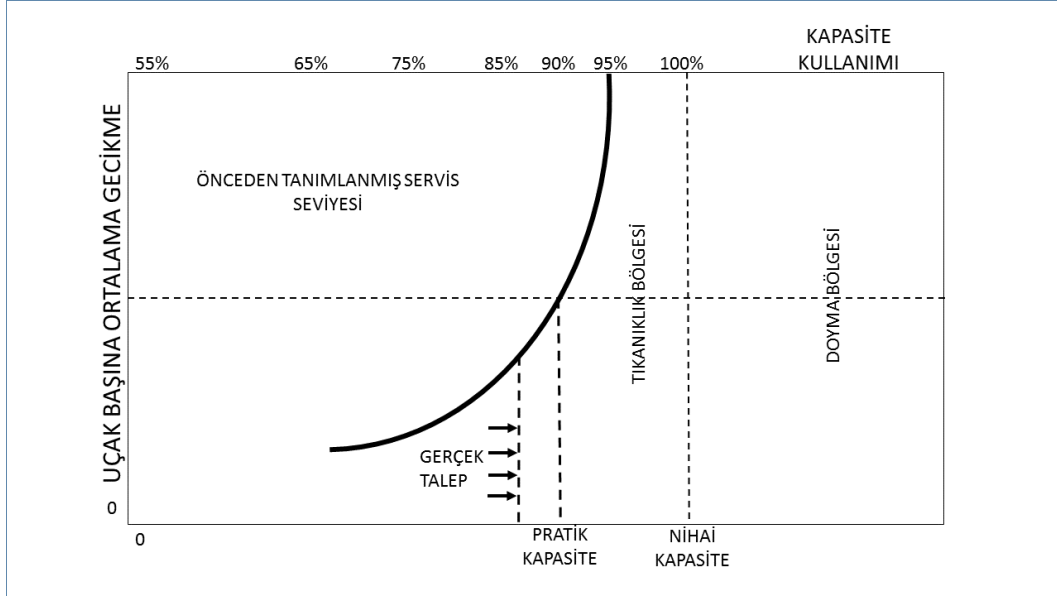
Meydan kontrol hizmeti de kendi içinde görev pozisyonlarına ayrılmaktadır. Uçakların pistteki operasyonlardan sorumlu “tower”, yer manevralarından sorumlu “ground”, motor çalıştırma müsadresi ile kalkacak uçaklara kalkış rotası ve yolunu içeren izinleri veren “delivery” pozisyonlarıdır.

2.5. Havaalarında Kapasite, Gecikme ve Operasyonlar

Kapasite bir üretim sisteminde belirli bir zamanda yapılan üretim miktarı ya da üretim oranıdır. Kapasite aynı zamanda birim zamanda elde edilen çıktı olarak da ifade edilebilir. Hava trafik hizmeti de hizmet üretimi olarak sınıflandırılabilir. Hava trafik kontrol sisteminin veya kendisinin herhangi bir alt sisteminin, faaliyet esnasında uçaklara hizmet verebilmesi yeteneği sistem kapasitesi olarak tanımlanabilir [38].

Kapasiteyi teorik, pratik, fiili, atıl ve kapasite kullanım oranı olarak beş ölçüt altında inceleyebiliriz. Pratik kapasite; tam kapasite kaçınılması imkânsız olan, zaman kayıpları ve boş zamanlar çıkarıldıktan sonra bulunan kapasite miktarıdır. Teorik kapasite; bir sistemin hiçbir problem ve gecikme olmadan üretebileceği maksimum ürün ya da hizmet miktarıdır. Fiili kapasite; belirli bir üretim planı dönemi içinde ortaya konulan ürün veya hizmet miktarını gösterir. Atıl kapasite; pratik kapasite ile fiili kapasite arasındaki farka denir. Kapasite kullanım oranı ise bir işletmede normal kapasiteden yararlanabilme oranını gösterir.

Havacılıkta gecikme, uçakların uçuş planlarında belirtilen zamanlarda belirtilen noktalarda bulunamaması ya da belirlenen zamanda iniş ve kalkışını gerçekleştirememesidir. Gecikme ile kapasite arasındaki ilişki Şekil 2.4’te verilmiştir.



Şekil 2.4. Talep kapasite eğrisi [40]

2.6. Havaalanı Elemanlarının Kapasitesi

Hava trafik sisteminin kapasitesinden söz edebilmemiz için sistem kapasitesini sınırlandıran elemanların olması gerekmektedir. Çünkü hava trafik sisteminin kapasitesini, sistem elemanlarından kapasitesi en düşük olan belirlemektedir. Bu yüzden sistem elemanlarının kapasiteleri irdelenmesi gerekmektedir. Havaalanında hava trafik hizmetinin kapasitesini kısıtlayan fiziksel faktörler pist, apron, taksi yolları, park pozisyonlarıdır. Bu çalışmada dâhilinde pist, apron ve taksi yolları (PAT sahaları) ile park pozisyonlarının kapasiteleri ayrı ayrı incelenecektir.

Söz konusu fiziksel faktörlerin yanında havaalanı sistem kapasitesini etkileyen bir diğer önemli faktör ise hizmet verilen uçakların arasındaki performans farklılıklarıdır. Uçak performans farklılıkları havalimanı kapasitesini etkileyen en önemli faktörler arasında gelir. Performans farklılıkları; yaklaşma hızı, pist kullanım süreleri ve kuyruk türbülansı ayırmalarını değiştirmektedir.

Kuyruk türbülansı ayırmaları ICAO'nun yapmış olduğu uçak kategorilerine göre değişmektedir. Bu kategoriler hafif (Light), orta, (medium) ve ağır (heavy) olmak üzere maksimum kalkış ağırlıklarına göre 3'e ayrılmaktadır (Çizelge 2.1). Light kategori uçakları ağırlığı 7000kg'a kadar olan, medium kategori uçaklar 136000kg'a kadar olan, heavy kategori uçaklar ise 136000 kg'dan

fazla olan uçaklardır. Uçakların heavy, medium ya da light kategoriye ayrılmış olmaları kuyruk türbülansı ayırmalarının yanında uçakların yaklaşma ve iniş ve kalkış esnasındaki minimum emniyetli hız limitlerini de etkilemektedir. Uçağın ağırlığı arttıkça genel olarak havada minimum tutunma ve yaklaşma hızları da artış göstermektedir.

Çizelge 2.1. Uçak Kategori Sınıflandırması

<i>Kategori</i>	<i>Tanım</i>	<i>Örnek</i>
<i>Hafif (light)</i>	Kütlesi 7000 kg'a kadar olan uçaklar	Cessna C-172, Trinidad TB-20 vb.
<i>Orta (medium)</i>	Kütlesi 136000 kg'a kadar olan uçaklar	Boeing 737, 727, 777 ve 747, Airbus 306, 310, 319, 320, 321 ve 333 vb.
<i>Ağır (heavy)</i>	Kütlesi 136000 kg'dan fazla olan uçaklar	Boeing 767, 777 ve 747, Airbus 306, 310, 333 ve 343 vb.

Havaalanı sistem kapasitesini etkileyen diğer faktörler arasında meteorolojik şartlar, seyrüsefer sistemleri, insan faktörleri, hizmet verilen uçakların performans farklılıkları, hizmet verilen uçuş operasyon tipi (VFR, IFR) de dahil edilebilir. Söz konusu bu faktörlerin havaalanı sistemine etkileri ilgili kaynaklarda detaylı olarak açıklanmıştır [38].

2.7. Pist, Apron ve Taksiyolları (PAT) Sistemlerinin Kapasitesi

Havaalanının hava tarafı olarak da bilinen Pist, Apron, Taksi yolları yani PAT sahalarının kapasiteleri ayrı ayrı ele alınması gerektiği gibi, bir bütün olarak da değerlendirilmesi gerekmektedir.

Teorikte pist kapasiteleri, belirli zaman içerisinde düzenlenebilen maksimum iniş ve kalkış operasyonu sayısıdır. Pratik pist kapasitesi ise o pistte iniş ya da kalkış yapacak operasyon sayılarının hızlı ya da gerçek zamanlı simülasyon ortamlarında elde edilebilecek kapasite değerleridir. Fiili olarak bu kapasite ise muhtemel gecikmelerin yaşandığı gerçek iniş ve kalkış operasyonların yapılabileceği maksimum değer olarak kabul edilebilir.

Apron bölgesi; havaalanlarda uçakların park yapabildikleri aynı zamanda yolcu indirip bindirebildikleri yerler, yer hizmetleri adını verdiğimiz uçak bakım hizmetlerinin yapıldığı hangarlardır. Apron kapasitesi, apron bölgesinde hizmet verilebilecek maksimum uçak sayısını belirtmektedir.

Taksi yolları, havaalanında uçakların pist ya da pistlerden apron bölgesine veya apron bölgesinden pistlere varmak için kullandıkları yollardır. Aynı zamanda apron sahaları içerisinde yer hareketlerini yaptıkları yollar da taksi yollarıdır. Taksi yolları kapasitesi bir taksi yolunda birim zamanda taksi yapabilecek uçak sayısıdır.

2.8. Uçak park yerleri kapasitesi

Uçak park yerleri, uçakların kısa süreli ya da uzun süreli apron bölgesinde bekleme yapabildikleri özel alanlardır. Park yerleri açık park yeri ve körüklü park yeri olarak ikiye ayrılır. Körüklü park yerleri, uçakların çıkışının körük adını verdiğimiz mekanizmalarla terminal binasına direk bağlandığı park yerleridir (Şekil 2.5). Açık park pozisyonları ise terminal binası ile herhangi bir bağlantısı olmayan park yerleri olarak sınıflandırabiliriz (Şekil 2.6). Park yeri kapasitesi ise bir park yerine 24 saatlik zaman dilimi içerisinde uçakların yolcu indirip bindirme zamanlarının en kısa olduğu durumlarda o park yerine park edip terk edecek operasyonların tümü olarak adlandırılabilir.



Şekil 2.5 Körüklü Park Yerleri



Şekil 2.6 Açık Park Yerle

2.9. PAT Sahalarındaki Operasyonlar

Havaalanlarında pist, apron ve taksi yolları, uçakların taksileri, iniş ve kalkışları, push back ve çekme operasyonlarının yapıldığı yerlerdir. Pistler özel asfalt değerleri ile oluşturulmuş uçakların iniş ve kalkışlarını yaptıkları düz yollardır. Taksi yolları ise uçakların pistlerden park yerlerine, park yerlerinden pistlere, apron bölgesinden hangar bölgesine veya hangarlardan apron bölgesine gidebilmek için yer manevralarını yaptıkları yollardır. Aynı zamanda bu yolları yer hizmetlerinin araçları da hava trafik kontrol ünitesinin izinleri dâhilinde taksi yollarını kullanabilmektedir. Uçakların bu özel yollarda yaptıkları manevralara taksi adı verilir. Taksi hareketlerini gerçekleştirebilmek için yine ilgili hava trafik kontrol biriminden izinler alınır. Apron bölgeleri ise uçakların konma konaklamalarını yaptıkları, yolcu ve kargolarını indirip bindirdikleri, yer hizmetlerini aldıkları, bakım hizmetlerini aldıkları özel alanlardır [37], [38].

Havaalanlarında yapılan operasyonlar için kayıtları tutulan özel tanımlanmış süreler bulunmaktadır. Bu süreler; pist işgaliyet süresi (Runway Occupancy), taksi iniş (Taxi-in) ve taksi kalkış (Taksi-out) süreleri ve turnaround süreleridir.

Pist işgaliyet süresi iniş ve kalkış pist işgaliyet süreleri olarak ikiye ayrılır. Kalkan uçakların piste girişlerinden kalkışını gerçekleştirdikten sonra pist eşiğini veya pist merkez hattını terk edene kadar geçirdikleri sürelere kalkış pist işgaliyet süresi denir. İnen uçakların ise pist eşiğine girişlerinden pisti tümüyle terk ederek taksi yollarına girene kadar geçirdikleri sürelere de iniş pist işgaliyet süresi denir.

Taksi iniş süreleri; inen uçakların pisti terk etmelerinden park pozisyonuna varana kadar geçirdikleri sürelerdir. Bu sürelerin içinde uçakların taksi yollarındaki bekleme süreleri de dâhildir. Taksi kalkış süreleri ise uçakların push back'ini tamamladıktan sonra pist başına ulaşana kadar taksi yollarında geçirdikleri sürelerin toplamıdır.

Turnaround süresi; bir uçağın park pozisyonuna girişinden o park pozisyonunu terk edene kadar park yerinde geçirdikleri sürelerin toplamıdır. Turnaround sürecinde uçak için yapılan çeşitli görevler vardır. Bunlar sırasıyla; uçağın parka ve emniyete alınması; yolcu nakil köprülerinin (körüklerinin) veya merdiven araçlarının bağlanması; uçaktaki yolcuların ve bagajın tahliye edilmesi;

mürettebat değişimi; uçağın temizlenmesi; yiyecek, içeceklerin, içilecek suyun ve yakıtın uçağa ikmali; tuvaletlerin temizlenmesi; uçağın teknik kontrolü; yolcuların ve bagajlarının uçağa alınması; yolcu nakil koprülerinin veya merdiven araçlarının uçakla olan bağlantısının kesilmesidir. Bu surenin değişkenliği uçağın yolcu miktarına, uçak tipine, murettebat sayısına uçağın körüklü park yerine veya açık park pozisyonuna yanaşmasına bağlı olarak değişmektedir.

2.10. Mevcut Durumda Park Yeri Tahsisi

Büyük lekli havalimanlarında park pozisyonlarının tahsisi RAMP kule yetkilileri, terminal planlamacıları ve park yeri yöneticileri tarafından yapılmaktadır [41]. Trafik yoğunluğu daha az olan küçük ölçekli havalimanlarında ise RAMP kule organizasyonuna ihtiyaç duyulmamaktadır. Bunun yerine park yeri tahsisi sureci meydan kontrol klesinde görevli yer kontrolörleri ve havaalanı terminal yöneticileri tarafından yapılmaktadır [41]. Genel olarak RAMP kule bünyesinde terminal işleticisi ve seyrüsefer hizmet sağlayıcısının ilgili personeli koordineli bir şekilde park yeri tahsisi surecini yürütürler. RAMP kule çalışanları öncelikle hava yolu şirketlerinin yıllık taleplerini toplamakta daha sonra da her ay bu talepleri teyit etmektedir. Bu gelen taleplerin günlük, haftalık ve aylık planları belirli bir planlama izelgesi dâhilinde yapılmaktadır (şekil 2.7).

Gate / Time	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	1:00	2:00	3:00
GATE 1	UA 192		UA 2401		AA 4339		UA 33	
GATE 2		UA 206		AA 4513		AA 4947		UA 644
GATE 3		DL 775					DL 511	

şekil 2.7 Havaalanı park yeri planlamasında kullanılan Gantt izelgesi [41]

Gantt izelgesi olarak da adlandırılan bu çizelgede uçakların hangi saatte havalimanında olacağı, hangi park pozisyonuna park edeceği, park yerini planlanmış park yeri terk ediş zamanı gibi bilgiler manuel olarak kullanıcı tarafından tanımlanmaktadır. Çizelge hazırlanması esnasında o park yerine gelecek

bir sonraki uçağın planlanması yapılırken iki uçağa servis süreleri arasında belirli bir tampon bölge zaman bırakılmaktadır. Bu tampon zaman uygulaması ile uçakların yaşayacakları olası muhtemel kısa süreli gecikmelerin etkisi en aza indirilmektedir. Bunun yanında park yerine tanımlanacak uçağın tipine göre park yerinin uygun olması gerekmektedir.

Bu çizelgelerde uçakların iniş ya da kalkış zamanlarında bir değişiklik olması durumunda bu değişiklikler RAMP kule yetkilileri tarafından düzenlenmektedir. Bir başka deyişle bir uçağın iniş zamanında 30 dakikadan fazla bir değişiklik olması durumunda o uçağa tekrardan park yeri tahsisi yapılması ya da o park yerine sonraki gelecek uçakların park yerlerinde değişiklik yapılması gerekmektedir. Bu süreç içinde en sık karşılaşılan problem, o park yerinden daha sonraki saatlerde hizmet alacak uçakların park yeri tahsislerinde zincirleme değişiminin gerekmesidir. Park yerlerinin değiştirilmesi ise olası çakışma problemlerinin yanısıra yer hizmetlerinin tekrardan konuşlandırılmasına neden olmaktadır. Park yerlerinin değiştirilmesi aynı zamanda müşteri memnuniyetini de azaltmaktadır. Terminal binasındaki yürüyüş mesafelerinin artması aynı zamanda terminal binası içinde yolcu yoğunluğunun ve yolcu akış karşılaşmalarının fazlaşmasına neden olmaktadır.

3. MODELİN KURULUMU

3.1. Alternatif Yöntem

Büyük ölçekli havalimanlarında mevcut park yeri tahsis mekanizmalarının iyileştirilmesine yönelik çeşitli yöntemler bulunmaktadır. Bu yöntemlerin başında hibrit yöntemler gelmektedir. Hibrit yöntemler yıllık uçuş verileri üzerinden oluşturulmaktadır. Yani uçakların yıl içindeki ortalama gecikmeleri, park yerlerini ortalama işgaliyet süreleri, yolcuların terminal binasında yürüme mesafeleri ve yolcuların memnuniyetini göz önünde bulundurularak park yeri tahsisi mekanizması oluşturulmaktadır.

Hibrit park yeri tahsisinde yıllık ortalama veriler göz önünde bulundurulduğu için park yeri tahsisinde yoğunlukla büyük kapasite kayıpları ile karşılaşmaktadır. Çünkü park yerlerinin günlük kapasiteleri uçakların park yerlerini işgal süreleri göz önünde bulundurularak çıkarılmaktadır. Hibrit park yeri tahsisi sürecinde ise park yerlerini işgal sürelerine ek olarak bir de ortalama gecikmeler ve yolcuların yürüyüş mesafelerini göz önünde bulundurmaya gerekmektedir. Bu etken yüzünden kapasite kullanımı kısıtlanmaktadır. Uçakların park yerlerinde aldıkları toplam hizmet süresini kapsayan “turnaround” sürecinde yaşanan uçaktaki yolcu ve bagajların tahliye edilmesi ve yeni yolcuların uçağa alınması sırasında yaşanan gecikmeler park yeri işgaliyet süresini artırmaktadır. Bu da park yeri tahsisi planlamasının yeniden yapılmasına neden olmaktadır.

Bu tür sorunların yaşanmaması için hibrit sistemlerin dinamik bir yapıya sahip olması gerekmektedir. Mevcut hibrit sistemlerde sadece uçakların uzun dönemli tahmini iniş ve gidiş zamanları göz önünde bulundurulmaktadır. Bu nedenle uçakların uçuş esnasında yaşanan gecikmeler planlamada hesaba katılmamaktadır. Bu da gecikme yaşayan bir uçağın havaalanının pik saatlerinde zincirleme park yeri tahsisi problemi ortaya çıkartmaktadır. Uçakların kalkışından önceki yaşadıkları gecikmeler varacağı meydana gelen yetkililere bildirildiğinde tekrardan park yeri planlamasına gidilmesi gerekmektedir. Özellikle uzun mesafe uçuşu gerçekleştiren uçakların kalkışından sonra yaşadıkları gecikmeler havaalanına olan varış süresine az bir zaman kalmasının da etkisiyle RAMP kule

yetkililerinin yoğun mesai harcamalarına neden olmaktadır. Bu şekilde çalışmalarının sonucu olarak insan kaynaklı hatalarla karşılaşmaktadır.

Önerilen hibrit dinamik sistemde ise uçağa park yeri tahsisini uçağın terminal hava sahasına (TMA) girmesi ile atama yapılmaktadır. Uçakların TMA'ya girişlerinin belirlenmesi şu anda kullanılan ikincil gözetim radarlarından (SSR) alınan mode S bilgisi ile yapılabilmektedir. Bu bilginin içeriğinde uçakların hangi havayolu şirketine ait olduğu, hangi uçak tipinde olduğu gibi bilgilere de ulaşılabilmektedir. Bunun yanısıra CPDLC ve FMS gibi data link altyapısını kullanan sistemlerle de uçakların bu bilgilerine ulaşılabilmektedir. Bu yöntem ile hibrit sistemin getirdiği avantajlara ek olarak uçuş döngüsü içerisindeki uçağın yaşadığı gecikmelerin etkilerini de minimuma indirilmesi sağlanmaktadır. Bu çalışmada hibrit dinamik sistemin sonuçlarının neler olduğunu incelenecektir.

3.2. Kabuller

Önerilen modele sadece hava tarafı elemanları üzerindeki kısıtlayıcılar dâhil edilmiş, kara tarafındaki yolcu yürüme mesafesi, yolcu memnuniyeti vb. kısıtlayıcılar göz ardı edilmiştir. Bunun nedeni çalışmanın esas amacının hibrit dinamik yöntemin hava tarafına etkisinin incelenmesidir. Fakat daha sonraki kara tarafı ihtiyaçları da modele birer geliştirme olarak eklenip sonuçlar incelenebilir.

Oluşturulan model ile hava tarafına ilişkin operasyonel kısıtlayıcıların mümkün mertebe gerçek operasyon ortamını temsil edilmesine çalışılmıştır. Havaalanında hava trafik hizmetinin kapasitesini kısıtlayan pist, apron, taksi yolları, park pozisyonları, hizmet verilen uçakların performans farklılıkları ve hizmet verilen uçuş operasyon tipi gibi faktörler modele dâhil edilmiştir. Bu faktörlerin oluşturduğu büyük çaplı problemlerin park yeri tahsisi planlamasını zorlaştırmaktadır. Önerilen modelin getirdiği yenilik ise park yeri ve taksi yolu tahsislerinin mevcut yöntemler yerine hibrit dinamik bir algoritma ile yapılmasıdır.

Modeldeki operasyonel kısıtlayıcılara ek olarak bir dizi ek kabulde bulunulmuştur. Bu ek kabuller uygulanması olası kabuller olup herhangi bir kısıtlamayı bünyesinde barındırmamaktadır. Bu kabuller;

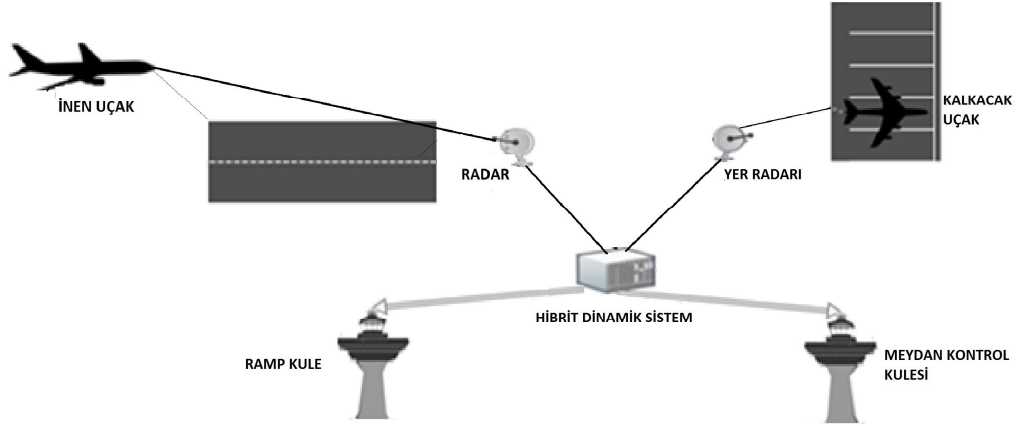
- Uçakların radar ekranındaki 15 NM'lik son yaklaşma eşik bölgesine giriş zamanı RAMP kule yetkililerine ulaşabilmektedir.

Böylelikle uçakların park yeri tahsisleri inişlerinden, ortalama 15 dakika öncesinde yapılabilmektedir.

- Hava trafik kontrol kulesindeki yer kontrol pozisyonu iniş ve kalkış uçakları için taksi yolu atamasına ilişkin bilgilere erişimi özel bir veri hattı üzerinden sağlanabilmektedir.
- Aynı bilgiler RAMP kule yetkililerine de veri hattı yoluyla ulaştırılabilmektedir.

Bu kabuller mevcut park yeri tahsisi sürecinde bulunmayan ancak bu çalışmadaki algoritmaya da temel oluşturan kabullerdir.

Bu modelde, yer radar ekranından takibi yapılan kalkış uçaklarının park yerlerini terk ediş süreleri göz önünde bulundurularak yaklaşma radar ekranında belirli bölgede beliren uçaklara park yeri ve taksi yolu tahsisi yapılır (Şekil 3.2). Daha sonra bu tahsis bilgisi ilgili birimlere (RAMP ve Meydan kontrol kulesi)gönderilir.



Şekil 3.1 Hibrit dinamik park ve taksi yolu ataması modeli

Havaalanı emercensi (acil) durumları bu çalışmanın kapsamı dışındadır. Fakat oluşturulan modelde, havaalanı sisteminde yaşanacak emercensi durumlarında park yeri tahsisi sürecini ya da taksi yolu ataması sürecini etkileyecek olayların etkileri en aza indirilmiştir. Bu durum algoritmanın alt başlıklarında detaylı bir şekilde anlatılmıştır.

3.3. Modelin Tasarlanması

Önerilen modelin algoritması yukarıda belirlenen kabuller üzerine kurulmuştur. Bu kabuller ilgili algoritmanın alt yapısını oluşturmanın yanısıra algoritmaya işleyişi hakkında yön vermektedir. Modelimizde özellikle mevcut durumun fiziki şartlarını sağlayarak hali hazırda kullanılan park yeri tahsisi modeline alternatif bir çözümlerle karar vermede insan faktörlerinin etkisini minimuma indirilmesi hedeflenmektedir. Bu yüzden alternatif modeldeki park yeri tahsisi süreci başından sonuna kadar tamamen otomasyon sistemine dayandırılmıştır.

Modelin algoritması iki aşamalı bir atama sürecine dayanmaktadır. Birinci aşama iniş uçakları için park yeri atama sürecini içerirken, ikinci aşamada incek ve kalkacak uçaklara uygun taksi yolu atama sürecini içermektedir. Her iki süreç de algoritma tarafından birbirleri ile bağlantılı şekilde eş zamanlı olarak kontrol edilerek gerektiğinde atamaların tekrardan yapılması sağlanmaktadır. Algoritma girdi olarak bir dizi veri tabanını kullanmaktadır. Bu veri tabanları; park yerindeki uçakların motor çalıştırma zamanlarını, uçakların taksi yer hızı bilgilerini, park yeri tahsisi yapılacak uçağın operasyon zamanındaki taksi yollarının durumunu, RAMP kule tarafından belirlenmiş park yerlerinin fiziksel şartlarındaki uygunluk durumunu içermektedir. Park yerindeki uçakların motor çalıştırma zamanları havayolu şirketlerinin kalkışa hazır olma zamanları göz önünde bulundurularak FIC (Flight Information Center, Uçuş Bilgi Merkezi) tarafından belirlenmektedir. Uçakların yaklaşma ve taksi hızı bilgileri için BADA veri tabanı kullanılmıştır [42]. Buna bağlı olarak algoritma modelinde taksi yapan uçaklara da yer hızı tahditi uygulanmaktadır. Uçağın meydana operasyon zamanında taksi yollarının durumu algoritma içerisindeki veritabanından sağlanmaktadır.

Modeldeki park yeri ve taksi yolu tahsis sürecinde bir dizi karar kriterine başvurulmuştur. Bu kriterlerin ilki planlaması yapılacak olan uçağın havalimanında talep ettiği konaklama süresidir. Körüklü park yerlerinin tahsisinde mümkün olduğunca kısa süreli konaklamalara öncelik verilirken, açık park pozisyonları ise daha uzun süreli konaklamalar için tahsis edilmektedir.

Planlamadaki ikinci karar kriteri ise park yeri tahsisi yapılacak uçağın tipi ile park yerinin fiziksel koşullarının uyumluluğu ve havayolu şirketlerinin park yeri

talepleridir. Modelde park yerlerinin mevcut fiziki durumları üzerinden park yeri tahsisi planlaması yapılmaktadır. Bu fiziki şartlar terminallerin durumu (iç hat, dış hat), körükler arasındaki mesafelerin hangi uçak tiplerine uygun olduğu bilgisidir. Havayolu şirketinin talepleri ise o anki operasyona özel isteklerdir. Bu taleplere örnek olarak; körüklü ya da açık park pozisyonunun tercihi, hangara ya da teknik bloğa gitme talepleri ve şirketlerin belirli noktalardaki park yeri talepleri gösterilebilir. Havayolu şirketlerinin açık ya da körüklü park yerini talep etmelerindeki en büyük neden finansal sebeplerdir. Çünkü körüklü park yerine park etmenin de körüğü işleten firmalar tarafından belirlenmiş bir saat ücreti bulunmaktadır. Bu saatlik ücret havayolu şirketlerinin kendi çıkarları doğrultusunda açık park pozisyonu veya körüklü park pozisyonunun tercihi durumlarda önemli rol oynamaktadır. Bu körüklerin saatlik ücretlerinin dışında havayolu şirketlerinin lounge (yolcu hizmet bölgesi)'lerinin konumu da park yeri taleplerinde büyük rol oynamaktadır.

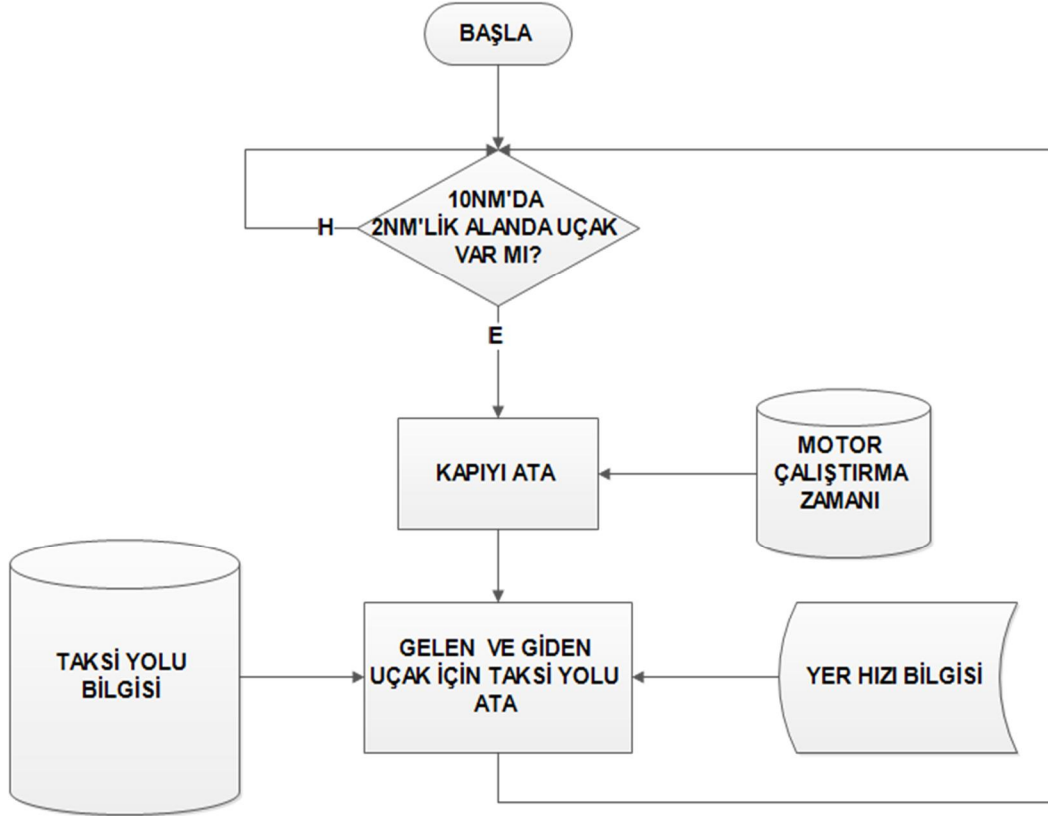
Üçüncü kriter ise kullanılan piste en yakın ve uygun mesafedeki park yerinin seçilmesidir. Bu kriter bünyesinde birçok disiplini barındırmaktadır. Öncelikle matematiksel hesaplamanın bulunduğu bu kabulümüzde bir de karşılaştırmalı analiz yapılmaktadır. Matematiksel hesaplamada uçağın hangi zamanda hangi noktada bulunacağı hesaplanırken, karşılaştırmalı analiz ile de en yakın noktadaki park yerinin uygunluğu bulunmaktadır. Karşılaştırmalı analiz aşamasında; uçağın tipi, park yerinin hangi uçak tiplerine uygun olduğu, konaklama sürelerine bağlı kalarak planlanacak park yerinin o zaman dilimindeki uygunluğu, yer hizmetlerinin park yerine ulaşım süreleri gibi kısıtlayıcılar göz önünde bulundurulmaktadır.

Planlamanın dördüncü kriterinde ise seçilecek park yerine gidilebilecek en uygun taksi yolunun belirlenmesidir. Bu taksi yolu belirlendiğinde bölgede herhangi bir yapısal faaliyetin olup olmadığı, herhangi bir acil durum müdahalesinin olup olmadığı ve herhangi bir uçakla o taksi yolu üzerinde karşılaşma yaşayıp yaşamayacağı konusunda kontroller yapılmaktadır. Bu kontroller neticesinde belirlenen taksi yolu uçağın o park yerine ulaşabileceği mesafe ve süre açısından en kısa yol olacaktır.

Algoritmanın kullandığı son karar kriteri ise yer hizmetleri ekibinin o park yerine ulaşma süreleridir. Yer hizmetleri şirketlerinin (Yakıt, catering, yolcu nakil merdiveni vb) tesisleri havalimanında belirli noktalarda konuşlanmışlardır. Bu konuşlandıkları noktalardan tahsis edilen park yerine ulaşım süreleri 15 dakikanın üzerinde olabilir. O zaman bu tesislere yakın noktalardaki park yerlerine tahsis yapılması gerekliliği doğmaktadır. Algoritma şayet diğer kriterlere uygun birden fazla park yeri seçeneği olması durumunda bu son kriteri göz önüne almaktadır.

3.4. Genel Algoritma

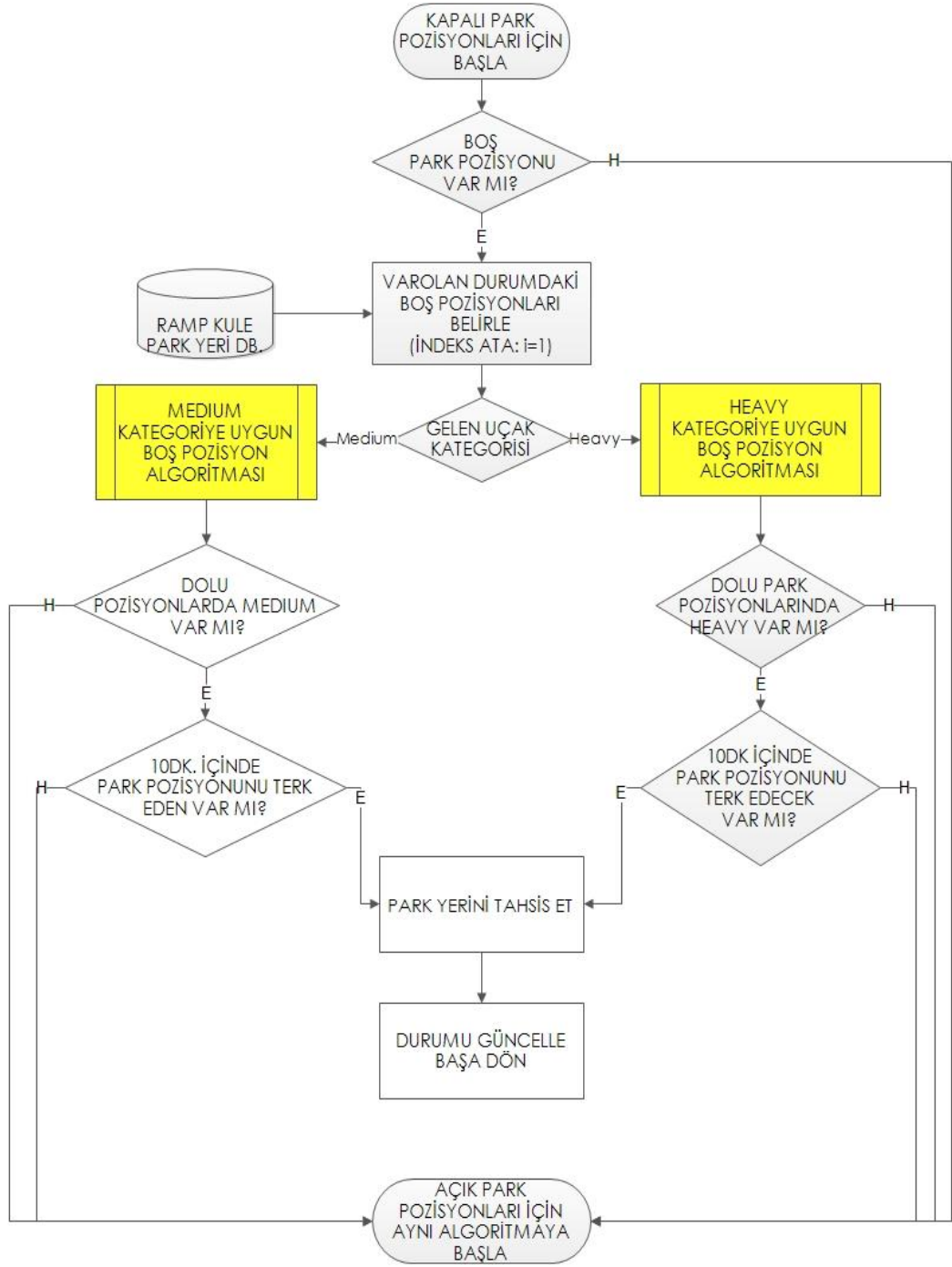
Genel atama algoritmasının işleyişi Şekil 3.3'te verilmiştir. Algoritmada öncelikle son yaklaşma 10 NM'deki 2 NM'lik yarıçaplı alan içinde herhangi bir uçak olup olmadığını kontrol eder. Şayet bu alan içerisinde uçak tespit edilirse algoritma atama sürecini başlatır. Herhangi bir uçak tespit edilmezse algoritma hazır durumda beklemeye devam eder. Son yaklaşma 10 NM'de beliren uçak var ise kalkacak uçakların motor çalıştırma zamanları göz önünde bulundurularak Bölüm 3.4'te belirtilen kriterler dâhilinde "Kapı Atama" süreci tamamlanır. Kapı ataması yapıldıktan sonra o park pozisyonunda işlem yapan uçakların "Taksi Yolunun Ataması" yapılır. Bu taksi yolunun ataması aşamasında taksi yolunun belirlenen zamanda müsait olması durumu ve BADA verilerinden alınan yer hızı bilgisi girdi olarak kullanılıp izlenecek uygun taksi yolu seçilir.



Şekil 3.2 Genel park yeri ve taksi yolu atama algoritması

3.5. Park Yeri Tahsisi Süreci

Bu aşamada öncelikle havayolu şirketinin talebi önem arz etmektedir. Şayet havayolu şirketi öncelikli olarak açık park pozisyonu talep etmişse park yeri tahsisi süreci Bölüm 3.6.2’de tarif edilen açık park pozisyonu tahsis süreci ile başlar. Aksi halde algoritma “Körüklü Park Pozisyonu Tahsis” sürecini başlatır (Şekil 3.4).



Şekil 3.3 Park yeri tahsisi algoritması

3.5.1. Körüklü Park Pozisyonu Tahsisi Süreci

Körüklü park yeri talep eden uçak için öncelikle uygun park yerinin olup olmadığı kontrol edilir. Eğer körüklü park yeri mevcut değilse açık park pozisyonu aranması aşamasına geçilir. Körüklü park yerinin mevcutsa, RAMP kulenin belirlediği park yeri kısıtlamaları göz önünde bulundurularak var olan boş park yerleri belirlenir ve belirlenen park yerlerine 1'den başlayan öncelik indeksi atanır. Sonra park yeri tahsisi yapılacak uçağın kategorisi kontrol edilir.

Uçak medium kategori ise indeks atanmış park yerlerinden bu kategoriye uygun olanlar belirlenir. Bu belirleme işlemi sırasında boş olan körüklü park yeri var ise uçağa tahsis edilir. Eğer boş körüklü park yeri yoksa dolu olan körüklü park yerlerinde medium kategori uçak olup olmadığı kontrol edilir. Eğer yoksa açık park pozisyonu aramaya geçilir. Dolu olan körüklü park yerlerinde medium kategori uçakların olduğu yerler var ise bu uçakların içinde 10 dakika içinde park yerini terk edecek var olup olmadığı kontrol edilir. Eğer yok ise açık park pozisyonu aramaya devam edilir. Eğer 10 dakika içinde körüklü park yerini terk edecek uçak var ise bu park pozisyonu gelecek uçağa tahsis edilir.

Uçak heavy kategori ise indeksler içinden heavy kategoriye ve uçak tipine uygun park yerlerinin olup olmadığı kontrol edilir. Eğer boş park pozisyonu var ise bu körüklü park yeri uçağa tahsis edilir. Eğer boş park yeri yoksa park etmiş uçaklar arasında heavy kategori uçak var mı bu kontrol edilir. Park etmiş uçaklar arasında heavy kategori uçak yok ise açık park pozisyonları kontrol edilir. Eğer dolu olan körüklü park pozisyonlarında heavy kategori uçak var ise 10 dakika içinde park yerini terk edecek uçak var mı kontrol edilir. Eğer yok ise tekrardan açık park pozisyonlarını aramaya geçilir. Körüklü park pozisyonunda bulunan heavy kategori uçaklar arasında 10 dakika içinde körüklü park yerini terk edecek uçak var ise bu park pozisyonu uçağa tahsis edilir.

3.5.2. Açık Park Pozisyonu Tahsisi Süreci

Açık park pozisyonuna tahsis yapılacak uçak için de öncelikle uygun park yerinin olup olmadığı kontrol edilir. Bu kontrol işlemi sırasında boş olan körüklü park yeri var ise uçağa tahsis edilir. Eğer açık park yeri mevcut değilse açık park pozisyonu ya da körüklü park pozisyonları için beklemede kalınır. Açık park

yerinin mevcut olduğunu düşünürsek, RAMP kulenin belirlediği park yeri kısıtlamaları göz önünde bulundurarak var olan boş park yerleri belirlenir ve belirlenen park yerlerine 1'den başlayarak indeks atanır. Park yeri tahsisi yapılacak uçağın kategorisine bakılır.

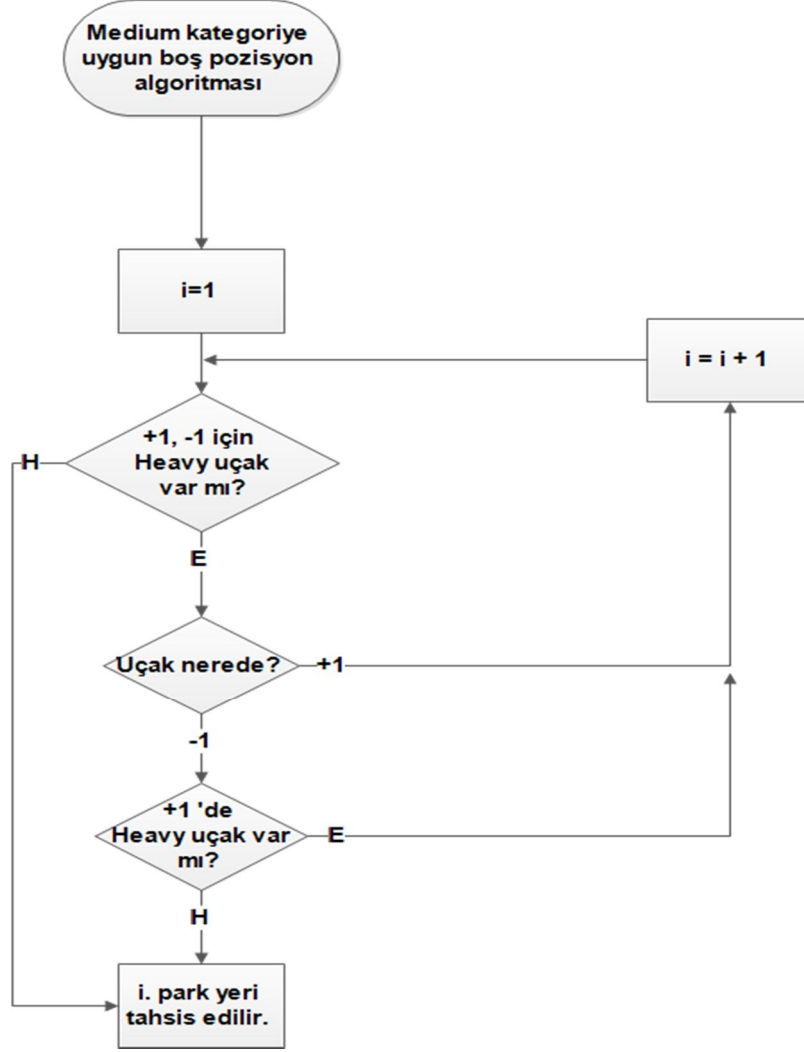
Uçak medium kategori ise indeks atanmış park yerlerinden bu kategoriye uygun olanlar belirlenir. Bu belirleme işlemi eğer boş körüklü park yeri yoksa dolu olan körüklerde medium kategori olan var olup olmadığı kontrol edilir. Yoksa müsait park pozisyonları oluşana kadar beklemede kalınır. Dolu olan açık park yerlerinde medium kategori uçakların olduğu yerler var ise bu uçakların içinde 10 dakika içinde park yerini terk edecek var olup olmadığı kontrol edilir. Yoksa müsait park pozisyonları oluşana kadar beklemede kalınır. Eğer 10 dakika içinde açık park yerini terk edecek uçak var ise bu park pozisyonu gelecek uçağa tahsis edilir.

Heavy kategori uçakların körüklü park yeri tahsisi de medium kategori uçaklarınkine benzer bir süreç izlenmektedir (Şekil 3.4).

3.6. Park Yeri Tahsisi Sürecinde Koşullu Kullanım Kuralları

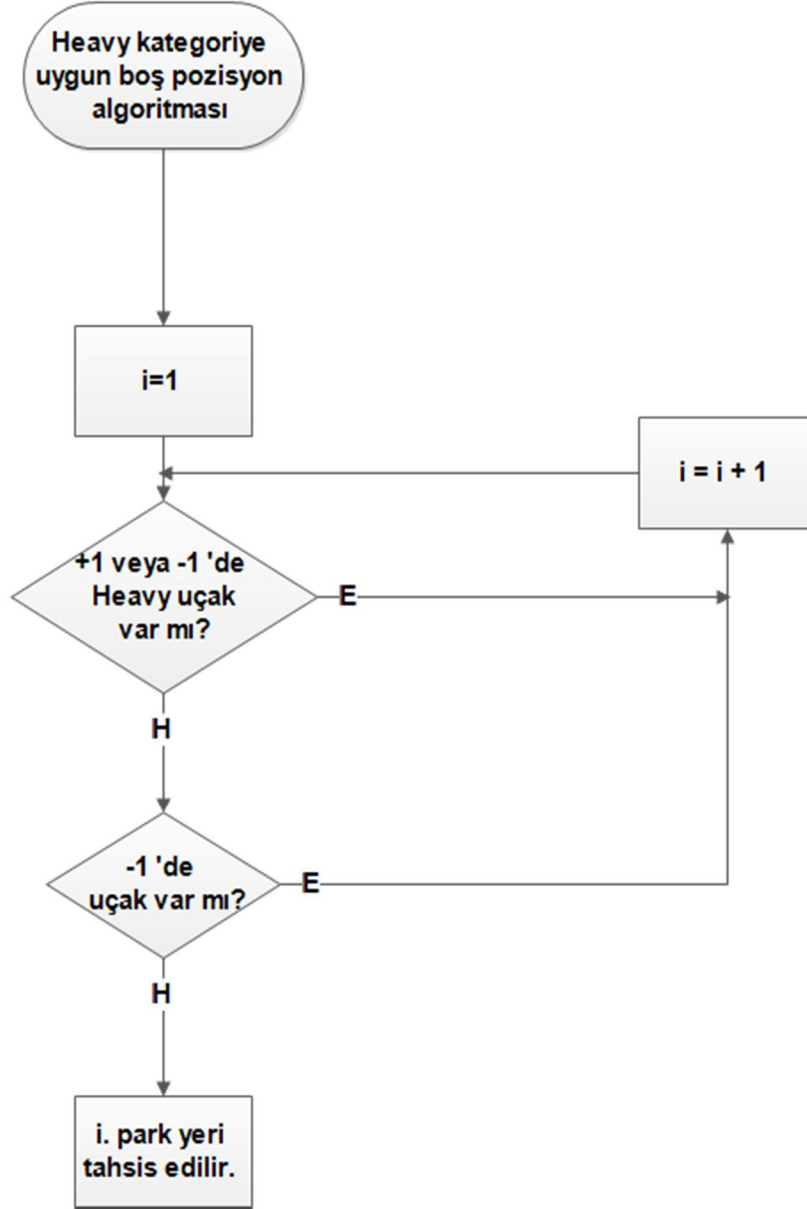
RAMP kule yetkilileri operasyonun gerçekleştiği havalimanındaki körüklü park pozisyonlarının koşullu kullanımı hakkında belirli kısıtlamalar getirebilirler. Bu kısıtlamalar körükler arasındaki mesafeler ve uçakların kanat açıklıkları göz önünde bulundurulurken belirlenmiştir. Özellikle heavy kategoriye ait geniş gövdeli ve büyük uçakların bazı park yerlerine park edilmesi gerektiği zamanlarda komşu park yerlerinde başka uçakların park etmesi mümkün olmamakta ya da kanat açıklığı daha küçük olan uçakların park etmesine izin verilebilmektedir. Algoritma böyle bir durum için bir atama seçeneği sunmaktadır.

Koşullu kullanımların olduğu körüklü bir park yerine medium kategoriye ait dar gövdeli bir uçağa tahsis edilecekse o park yerine indeks atanır (Şekil 3.5). Bu indeks kullanılarak o park yerinin komşu park yerlerinde heavy kategoriye ait bir uçak tipinin olup olmadığına bakılır. Eğer yok ise bu park yeri uçağa tahsis edilir. Var ise bu heavy uçağın sağında ya da solunda olduğu kontrol edilir. Heavy uçak solunda ise park yeri uçağa tahsis edilir. Eğer sağında ise tahsis süresinde belirlenmiş müsait olan bir sonraki park yerine bakılır ve bu süreç tekrardan yapılır. Bu kısıtlamanın algoritması şekildeki gibidir.



Şekil 3.4 Medium kategori uçaklara tahditli park yeri tahsis algoritması

Koşullu kullanımların olduğu körüklü bir park yerine heavy kategoriye ait dar gövdeli bir uçağa tahsis edilecekse o park yerine indeks atanır (Şekil 3.6). Bu indeks kullanılarak o park yerinin komşu park yerlerinde heavy kategoriye ait bir uçak tipinin olup olmadığına bakılır. Eğer yok ise bu park yeri uçağa tahsis edilir. Var ise bu heavy uçağın sağ ya da solunda olduğu kontrol edilir. Heavy uçak solunda ise park yeri uçağa tahsis edilir. Eğer sağında ise tahsis süresinde belirlenmiş müsait olan bir sonraki park yerine bakılır ve bu süreç tekrardan yapılır. Bu kısıtlamanın algoritması şekildeki gibidir.

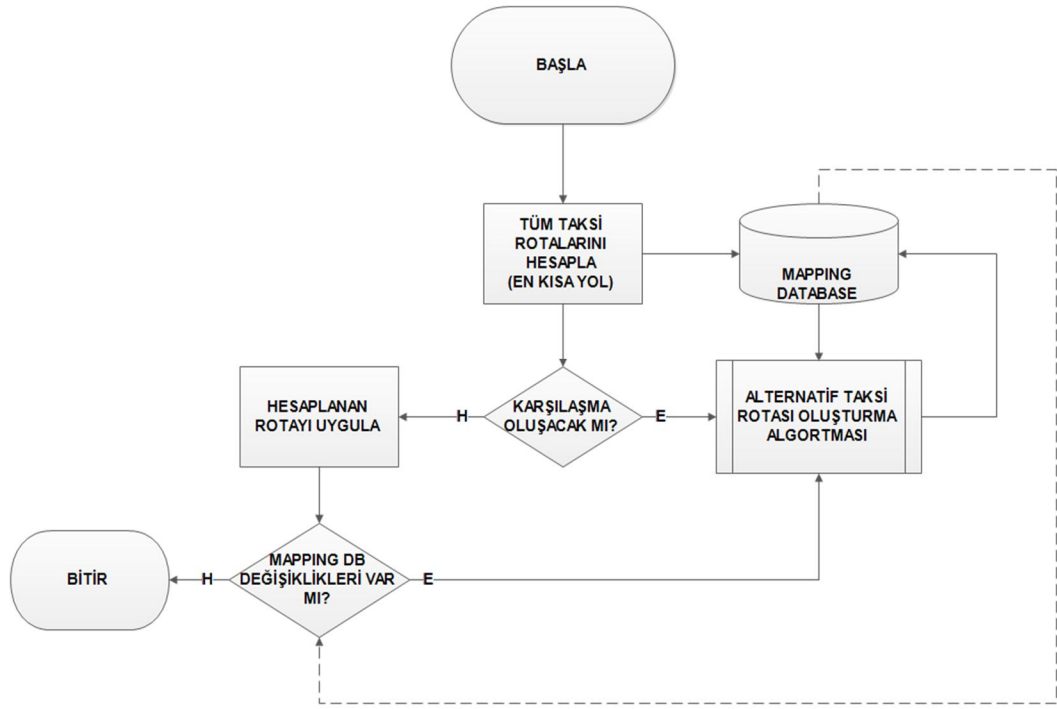


Şekil 3.5 Heavy kategori uçaklara tahditli park yeri tahsis algoritması

3.7. Taksi Yolu Ataması Süreci

Park yeri belirlenmiş uçağın mesafe ve süre açısından en kısa taksi yolunun belirlenmesi bu aşamada gerçekleşmektedir. Öncelikle taksi yolu ataması yapılacak uçak için mümkün olan bütün taksi güzergâhları algoritma tarafından hesaplanır. Daha sonra bu hesaplanan veriler sanal haritalama veritabanına (Mapping Database) kaydedilir. Hesaplanan güzergâhlar arasından en kısa olanı seçildiğinde diğer uçakların taksileri sırasında karşılaşma durumlarının var olup

olmadığı kontrol edilir. Eğer var ise sanal haritalama veri tabanına yazılan alternatif güzergâhlardan birisi seçilir ve işleme baştan başlanır. Eğer herhangi bir uçak ile taksi yollarında karşılaşma söz konusu değilse hesaplanan rotanın uçak tarafından kullanılması sağlanır. Uçak belirlenen güzergâh üzerinde ilerlerken haritalama veritabanında değişiklikler bu taksi süresince kontrol edilir. Eğer haritalama veritabanında değişiklik var ise uçağa son pozisyonundan itibaren tekrardan güzergâh belirlenir ve veritabanı üzerinde güncel değişiklik yapılır. Bu süreç ile ilgili şema Şekil 3.7'deki gibidir.



Şekil 3.6 Taksi yolu ataması algoritması

4. SİMÜLASYONLAR

4.1. Giriş

Simülasyon karmaşık dinamik sistemlerin davranışlarını incelemek için kullanılan bir analiz yöntemidir. Hava trafik sistemlerinin incelenmesinde hızlı zamanlı ve gerçek zamanlı olmak üzere iki tür simülasyon yöntemi kullanılmaktadır. Gerçek zamanlı simülasyonlar sistemlerde, insanları da çevrim içine katarak problem inceleyen yöntemlerdir. Örneğin, havaalanlarındaki hava trafik operasyonlarının gerçek zamanlı simülasyonu yapılırken kullanılan gerçek ekipmanı temsil eden sistemlerin yanında bu sistemleri kullanan hava trafik kontrolleri de bifiil deneylere katılmaktadır. Hızlı zamanlı simülasyonlar ise genellikle hava trafik uygulamalarına özel geliştirilmiş ve çoğunlukla kesikli zaman simülasyonu tekniğine dayalı yazılımlar kullanılarak gerçekleştirilir. Kesikli zaman simülasyon tekniğinde incelenen sistemin belirli kritik noktalarında ve anlarındaki davranışları incelenir. Hava trafik sistemlerinin incelenmesinde kullanılan bu yazılımlara SIMMOD, CAST, TAAM ve RAMS örnek verilebilir [43]. Bu yazılımların avantaj ve dezavantajları ilgili kaynakta karşılaştırmalı olarak açıklanmıştır [29].

Bu çalışmada önerilen park yeri ve taksi yolu tahsis algoritmasının sınanması ve mevcut durumla karşılaştırılmasının yapılması için hızlı zamanlı simülasyon tekniği kullanılmıştır. Bu analizlerin yapılabilmesi için ülkemizin en yoğun havalimanı olan İstanbul Atatürk Havalimanı uygulama sahası olarak seçilmiştir.

Tez çalışmasında analiz yöntemleri arasından hızlı zamanlı simülasyon araçlarından olan SIMMOD kullanılmasına karar verildi. SIMMOD 1985-1991 yılları arasında FAA (Federal Aviation Administration) tarafından geliştirilmiş, 1991'den bu zamana kadar da ATAC tarafından geliştirilmekte olan bir hızlı zamanlı simülasyon yazılımıdır. SIMMOD ile uçakların kapıdan kapıya olan uçuş döngüleri modellenenir.

SIMMOD kesik zamanlı modelleme tekniğine sahip bir araç yazılımıdır. Bu yazılım üzerinden veriler uçakların belirli bir zaman noktasındaki matematiksel modellemesini gösterir [49]. Bu zaman noktaları uçakların gerçek zamanlı

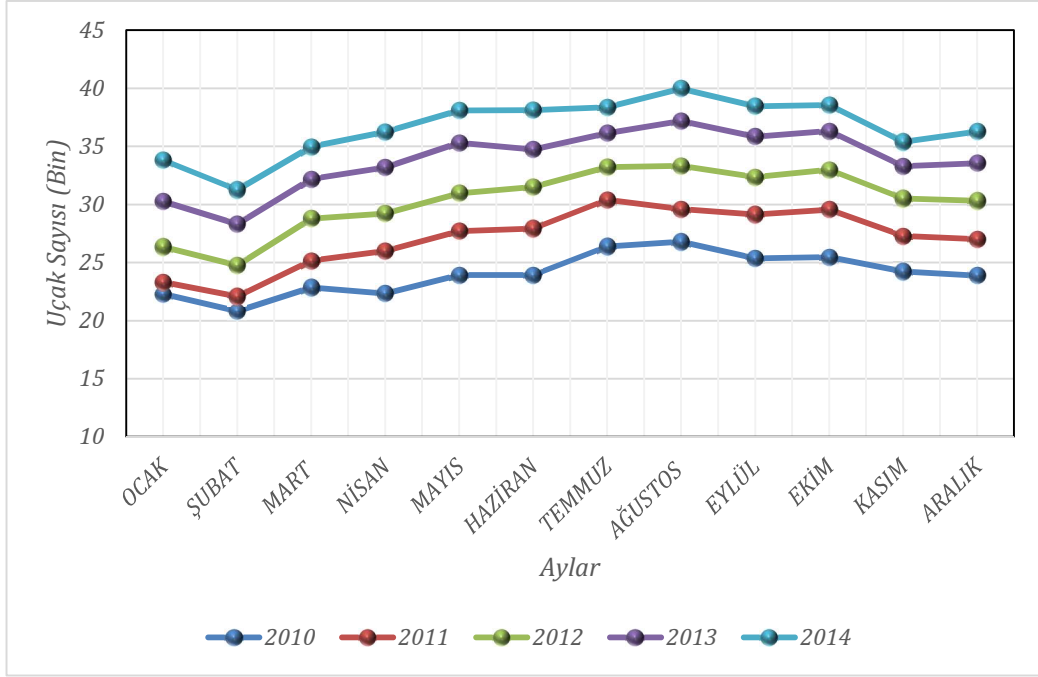
hareketlerinin örneklendiği zaman aralıklarıdır. SIMMOD Pro ise SIMMOD yazılımının operasyonel prosedürlerin ve kısıtlamaların ileri düzeyde tanımlanabildiği versiyonudur. Bu şekilde yazılım tarafından sağlanan kullanıcı tanımlı karar döngüleri uygulama havalimanlarına özel karar kriterleri oluşturulabilmektedir. Bu modelde SIMMOD PRO'nun kullanılmasının sebebi Bölüm 3.4'te tanımlanan İstanbul Atatürk Havalimanı'nda kullanılan karar kriterlerinin modele uygulanabilmesidir. Bu şekilde RAMP kulenin park yeri tahsisi ve meydan kontrol kulesinin taksi yolu ataması sürecinde uyguladıkları operasyonel karar kriterleri SIMMOD Pro modeline tanımlanabilmiştir.

4.2. Uygulama Alanı: İstanbul Atatürk Havalimanı

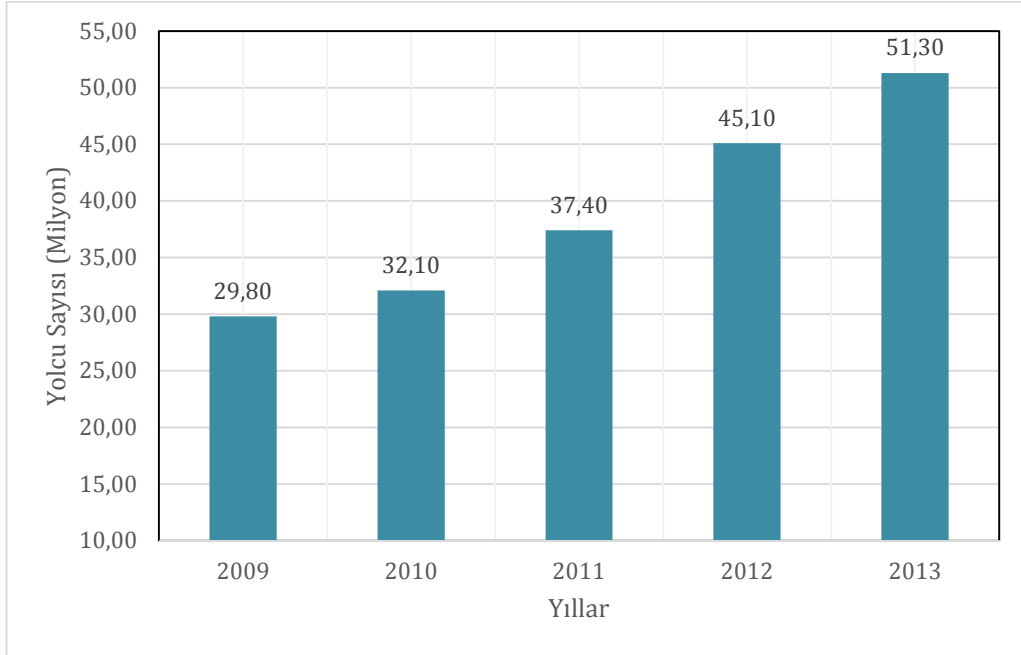
4.2.1. Genel Tanım ve Bilgiler

1953 yılında Yeşilköy Havalimanı adı ile hizmet vermeye başlayan, İstanbul Atatürk Havalimanı hava trafiği yoğunluğu açısından ülkemizin iç ve dış hatlara hizmet veren en büyük havaalanıdır. 2013 yılı verilerine göre ülkemizdeki yıllık toplam dış hat uçuşlarının %49,4'ü, iç hat uçak uçuşlarının ise %20,4'ü bu havaalanından gerçekleşmektedir [44]. Yine 2013 yılı verilerine göre günlük ortalama 881,8 uçuş operasyonu sayısı ile Atatürk Havalimanı Avrupa'nın 5. yoğun havalimanı konumundadır [45]. Uçak trafiği her yıl ortalama %10,81 artan Atatürk Havalimanı (Şekil 4.1), iç ve dış hat yolcu trafiğinde ise ortalama %14,6 oranında, dünya ortalamasının çok üzerinde, bir artış ile büyümeye devam etmektedir.

Havalimanında son 5 yılda yolcu sayısındaki artış yıllık ortalama %14,6 kadar gerçekleşmiş (Şekil 4.2) ve 2013 yılı sonunda yaklaşık 51,3 milyon yolcuya hizmet verilmiştir. Bu hızlı talep artışına karşı, hızlı ve plansız kentleşme ile birlikte çevresinin yerleşim alanlarıyla tamamen sarılan Atatürk Havalimanı'nın fiziksel olarak genişleyecek sahası da kalmamış durumdadır. Bu nedenle havalimanının kapasitesinde herhangi bir iyileştirme yapmanın tek yolu havalimanı ve onu oluşturan elemanların etkin şekilde kullanımını sağlayacak operasyonel iyileştirmelerin yapılmasıdır.



Şekil 4.1 Yıllara göre İstanbul Atatürk Havalimanı aylık uçak trafiği



Şekil 4.2 Yıllara göre İstanbul Atatürk Havalimanı yolcu sayısı

İstanbul Atatürk Havalimanı'nda Şekil 4.1'e göre 2010 yılından itibaren aylık oranda ortalama %11 civarında bir uçak trafiğinde artışın olduğu gözlemlenmektedir. Bu artış miktarı yılların genelinde gözlemlenirken en az

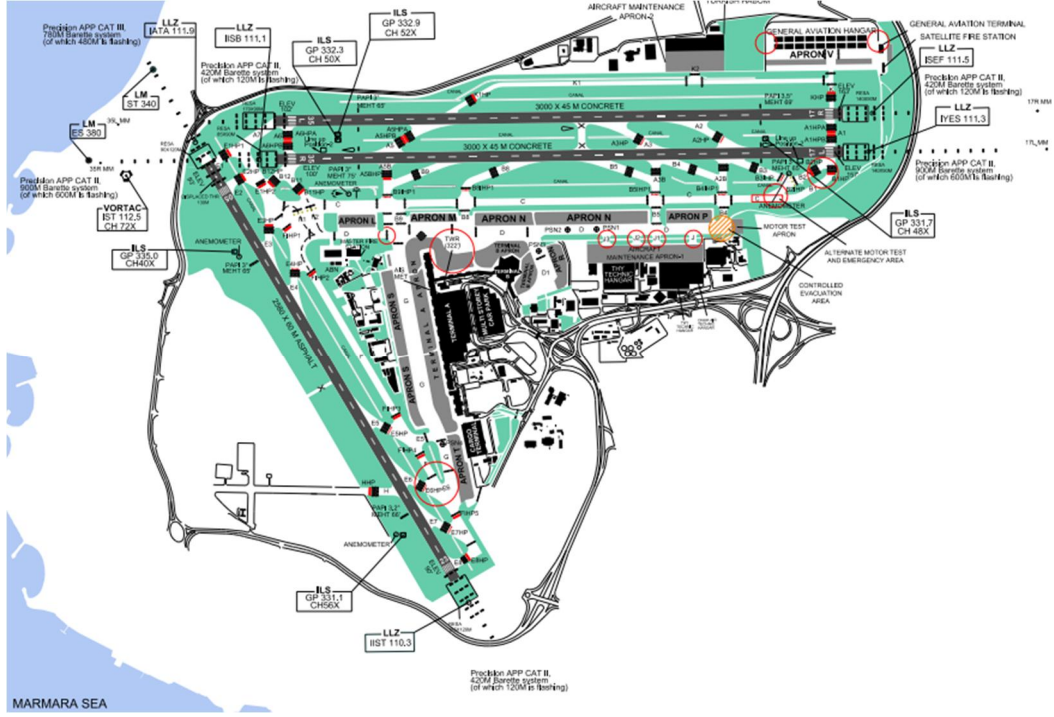
uçuşların şubat ayında, en fazla uçuşların ise ağustos ayında yapıldığı gözlemlenmektedir. Artışın bütün aylarda aynı oranda olması kapasite artırımını sağlayacak operasyonel düzenlemelerin yapıldığının bir göstergesidir.

4.2.2. Coğrafi Konum ve Yerleşim Planı

Uygulama alanı olarak seçilen İstanbul Atatürk Havalimanı simülasyon modeli pistler, taksi yolları, körüklü ve açık park pozisyonları ve havalimanına ait kontrol bölgesi (CTR) içindeki son yaklaşma ve ilk tırmanma rotalarını içermektedir.

Bu modeldeki ilgili tüm hava trafiği elemanlarının coğrafi yerleşim koordinatları 24 Temmuz 2014 tarihli Havacılık Bilgi Yayını (AIP) referans alınarak yapılmıştır [46]. Bu yerleşimine göre, İstanbul Atatürk Havalimanı 405834N-0284851E koordinatlarında İstanbul'un 24 km. batısında her alan 37 m rakımda bulunan iç hat ve dış hat uçuşlarına 24 saat hizmet veren bir havalimanıdır. Atatürk Havalimanı 3 pisti, 2 terminal binası, 8 apronu, 4 ana taksi yolu ve bunların bağlantı taksi yolu sistemlerini içermektedir.

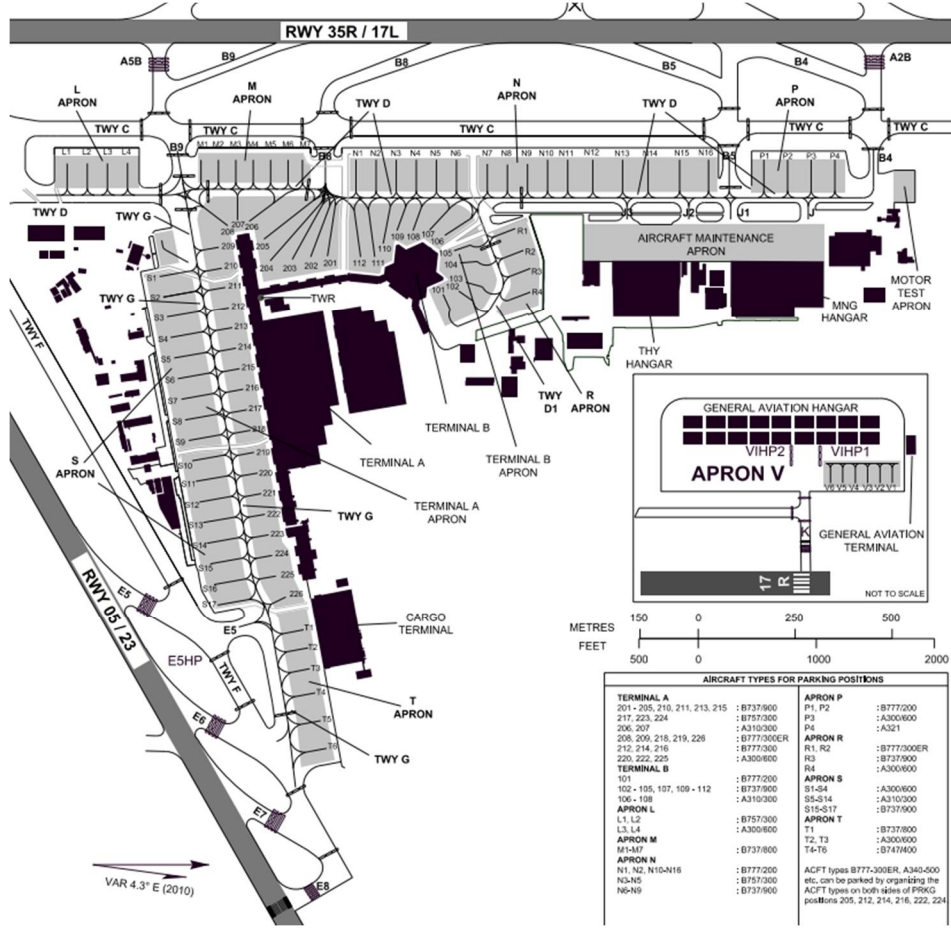
Atatürk Havalimanı açışal konumlarına sırasıyla 35R/17L, 35L/17R ve 05/23 olarak adlandırılan üç piste sahiptir (Şekil 4.3). Her biri 3000 m boyunda ve 45 m genişliğinde olan 35R/17L ve 35L/17R pistleri birbirine bağımlı operasyon düzenlenen paralel pistlerdir. Uzunluğu 2580 m ve genişliği 60 m olan 05/23 pisti ise diğer paralel pistlere göre açık V şeklinde konumlandırılmış bir pisttir. Rüzgâr ve benzeri hava koşullarının en uygun olduğu günlerde, 35R pistinin sadece kalkış ve 05 pisti ise sadece iniş operasyonları için kullanımı durumunda en yüksek saatlik operasyon sayısı elde edilmektedir [47].



Şekil 4.3 İstanbul Atatürk Havalimanı Yerleşim Planı [46]

Havalimanında bu pistler ile bağlantılı A'dan K'ya kadar harflerle adlandırılan 8 adet taksi yolu bulunmaktadır. Bunlardan C, D, F ve G ana taksi yollarıdır. Ana taksi yollarının temel işlevi apronlar ile bağlantı taksi yolu sistemleri arasındaki taksi trafiği geçişini sağlamaktadır. Bağlantı taksi yolu olan A, B ve E sistemleri pistler ile ana taksi yolları arasındaki geçişe olanak vermektedir. Bağlantı taksi yollarında K taksi sistemi ise 17R/35L pistini doğrudan genel havacılık bakım apronuna bağlamaktadır. Buna ek olarak uçakların pist işgaliyet sürelerini azaltmak için kullanılan hızlı çıkış taksi yolları da bu bağlantı sistemine dâhildir. Bağlantı taksi yollarının adlandırılması, dâhil oldukları sistemin harfini takip eden bir numara kullanılarak yapılır. Örneğin 05/23 pistini F ana taksi yoluna bağlayan E sisteminin bağlantı yolları E1-8 olarak adlandırılmaktadır. Bu 4 sisteme ait toplam 35 adet bağlantı taksi yolu mevcuttur.

Ana taksi yolları pist sistemini iç hat, dış hat ve kargo olmak üzere 3 terminal binasına ve havalimanındaki çeşitli yerlerindeki 7 adet aprona bağlamaktadır. Açık park pozisyonlarını barındıran bu apronlar L, M, N, P, R, S ve V harfleriyle adlandırılmaktadır. Bunların haricinde bir adet de motor test apronu bulunmaktadır (Şekil 4.4).



Şekil 4.4 İstanbul Atatürk Havalimanı apron, terminal ve park yeri konumu [46]

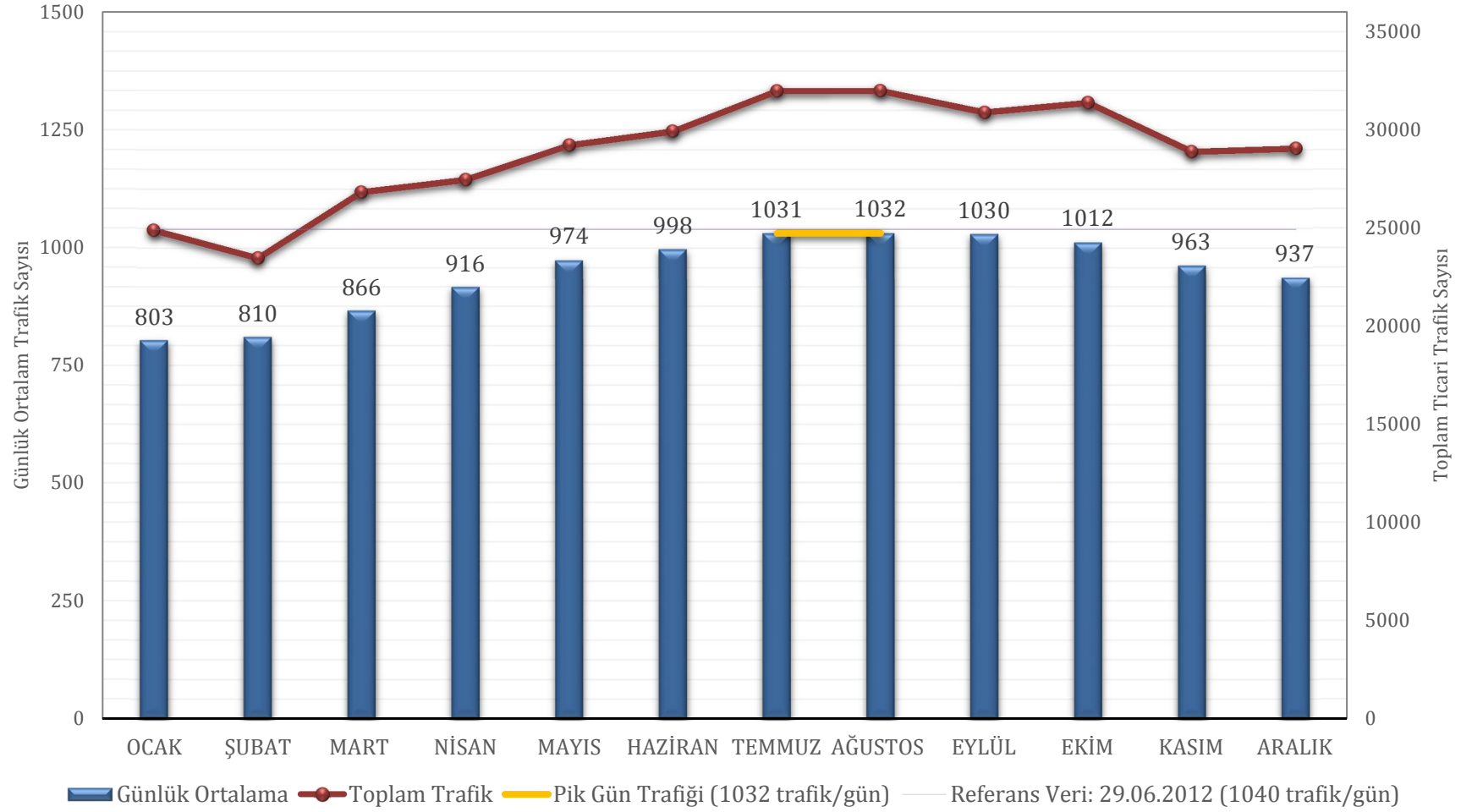
Atatürk Havalimanı'nda toplam 104 adet park pozisyonu bulunmaktadır (Şekil 4.4). Bu park pozisyonlarının 38'i terminal binalarına bağlanan körüklü park pozisyonu, 60 adedi ise apronlarda yer alan açık park pozisyonlarıdır. Körüklü park pozisyonlarının 12 adedi iç hatlara hizmet verirken 26 adedi ise dış hat uçuşları yapan uçaklara hizmet vermektedir. Bunların yanında kargo terminalinde yalnızca kargo uçaklarına tahsis edilmiş 6 adet park pozisyonu bulunmaktadır.

4.2.3. Trafik Analizi

Pik gün trafiği, bir havalimanının seçilen yıl içinde en yüksek trafiğin gerçekleşen en yüksek günlük trafik seviyesini, pik saat trafiği ise yıl içindeki 24 saatlik dilime göre belirlenen saatlik en yüksek trafik seviyesini ifade eder. Bu tanımlama doğrultusunda ulusal seyrüsefer hizmet sağlayıcısı olan Devlet Hava Meydanları İşletmesi'nin (DHMİ) verilerine göre, İstanbul Atatürk Havalimanı'nın 2012 yılı pik gün trafiği, 579 iniş ve 553 kalkış olmak üzere toplam 1132 trafik ile 3 Eylül 2012 tarihinde gerçekleşmiştir [44]. Aynı verilere göre pik saat trafiği ise ile 18 Ekim 2012 günü 09:00–10:00 saatleri arasında 38 iniş ve 34 kalkış olmak üzere 72 trafik olarak ölçülmüştür.

Havalimanlarının tasarım, planlama ve operasyonel iyileştirme çalışmaları açısından sadece en yoğun gün ve saati temsil eden pik gün ve pik saati yerine yoğunluk oranı “makul ölçüde daha az” ancak hedef yıl içerisinde daha sık yaşanan günlük ve saatlik trafik seviyelerinin kullanılması daha uygundur. Bu günlük ve saatlik trafik seviyeleri “tasarım pik gün” ve “tasarım pik saat” trafikleri olarak adlandırılmaktadır. Tasarım pik gün ve saate ilişkin ilgili kaynakta pek çok tanım mevcut olmakla beraber [1] bu çalışmada Uluslararası Sivil Havacılık Örgütü (ICAO) tarafından benimsenen tanım kullanılmıştır. Bu tanıma göre tasarım pik gün trafiği, yılın trafik açısından en yoğun iki ayının günlük ortalama trafik sayısına; tasarım pik saat trafiği ise bu günün en yoğun saatinde gerçekleşen operasyon sayısına karşılık gelmektedir.

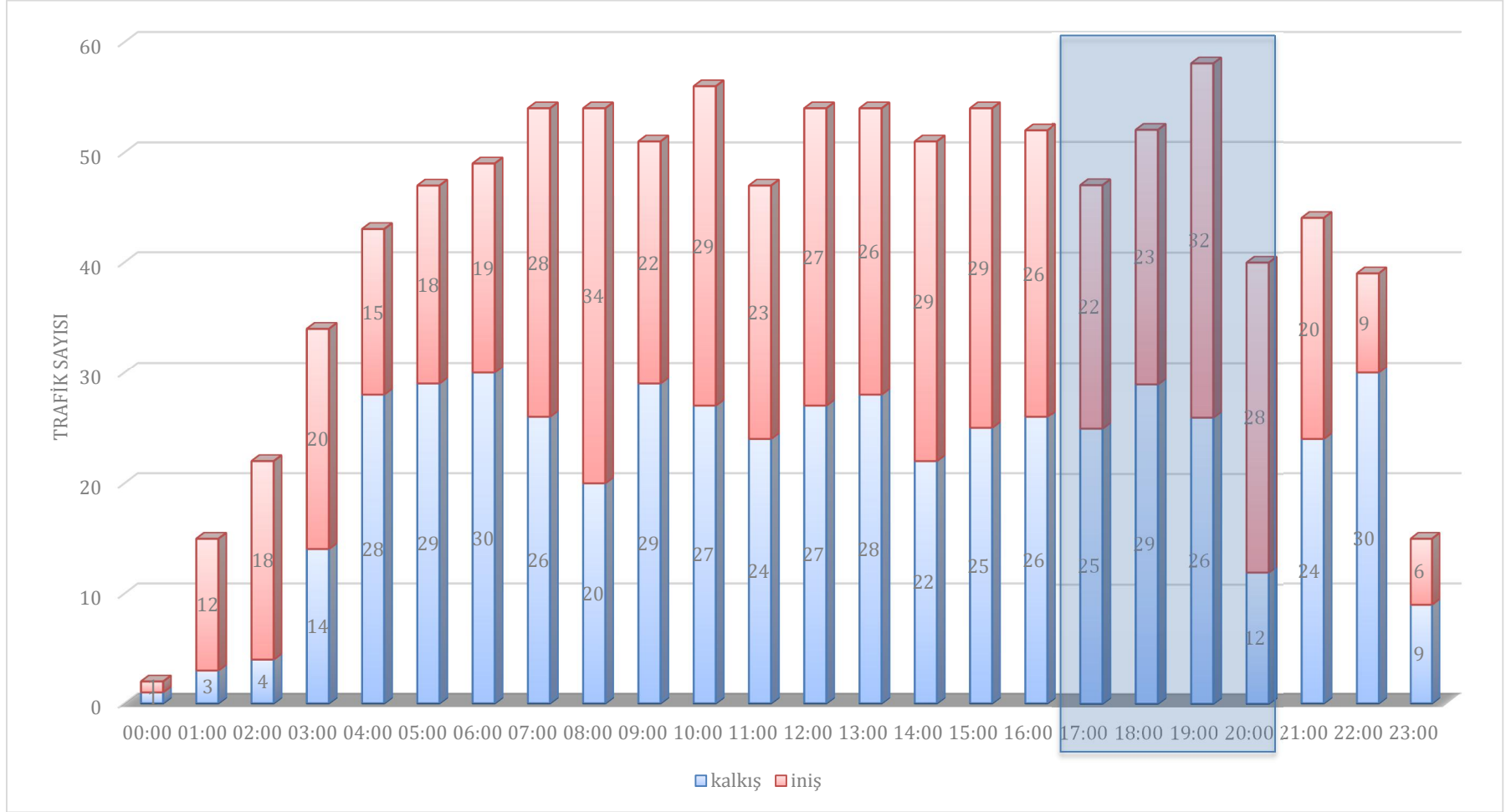
Bu tanım çerçevesinde 2012 yılının en yoğun aylarından temmuz ve ağustosun günlük ortalamasına eşit olan tasarım pik gün trafik seviyesi, 1032 trafiğe karşılık gelmektedir (Şekil 4.5). Bu çalışmada ilgili aylarda tasarım pik gün seviyesini temsil eden bir günün trafik verilerine ulaşamamıştır. Ancak DHMİ ve Tepe-Akfen-Vie (TAV) tarafından sağlanan günlük 1040 ticari trafiğin kaydedildiği 29 Haziran 2012 gününe ait referans veriler, hem nicel açıdan hem de mevsimsel trafik karakteristikleri açısından tasarım pik gün ve tasarım pik saat trafikleri ile uyumludur.



Şekil 4.5 İstanbul Atatürk Havalimanı aylık ticari toplam, günlük ticari ortalama ve pik gün trafiği

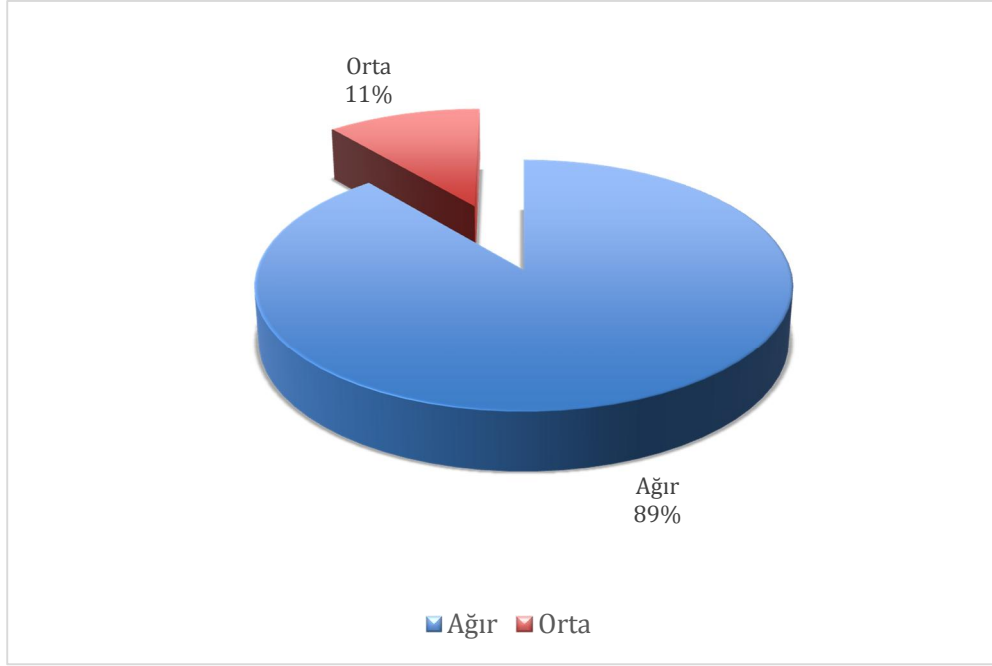
Referans alınan güne ait hava trafiğinin saatlik olarak dağılımı ise Şekil 4.6'da verilmiştir. Havalimanında 10.00-11.00 ve 19.00-20.00 saat dilimleri arasında iki adet pik trafik gözlemlenmektedir (Şekil 4.6). Havalimanında altın saatler olarak adlandırılan bu zaman dilimlerinde sırasıyla 56 ve 58 adet operasyon düzenlenmiştir. Birinci altın saatin öncesinde saatlik trafik, 09.00-10.00 arası hariç, kesintisiz olarak artarken ikinci altın saatin sonrasında 20.00-21.00 hariç ciddi bir düşüş gözlemlenmektedir. Her iki altın saat arasında da trafik seviyesi 51 ortalama seviyesinde seyretmektedir.

Bu veriler ışığında bu çalışma için tasarım pik saati, 29 Haziran 2012'nin de pik saati olan 19.00-20.00 arası seçilmiştir. Bu saatte gerçekleşen 58 operasyonun 32'si iniş iken 26'sı kalkış trafiğidir (Şekil 4.6). Simülasyon çalışmasında tasarım pik saat analizinin daha sağlıklı yapılabilmesi için ısınma ve soğuma süreleri de göz önünde bulundurularak 17.00-21.00 arasındaki trafik hareketleri incelenmiştir. Bu 4 saatlik uçuş süresince inişler için 05 pisti, kalkışlar için ise 35L ve 35R pistleri kullanıldı. Bazı pilotların talebi üzerine 05 pistinden kalkış ve 35 pistine iniş yapıldığı gözlemlendi. 29 Haziran 2012 17.00-21.00 saatleri arasında 35R/L pistlerinden 1 iniş, 87 kalkış operasyonu, 05 pistinden ise 5 kalkış ve 104 iniş operasyonu düzenlenmiştir.



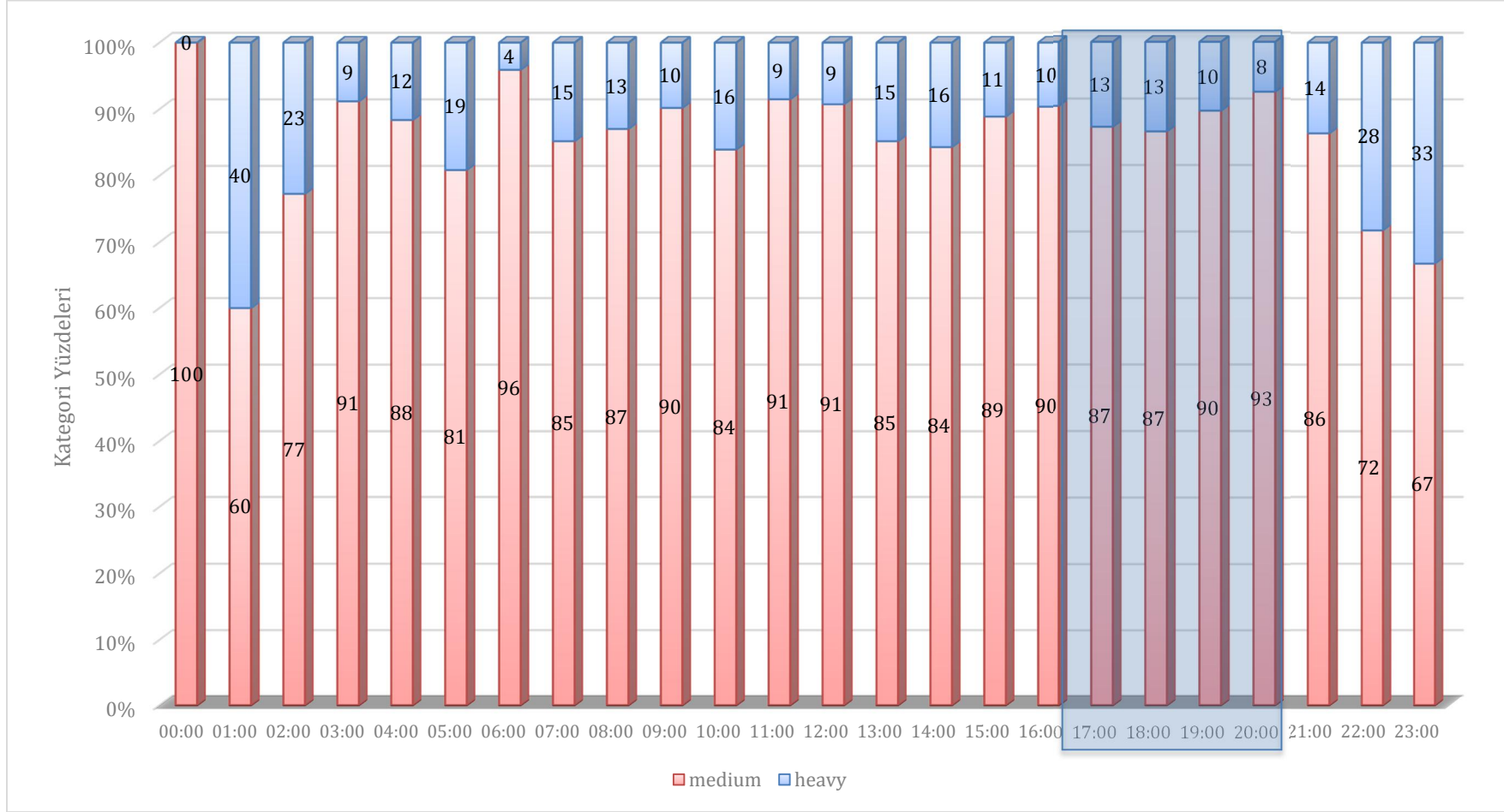
Şekil 4.6 İstanbul Atatürk Havalimanı 29 Haziran 2012 günü içerisinde operasyonların iniş ve kalkış trafiği dağılımı

29 Haziran 2012 verilerinin uçak kategorilerine göre dağılımlarına bakıldığında İstanbul Atatürk Havalimanı'nda %89 oranında medium uçak kategorilerine %11 oranında da heavy uçak kategorilerine hizmet verildiği görülmektedir (Şekil 4.7). Bu oran ile Atatürk Havalimanı'nın genellikle kısa mesafe uçuşlara hizmet veren bir hub noktası olarak görev yaptığını söylenebilir.



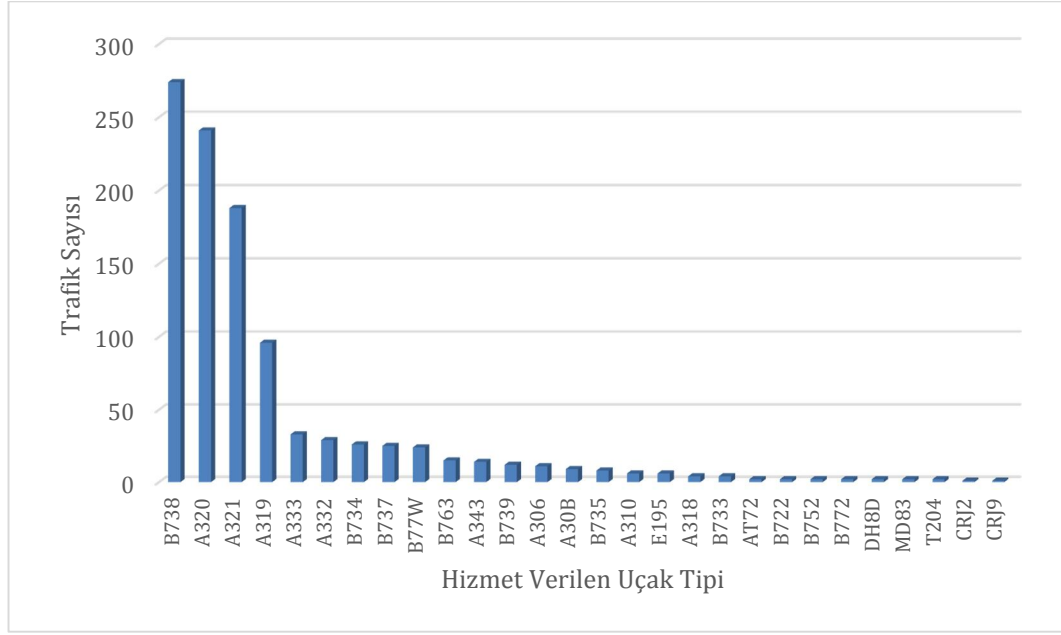
Şekil 4.7 İstanbul Atatürk Havalimanı 29 Haziran 2012 verilerine göre uçakların günlük kategori dağılımı

Atatürk Havalimanı'na düzenlenen operasyonların kategorilere göre dağılımlarına bakıldığında pik saatler içinde en çok medium kategori uçaklara hizmet verildiği görülmektedir (Şekil 4.8). Çünkü heavy kategori uçakların operasyon ayırma minimaları daha fazla olduğu için havalimanının operasyon limitlerini kısıtlamaktadır. Atatürk Havalimanı'nda saatlik operasyon sayısını etkileyen en önemli faktörün hizmet verilen uçakların kategori dağılımı olduğu da bu şekilde görülmektedir.



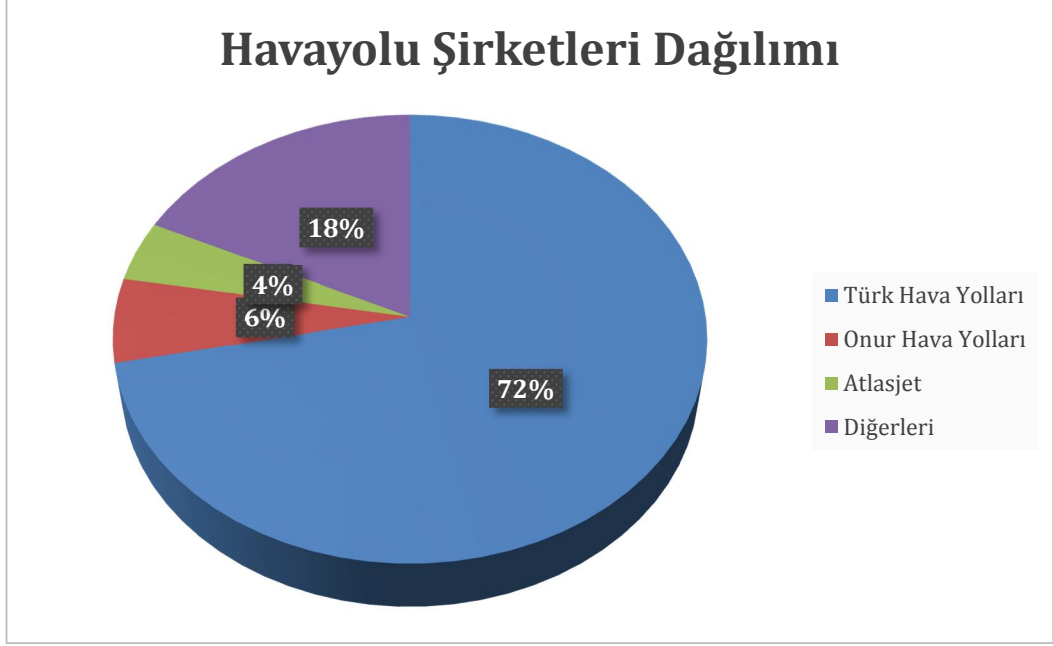
Şekil 4.8 İstanbul Atatürk Havalimanı 29 Haziran 2012 verilerine göre uçak tiplerinin gün içindeki yüzdeler dağılımı

Havalimanı temel olarak iki ana kategoriye hizmet vermekle beraber çok sayıda değişik üreticiye sahip uçakların havalimanına operasyon düzenledikleri 29 Haziran 2012 verilerinde görülmektedir (Şekil 4.9). Ancak en yoğun hizmet verilen uçak tipleri sırasıyla Boeing 737, Airbus A320 ve A321'dir (Şekil 4.9). Atatürk Havalimanı'nın, Türk Hava Yolları (THY)'nin merkez üssü olması nedeniyle hizmet verilen uçaklar tipleri de THY'nin uçak filo yapısını yansıtmaktadır.



Şekil 4.9 İstanbul Atatürk Havalimanı 29 Haziran 2012 verilerine göre gün içindeki uçak tiplerinin toplam miktarı

29 Haziran 2012 verilerine göre İstanbul Atatürk Havalimanı'na uçuş gerçekleştiren havayolu şirketlerinin dağılımına baktığımızda Türk Hava Yolları'nın operasyonlarının çoğunlukta olduğunu görebilmekteyiz (Şekil 4.10). Türk Hava Yolları'ndan sonra en fazla uçuş gerçekleştiren hava yolu şirketleri sırasıyla Onur Hava Yolları ve Atlas Jet'tir.

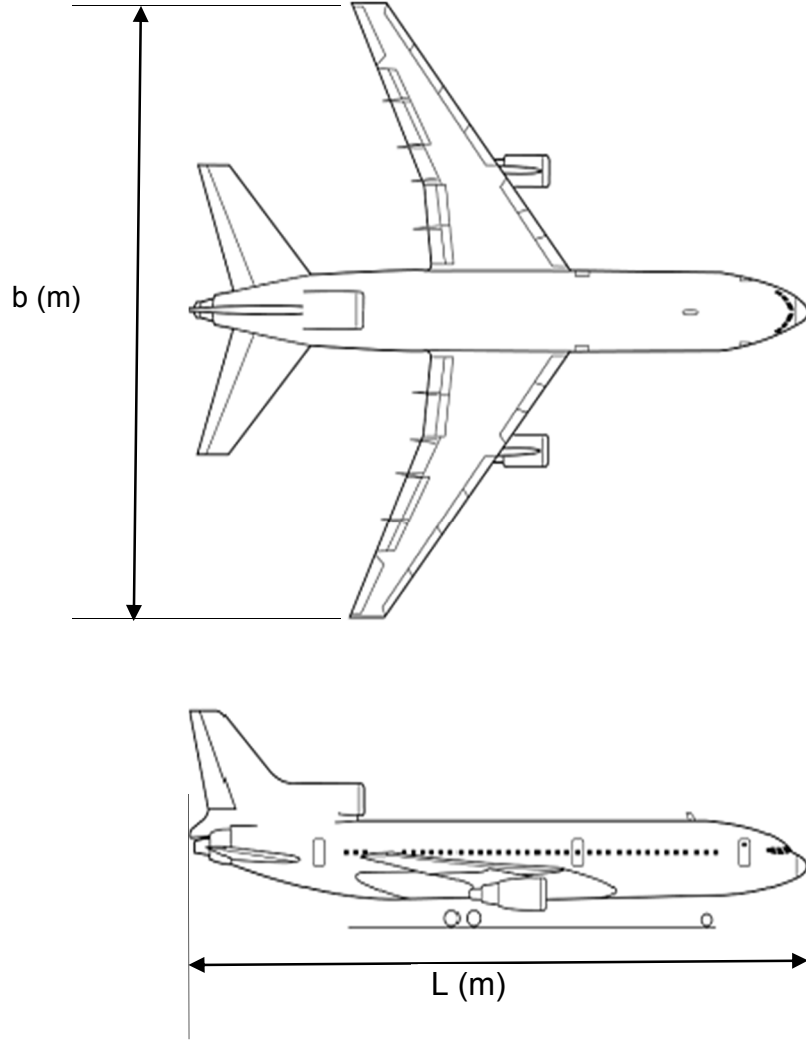


Şekil 4.10 İstanbul Atatürk Havalimanı 29 Haziran 2012 verilerine göre meydana operasyon düzenleyen havayolu şirketlerinin yüzdeleri dağılımı

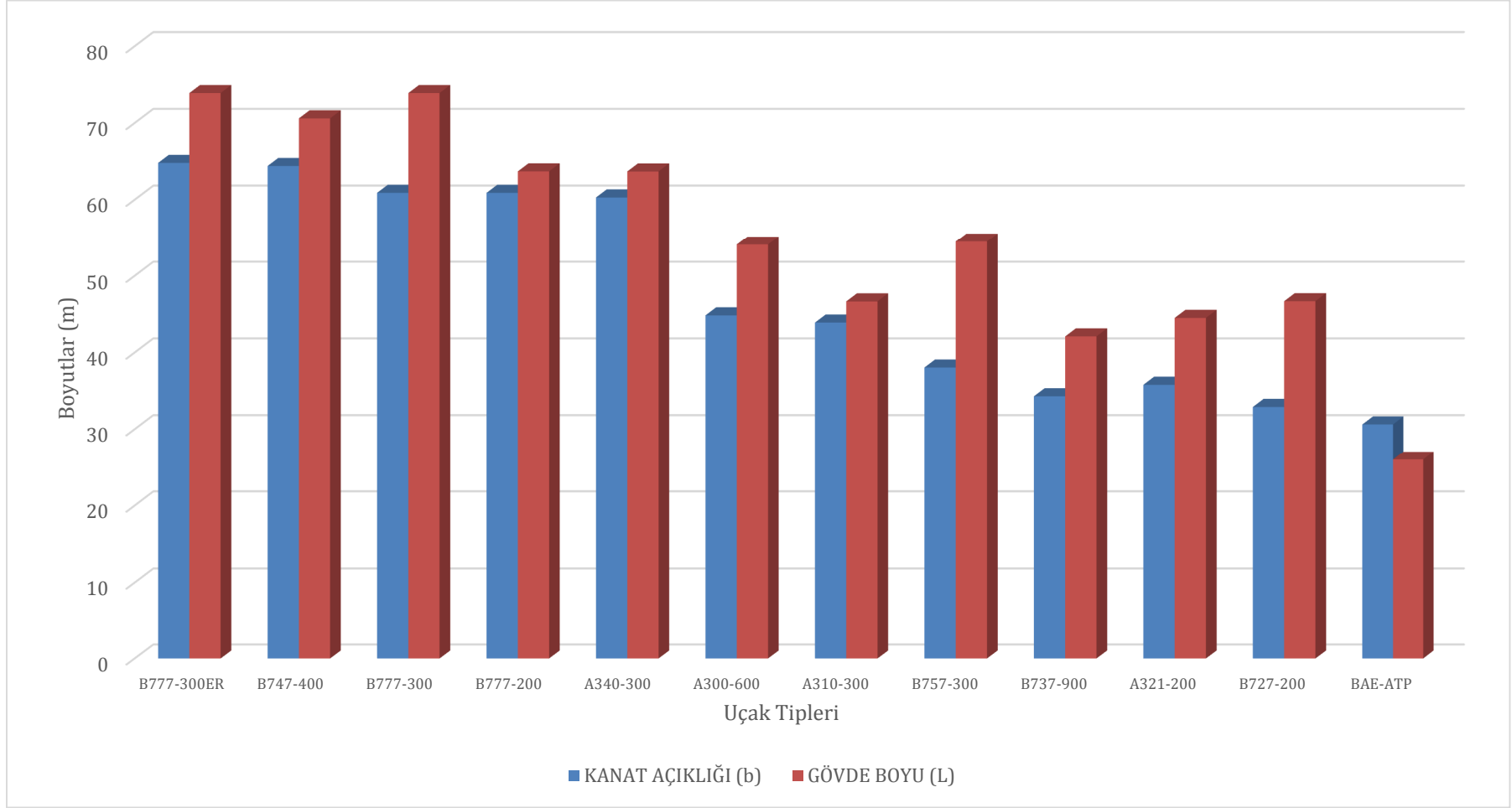
4.2.4. Park Yerlerinin Özellikleri ve Sınıflandırılması

Atatürk Havalimanı trafik yoğunluğu itibariyle park yeri sınıflandırmasına ihtiyaç duyulan bir meydana sahiptir. Bu sınıflandırma yapılırken birçok kriter göz önünde bulundurulmaktadır. Bu kriterler; uçakların kategorisi, kanat açıklığı (b), gövde uzunluğu (L), körüklü park yerleri için gövde yüksekliği, uçuş türü (iç hat, dış hat), havayolu şirketlerinin talepleri ve yer hizmeti sağlayıcılarının tesislerinin konumudur. Atatürk Havalimanı'nda da park yerleri arasındaki mesafeler ve söz konusu bu kriterler göz önünde bulundurularak hangi uçaklara hangi park yerlerinin uygun olduğu RAMP kule yetkilileri tarafından belirlenmiştir.

Bir uçağın kanat açıklığı (b) iki kanat ucu arasındaki mesafeyi ifade ederken, uçağın gövde uzunluğu (L) ise uçağın boylaması eksenini boyunca burnunun en ucu ile kuyruk kısmının en sonu arasındaki mesafedir (Şekil 4.11). Atatürk Havalimanı'nda hizmet verilen başlıca uçak tiplerinin gövde uzunlukları ve kanat açıklıkları sırasıyla Şekil 4.12'de gösterilmiştir. Buna göre bir park yerinin boyutları hizmet verilebilecek en büyük uçak tipi belirlenmektedir.



Şekil 4.11 Uçak kanat genişliği (b) ve gövde uzunluğunu (L) gösterir temsili resim.



Şekil 4.12 İstanbul Atatürk Havalimanı'na operasyon düzenleyen uçak tiplerinin gövde boyu ve kanat uzunluklarına göre sıralaması

Bu boyutlar göz önünde bulundurulduğunda uçak büyüklüğü Boeing 737-900'e kadar olan uçaklara uygun körüklü park yerleri; 102-105, 107, 109-112, 201, 204, 210, 211, 213, 215 hizmet verebilmektedir (Çizelge 4.1). Uçak büyüklüğü Boeing 757-300'e kadar olan uçaklara uygun park yerleri ise 205, 217, 223, 224'tür. Körüklü park yerlerinden uçak büyüklüğü Boeing 777-200'e kadar olan uçaklara uygun park yeri ise 101'dir.

Çizelge 4.1 Körüklü park yerlerini kullanabilecek en büyük uçak tipi

	<i>Park Yeri Numaraları</i>	<i>Park Yapabilecek En Büyük Uçak Tipi</i>	<i>Park Yeri Numaraları</i>	<i>Park Yapabilecek En Büyük Uçak Tipi</i>
Körüklü Park Yeri Numaraları	101	B777-200	208	B777-300ER
	102	B737-900	209	B777-300ER
	103	B737-900	210	B737-900
	104	B737-900	211	B737-900
	105	B737-900	212	B777-300
	106	A310-300	213	B737-900
	107	B737-900	214	B777-300
	108	A310-300	215	B737-900
	109	B737-900	216	B777-300
	110	B737-900	217	B757-300
	111	B737-900	218	B777-300ER
	112	B737-900	219	B777-300ER
	201	B737-900	220	A300-600
	202	A321-200	221	A300-600
	203	A321-200	222	A300-600
	204	B737-900	223	B757-300
	205	B757-300	224	B757-300
	206	A310-300	225	A300-600
	207	A310-300	226	B777-300ER

Uçak büyüklüğü Boeing 777-300'e kadar olan uçaklara uygun olan körüklü park yerleri; 212, 214, 216'dır. Boeing 777-300ER'ye kadar olan uçaklara 208, 209, 218, 219, 226 park yerleri hizmet verebilmektedir. Uçak büyüklüğü Airbus 300-600'e kadar olan uçaklara körüklü park yerlerinden uygun park yerleri; 220-222, 225'tir. Uçak büyüklüğü Airbus 310-300'e kadar olan uçaklara uygun olan park yerleri; 106, 108, 206 ve 207'dir. Uçak büyüklüğü Airbus 321-200'e kadar olan uçaklara uygun park yerleri; 202 ve 203'tür (Çizelge 4.1).

Açık park pozisyonlarında da aynı sınıflandırma söz konusudur. Uçak büyüklüğü Boeing 737-900'e kadar olan uçaklara uygun olan açık park yerleri; M1-M7, N6-N9, R3, S15-S17, V1 ve V2'dir (Çizelge 4.2).

Uçak büyüklüğü Boeing 757-300'e kadar olan uçaklara uygun olan açık park yerleri; L1, L2, N3, N4 ve N5'tir. Açık park pozisyonlarından R1 ve R2 park yerleri uçak büyüklüğü Boeing 777-300ER'ye kadar olan uçaklara hizmet verebilmektedir (Çizelge 4.2).

Boeing 727-200'e kadar olan uçaklara uygun park yeri N18'dir. Uçak büyüklüğü Airbus 340-300'e kadar olan uçaklara açık park pozisyonlarından uygun olan park yerleri; N1, N2, N10, N11, P1 ve P2'dir (Çizelge 4.2).

Uçak büyüklüğü Airbus 300-600'e kadar olan uçaklara uygun olan açık park yerleri; L3, L4, N12-N17, P3, R4 ve S1-S4'tür. Airbus 310-300'e kadar olan uçaklara uygun olan açık park yerleri S5-S14 arasındaki park yerleridir (Çizelge 4.2).

Açık park pozisyonlarından uçak büyüklüğü Airbus 321,200'e kadar olan uçaklara uygun park yeri P4'tür. Açık park pozisyonlarından uçak büyüklüğü British Aerospace ATP'ye kadar olan uçaklara uygun park yerleri; V3, V4, V5, V6'dır. Bu sınıflandırmayı tabloda daha net bir şekilde görebilmekteyiz (Çizelge 4.2).

Çizelge 4.2 Açık park yerlerini kullanabilecek en büyük uçak tipi

	<i>Park Yeri Numaraları</i>	<i>Park Yapabilecek En Büyük Uçak Tipi</i>	<i>Park Yeri Numaraları</i>	<i>Park Yapabilecek En Büyük Uçak Tipi</i>
<i>Açık Park Yeri Numaraları</i>	M1	B737-900	L1	B757-300
	M2	B737-900	L2	B757-300
	M3	B737-900	L3	A300-600
	M4	B737-900	L4	A300-600
	M5	B737-900	S1	A300-600
	M6	B737-900	S2	A300-600
	M7	B737-900	S3	A300-600
	N1	A340-300	S4	A300-600
	N2	A340-300	S5	A310-300
	N3	B757-300	S6	A310-300
	N4	B757-300	S7	A310-300
	N5	B757-300	S8	A310-300
	N6	B737-900	S9	A310-300
	N7	B737-900	S10	A310-300
	N8	B737-900	S11	A310-300
	N9	B737-900	S12	A310-300
	N10	A340-300	S13	A310-300
	N11	A340-300	S14	A310-300
	N12	A300-600	S15	B737-900
	N13	A300-600	S16	B737-900
	N14	A300-600	S17	B737-900
	N15	A300-600	T1	B737-900
	N16	A300-600	T2	A300-600
	N17	A300-600	T3	A300-600
	N18	B727-200	T4	B747-400
	R1	B777-300ER	T5	B747-400
	R2	B777-300ER	T6	B747-400
	R3	B737-900	V1	B737-900
	R4	A300-600	V2	B737-900
	P1	A340-300	V3	BAE-ATP
	P2	A340-300	V4	BAE-ATP
	P3	A300-600	V5	BAE-ATP
	P4	A321-200	V6	BAE-ATP

Atatürk Havalimanı'nda bu sınıflandırmanın dışında körüklü park yerlerinde bir de tahditli kullanım söz konusudur (Çizelge 4.3). 205 numaralı park yerine B777-300ER veya B747-400 planlanırsa 204 numaralı park pozisyonu boş bırakılması gerekmektedir. 212 numaralı park pozisyonuna B777-300ER veya B747-400 uçağı planlanırsa, 213 ve 211 numaralarına planlanabilecek en büyük uçak tipi B737-400'dür. 214 numaralı park pozisyonuna B777-300ER veya B747-400 uçak tipi planlanırsa, 213 ve 214 numaralı park pozisyonuna planlanabilecek en büyük uçak tipi B737-400'dür. 216 numaralı park pozisyonuna B777-300ER veya B747-400 uçak tipi planlanırsa, 215 numaralı park pozisyonuna planlanabilecek en büyük uçak tipi B737-400'dür. 222 numaralı park pozisyonuna B777-200 uçak tipi planlanırsa, 221 ve 223 numaralı park pozisyonuna planlanabilecek en büyük uçak tipi B737-400'dür. 224 numaralı park pozisyonuna B777-300ER veya B747-400 uçak tipi planlanırsa, 223 numaralı park pozisyonu boş bırakılacak 225 numaralı park pozisyonuna da planlanabilecek en büyük uçak tipi B757-300 olacaktır.

Çizelge 4.3 Körüklü park yerlerinin koşullu kullanım kuralları

<i>Park Yeri</i>	<i>Park Edecek Uçak Tipi</i>	<i>Park Yeri Kısıtlayıcıları</i>	
		<i>Kısıtlı Kullanılacak Park Yerleri</i>	<i>Kullanım Dışı Kalacak Park Yerleri</i>
205	B777-300ER /B747-400	-	204
212	B777-300ER /B747-400	211 ve 213 (en büyük B737-400)	-
214	B777-300ER /B747-400	213 ve 215 (en büyük B737-400)	-
216	B777-300ER /B747-400	215 (en büyük B737-400)	-
222	B777-200	221 ve 223 (en büyük B737-400)	-
224	B777-300ER /B747-400	225 (en büyük B757-300)	223

4.3. Mevcut Park Yeri Tahsisi Süreci

Büyük ölçekli bir havalimanı olan İstanbul Atatürk Havalimanı'nda uçaklar için park pozisyonlarının planlaması RAMP kule yetkilileri tarafından belirli kriterler dâhilinde yapılmaktadır. Bunlardan en önemlisi uçakların park yerlerini işgal edecekleri süredir. Bu süreler genellikle havayolu şirketlerinin kendi öngörülere ile belirlenmektedir. Fakat bu süreleri belirleyen birçok faktör vardır. Bunlar; yer hizmetleri ekibinin operasyon süresi, kabin ekibinin uçağı hazırlama süresi, pilot ve teknik ekibin uçağı kontrol süreleri, yolcuların uçağı terk etme ve uçakta yerini alma süreleridir. Bu faktörlerin bir kısmı sürekli değışkenlik gösterebilir. Özellikle yolcuların uçağı boşaltıp doldurma süreleri ve pilot ve teknik ekibin uçağı kontrol süreleri her operasyon süresinde farklılık gösterebilir. Yolcuların iniş biniş süreleri konaklama süresine +/- 15dk etki eder iken pilot ve teknik ekibin uçağı kontrol süreleri teknik bir sıkıntı yaşanması esnasında 60 dakika kadar fark edebilmektedir. Bu süreler konaklama sırasında yaşanan sıkıntılarda görülür. Bir de uçağın ilgili meydana inmeden önce yaşadığı gecikmeler bulunmaktadır. Bu gecikmeler o kapı için planlanmış bir sonraki uçağın park yeri tahsisine etki etmektedir. Hava yolu şirketlerinin yer hizmetlerinden aldığı teknik destek de büyük bir önem arz etmektedir. Bazı havayolu şirketleri yer hizmetleri ile sözleşmelerini yaparken hizmet sürelerinin kısa tutulması ile ilgili sınırlamaları anlaşma metinlerinde belirtmektedir. Tabi ki bu sınırlamalar da havayolu şirketine ek bir maliyet getirmektedir.

Atatürk Havalimanı'ndaki RAMP kule yetkilileri bu planlamayı SELEX firması ile birlikte geliştirdikleri ROTA yazılımını kullanarak yapmaktadırlar. Bu yazılım, zaman (Gantt) çizelgesi içinde hangi park pozisyonunun hangi uçuşa tahsis edileceğini belirlemektedir. Kullanıcılar tarafından belirlenmiş bazı varsayımlar bulunmaktadır. Bunlara örnek verecek olursak bir park yerine bir sonraki uçağın planlaması ancak park yerini terk edecek uçağın terkediş zamanından en erken 15 dakika sonra yapılabilir. Arayüz olarak kullanımı kolay bir yazılım olsa da önceden belirlenmiş kurallar haricinde park yeri tahsisini tamamen RAMP kule yetkililerine bırakmaktadır. 104 park pozisyonunun en etkin kullanımı, tamamen tek bir operatörün emek yoğun çalışmasına bağlıdır. Özellikle en büyük problem uçakların havalimanına inmeden önceki uçuş safhalarında yaşadıkları

gecikmelerdir. İstanbul Atatürk Havalimanı, bu tür yol ve yaklaşma gecikmelerinden en fazla etkilenen havalimanıdır. İnen uçağın gecikme yaşaması durumunda ROTA yazılımında yapılan planlama tekrardan düzenlenmektedir. Bunun haricinde havalimanında kullanıma kapatılması gereken bazı taksi yolları veya park yerleri de büyük bir sorun teşkil etmektedir. Bu zamanlarda da planlamanın yeniden yapılması gerekmektedir. Bunlara ek olarak park yerinde bulunan uçakların olası teknik sorunlar nedeniyle yaşadığı gecikmeler bulunmaktadır.

Bunların haricinde RAMP kule yetkililerinin bazı durumlarda uçakların park yerlerini değiştirmesi gerekebilir. Bu durumlar uçağın ani bir değişiklikle konaklama süresinin uzaması, arızalanan uçağın hangara gitmek istemesi veyahut havalimanının belirli bir bölgesinde yapılması planlanan yapım onarım faaliyetleridir.

Bu çalışmada referans veriler açıklanan bu kurallar çerçevesinde değerlendirilerek mevcut durumu temsil eden referans simülasyon senaryosu oluşturulmuştur.

4.4. Operasyon Usülleri ve Ayırma Minimaları

İstanbul Atatürk Havalimanı aletli uçuş yapan (IFR) ve görerek uçuş (VFR) yapan uçaklara hizmet veren bir havalimanıdır [46]. Fakat VFR uçuşlara ilişkin AIP’de yayınlanmamış çeşitli kısıtlar bulunmaktadır. Bunlar gün içerisinde yoğun saatlerde VFR uçuşlara izin verilmemesi ve VFR uçaklara sadece genel havacılık apronunda park izni verilmesi gibi kısıtlardır. Bu kısıtlar havaalanı kapasitesini en verimli şekilde kullanmak ve trafik akışını hızlandırmak için oluşturulmuştur. Yapılan bu çalışmada da Bölüm 4.2.4’te belirtilen açık ve körüklü park yerleri VFR uçuşlar tarafından kullanılmadığı için ve belirtilen simülasyon saatlerinde herhangi bir VFR uçuş operasyonuna rastlanmadığı için kapsam dışında tutulmuştur.

IFR uçuşlarda üç tür temel hava trafik kontrol kısıtlayıcısı mevcuttur: Bunlar yaklaşma radar ayırma minimaları, kuyruk türbülansı ayırma minimaları, iniş ve kalkış ayırma usülleridir.

Yaklaşma radar ayırma minimaları uçakların birbirleri arasında yatayda 4 NM’lik (Çizelge 4.4), dikeyde ise 1000 feet’lik mesafede uçuşlarını

gerçekleştirmeleri gerekmektedir [46]. Bu mesafelerin ihlali durumunda uçakların “conflict” adı verilen çakışmaları meydana gelmektedir. Emniyetli bir uçuşun sağlanabilmesi için uçaklara meydan yaklaşma manevraları yaptırılırken bu mesafelerin altına inilmemesi gerekmektedir.

Çizelge 4.4 İniş uçakları arasındaki ayırma mesafeleri

		<i>Sonra İnen</i>			
		Mesafe	Light	Medium	Heavy
<i>Önce İnen</i>	Light		4 NM	4 NM	4 NM
	Medium		4 NM	4 NM	4 NM
	Heavy		5 NM	5 NM	4 NM

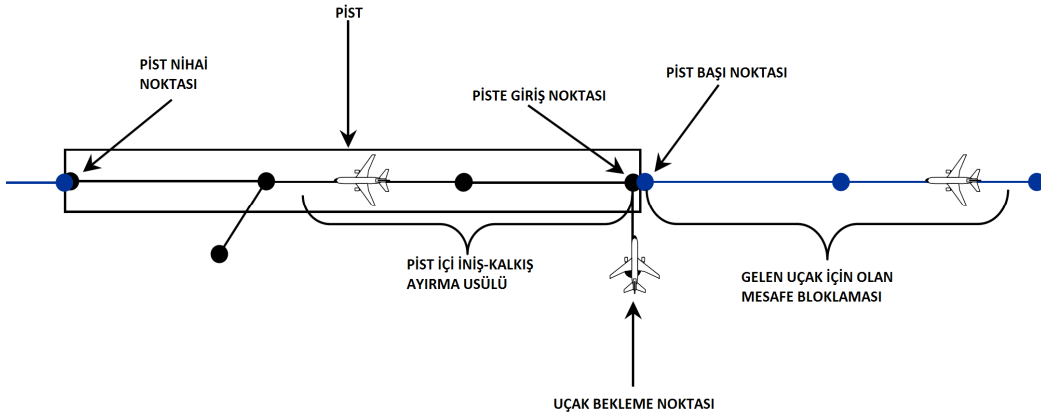
Kuyruk türbülansı ayırma minimaların uçakların kategorilerine göre belirlenmektedir. Aynı iki kategori arasında kuyruk türbülans ayırması için herhangi bir süre beklenmemektedir. Fakat aynı pistten kalkan heavy uçağın arkasından medium ya da light bir uçağın kalkması durumunda ve medium bir uçağın arkasından light bir uçağın kalkması durumunda 2 dakikalık kalkış ayırma miniması uygulanması gerekmektedir (Çizelge 4.5). Yani önden kalkan uçağın teker kesme zamanından itibaren 2 dakika sonra arkadan kalkacak alt kategori uçağa kalkış tahminisi verilebilmektedir.

Çizelge 4.5 Kalkış uçakları arasındaki pist sonunu terk ettikten sonraki ayırma süreleri

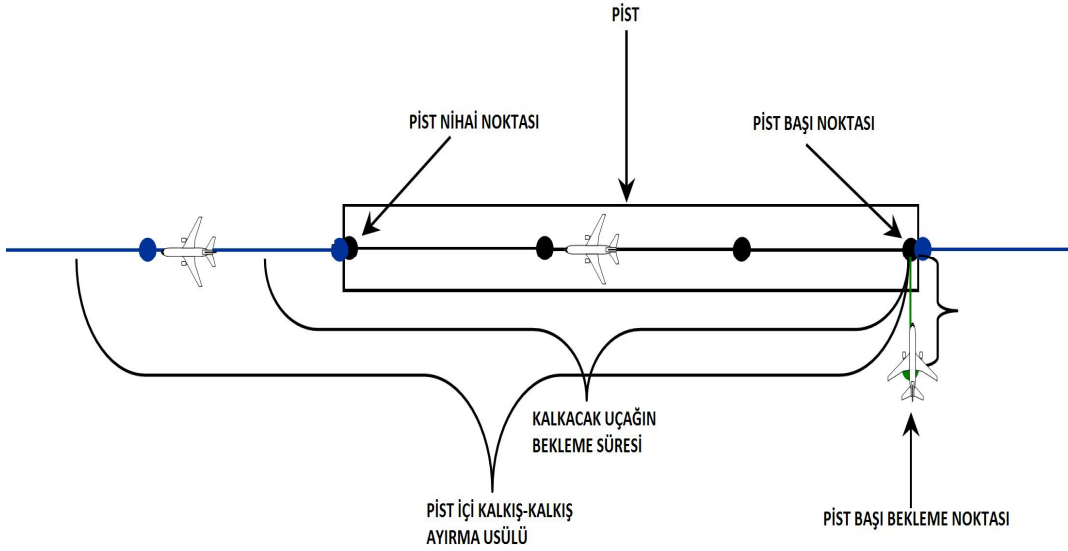
Sonra kalkan

	SÜRE	Light	Medium	Heavy
<i>Önce kalkan</i>	Light	0	0	0
	Medium	120 sn	0	0
	Heavy	120 sn	120 sn	0

Bu süre ve mesafe kısıtlamalarına ek olarak pist içi iniş ve kalkış ayırma usülleri de bulunmaktadır. İniş ve kalkış ayırma usüllerini üç ana kısımda değerlendirebiliriz. Bunlar; iniş-kalkış, kalkış-kalkış ve kalkış-iniştir. İniş-kalkış ayırmasında, inen uçağın kuyruk dikmesinin pisti terk etmesi ile beraber kalkan uçağa kalkış verilebilmektedir (Şekil 4.13). Kalkış-kalkış ayırmasında kalkan uçak pist nihai hattını terk ettiği zaman diğer uçağa kalkış izni verilebilmektedir (Şekil 4.14). Kalkış-iniş ayırmasında ise kalkan uçak pist nihai hattını terk ettiği zaman inecek uçağa iniş izni verilebilmektedir. Bu hallerin dışındaki durumlarda piste herhangi bir hava ya da yer aracının piste girmesi veya bulunması dâhilinde hiçbir uçağa iniş ve kalkış izni verilemez.



Şekil 4.13 Aynı pisti kullanan iniş ve kalkış uçaklarının pist içi ayrımları



Şekil 4.14 Aynı pisti kullanan kalkış uçakları arasındaki pist içi ayrımları

İstanbul Atatürk Havalimanı'nda 35R ve 35L pistlerinde kalkış izinlerinde kullanılan özel usüller bulunmaktadır. Bu paralel pistlerin arasındaki mesafe 760m'den az olduğu için normal koşullar altında operasyonların tek bir pistmiş gibi düzenlenmesi gerekmektedir. Buna göre paralel pistlerden kalkan uçaklar arasında da eğer öndeki uçak heavy ve arkadaki uçak medium ya da light kategori ise iki dakikalık ayırma yapılmalıdır. Ancak İstanbul Atatürk Havalimanı'nda paralel pistlerden yapılan ardışık kalkışlarda ise kategoriye bakılmaksızın öndeki uçağın pist eşiğini terk etmesinin ardından diğer pistteki uçağa kalkış izni verilmektedir.

Bu uygulama ile 35 paralel pistlerinin toplam kalkış kapasitesi saatte 30 trafiğe kadar çıkarılabilmektedir (Şekil 4.6).

Havalimanlarında ICAO tarafından tanımlanmış çeşitli pist kullanım kriterleri bulunmaktadır [48]. Bir pist üzerinde herhangi bir hava ya da yer aracı bulunması durumunda hiçbir uçağa o piste iniş ya da o pistten kalkış izni verilmemektedir. Bu durumda iniş ya da kalkış izni verilmesi durumunda bu durum pist ihlaline girmektedir. Bir başka deyişle aynı anda iki uçak piste giriş yapmaması gerekmektedir.

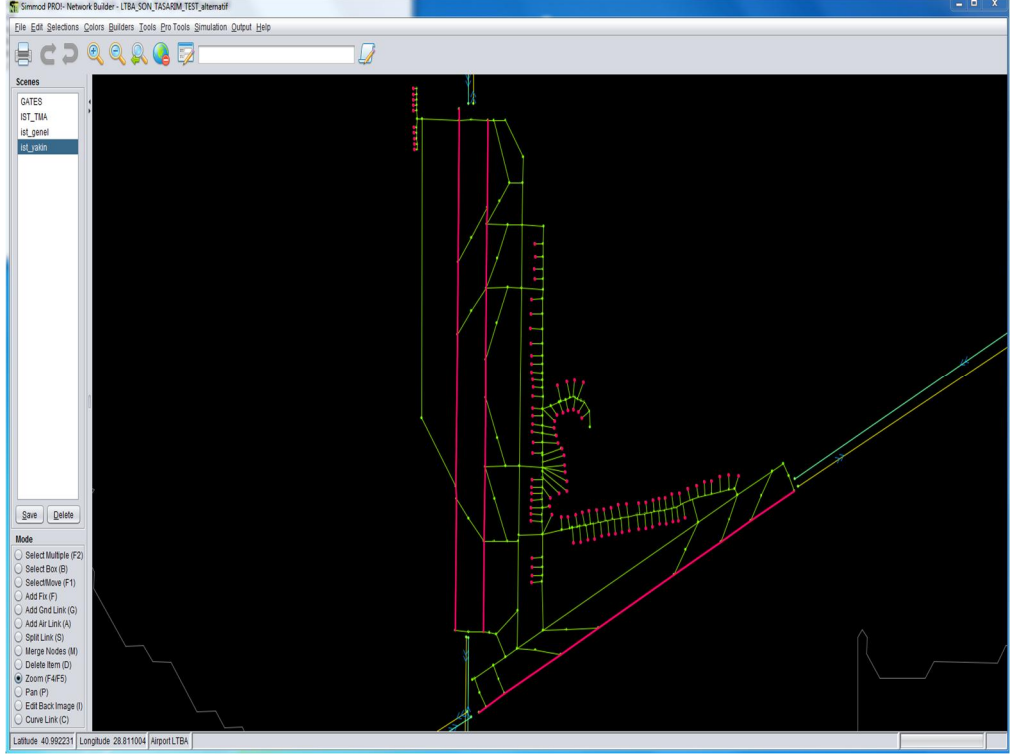
DHMI'nin pik saati hesaplamasında bütün hava aracı operasyonları yer alırken, TAV'dan elden verilerde sadece ticari uçuşların kayıtları tutulmaktadır. Bu yüzden belirlenen pik saatler arasında fark bulunmaktadır. Aynı zamanda Atatürk Havalimanı AIP'sinde belirtilen 05 pistine yaklaşma zamanında uçaklar arasında 4NM'lik bir mesafe bırakılması gerekmektedir.

Atatürk Havalimanı'nda uçuş trafiğini etkileyen bir başka etken de apron trafiklerinin durumudur. Apron trafiklerinde yaşanan gecikmeler de aynı zamanda kalkış yapacak uçak sayısını kısıtlamaktadır. Tez çalışmasında ele aldığımız 29.06.2012 trafik verilerinde apron gecikmelerinin daha çok yaşandığı görülmektedir. Bunun en büyük sebebi gecikme yaşayan uçakların apron bölgesinde tekrar park yeri tahsisi edilmesi için beklemeleridir. Bu beklemler hem kalkacak trafiğin apron bölgesini geç terk etmesine hem de inen uçakların park yerlerine ulaşmadan taksi yollarında gecikme yaşanmasına neden olmaktadır.

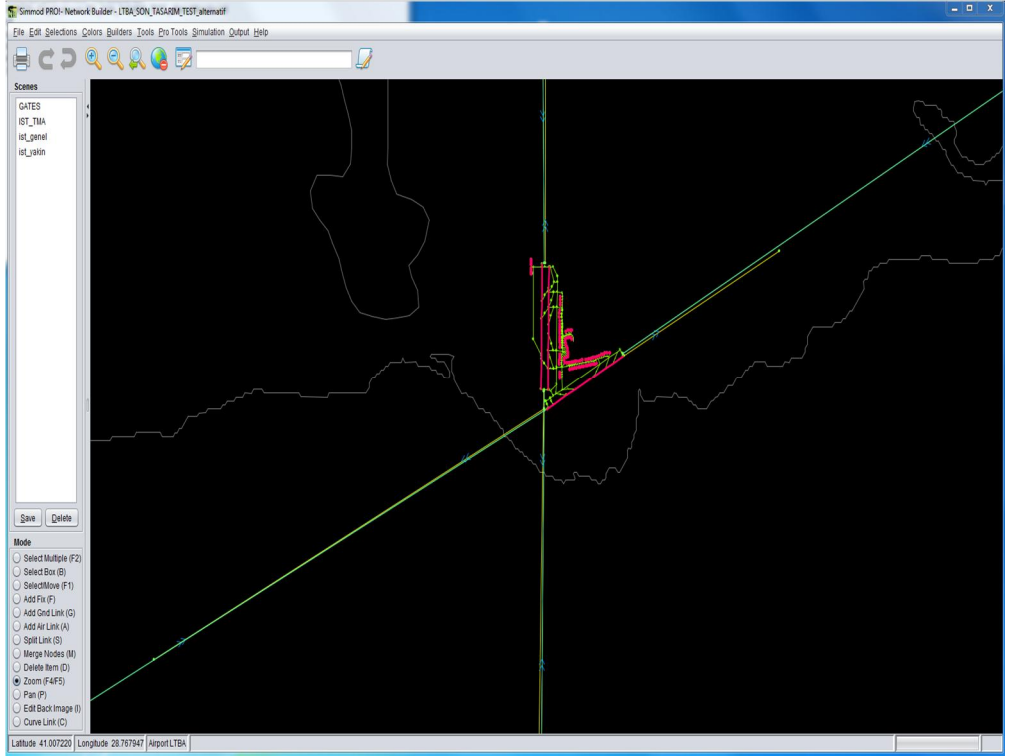
4.5. Simülasyon Modelinin Hazırlanması

İstanbul Atatürk Havalimanı'nın SIMMOD PRO V8.2 üzerinde tasarım sürecinde DHMI tarafından sağlanan Aeronautical Information Chart (AIP)'ler referans alınmıştır [46]. Bu AIP'lerde havalimanının hava tarafındaki bütün elemanların koordinatları bulunmaktadır. Bu koordinat bilgileri ışığında havaalanının tasarımı yapılmıştır. Havalimanının tasarımının yanı sıra park pozisyonlarının kullanım kriterleri ve uçuş operasyonlarındaki uçaklar arasındaki ayrımları da Atatürk Havalimanı'ndaki uygulanmakta olan operasyonel kriterler göz önünde bulundurularak tanımlanmıştır. Simülasyon modelinde Atatürk Havalimanı ve Kontrol Bölgesi Hava Sahası modellerini oluşturmak için kara tarafı

(terminal binaları, kapılar ve körükler, bakım tesisleri, vb.) ve hava tarafı (pistler, taksi yolları, apron ve park yerleri) elemanlarının coğrafi yerleşim koordinatları Bölüm 4.2.2 detaylı şekilde tanımlanmıştır (Şekil 4.15). Modeldeki hava sahası havalimanına iniş yaopacak uçakların izlediği son yaklaşma ve kalkış yapan uçakların izlediği ilk tırmanma yollarından (air link) oluşmaktadır. Her bir pist hizasında uzayan ilgili son yaklaşma ve ilk tırmanma hatları Şekil 4.16'da gösterilmiştir. Son yaklaşma kontrol noktaları pist eşiğini 10 NM mesafede konumlanmış olup bu noktalarda inen uçakların park yeri ve taksi yolu ataması yapılmaktadır. Oluşturulan hibrit dinamik park yeri ve taksi yolu tahsisi algoritması SIMMOD Pro'nun bünyesinde bulunan gömülü kodlama sisteminde tanımlanmıştır. SIMMOD Pro üzerinde park yeri ve taksi yolu tahsisi bu gömülü kodlama ile yapılmaktadır. Algoritmada belirtilen taksi yolu tahsisinde, SIMMOD Pro'nun alternatif taksi yollarını hesaplanmasıyla uçakların toplam taksi sürelerine bakarak en kısa yol bulmaktadır. Bulunan en kısa yol o uçağa tahsis edilmektedir.



Şekil 4.15 SIMMOD Pro Üzerindeki İstanbul Atatürk Havalimanı'nın yakın plan görünümü



Şekil 4.16 SIMMOD Pro modelinde İstanbul Atatürk Havalimanı pistleri için son yaklaşma ve ilk tırmanma yollarının genel görünümü

Oluşturulan İstanbul Atatürk Havalimanı modeline uçuş operasyonları süresince uygulanan yaklaşan uçaklar arası ayırmalar, kalkan uçaklar arasındaki zaman ayırmaları gibi Bölüm 4.2.6’da açıklanan operasyonel kabuller de eklenmiştir.

Buna ek olarak Bölüm 4.2.3’te verilen İstanbul Atatürk Havalimanı’na operasyon düzenleyen uçakların tipleri fiziksel ve performans özelliklerine kategorilendirilerek simülasyon modelinde tanımlanmıştır. Böylelikle SIMMOD üzerinde işlenen uçuş verilerinin sonuçlarının gerçeğe daha yakın olması sağlanmaktadır.

Modelde kullanılan uçakların hava ve yer performansları değişkenlik göstermektedir. Bazı uçak tipleri havada heavy kategori sınıflandırılırken, yer manevralarında medium kategori olarak sınıflandırılabilir (Çizelge 4.6). Bu durum uçakların performans verileri ile ilişkilidir. SIMMOD üzerine performans verileri de uçak tiplerinin kategorilerine göre işlenmiştir.

Çizelge 4.6 İstanbul Atatürk Havalimanı'na operasyon düzenleyen uçak tiplerinin SIMMOD Pro ortamında tanımlanan kategorileri

<i>Uçak Tipi</i>	<i>Hava Performansı Kategorisi</i>	<i>Yer Performansı Kategorisi</i>
B77W	Heavy	Heavy
A343	Heavy	Heavy
A333	Heavy	Heavy
A332	Heavy	Heavy
A310	Heavy	Heavy
A30B	Heavy	Heavy
B772	Heavy	Medium
B763	Heavy	Medium
A306	Heavy	Medium
A318	Heavy	Medium
MD83	Heavy	Medium
B752	Heavy	Medium
A319	Medium	Medium
A320	Medium	Medium
A321	Medium	Medium
B739	Medium	Medium
B738	Medium	Medium
B737	Medium	Medium
B735	Medium	Medium
B734	Medium	Medium
B733	Medium	Medium
B722	Medium	Medium
E195	Medium	Medium
DH8D	Medium	Medium
T204	Medium	Medium
AT72	Medium	Medium
CRJ9	Medium	Medium
CRJ2	Medium	Small

Bölüm 4.2.3'te de anlatılan İstanbul Atatürk Havalimanı'na ait 29 Haziran 2012 verileri hazırlanan SIMMOD Pro modeline tanımlanmıştır. Bu tanımlama işlemi esnasında referans ve alternatif senaryoda bir takım farklılıklar bulunmaktadır. Referans senaryoda uçuş verilerinden uçakların tipi, uçak iniş zamanları, hangi park yerine gittikleri, uçuş türü (İç-hat, Dış-hat), hangi taksi yollarını kullandıkları ve uçak kalkış zamanları detaylı bir şekilde modele tanımlanmıştır. Bu şekilde referans modelde gerçeğe yakın ilgili tarihteki mevcut durumu temsil eden bir veri seti oluşturulmuştur. Alternatif senaryoda ise uçuş verilerinden uçakların tipi, uçakların iniş zamanları, uçuş türü ve uçakların kalkış zamanları hazırlanan SIMMOD modeline girilmiştir. Alternatif senaryoda uçakların taksi yolları ve park yerleri hazırlanan algoritma çerçevesinde SIMMOD Pro tarafından tanımlanmıştır.

4.6. Senaryoların Koşturulması

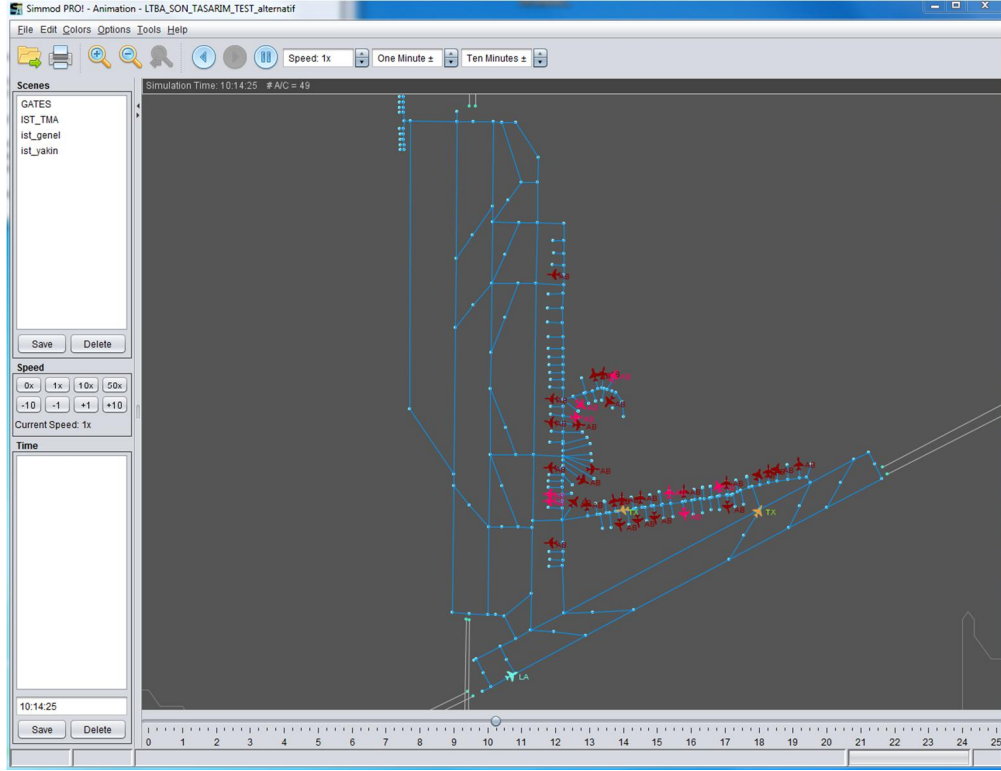
Simülasyon ortamında İstanbul Atatürk Havalimanı'nın analizi sonucunda ulaşılmaması hedeflenen çıktılar şunlardır:

- Belirlenen trafik senaryoları için pik saat trafiğinde havalimanı kapasitesine ve hem havada hem de yerde gerçekleşen gecikmelere ilişkin nicel değerlendirme raporları,
- Belirlenen trafik senaryoları için pik saat trafiğinde havaalanında gecikmelerin ve varsa tıkanıklıkların gerçekleştiği noktalar,
- Belirlenen trafik senaryoları için pik saat diliminde gerçekleşen trafik akışının bilgisayar animasyonları,

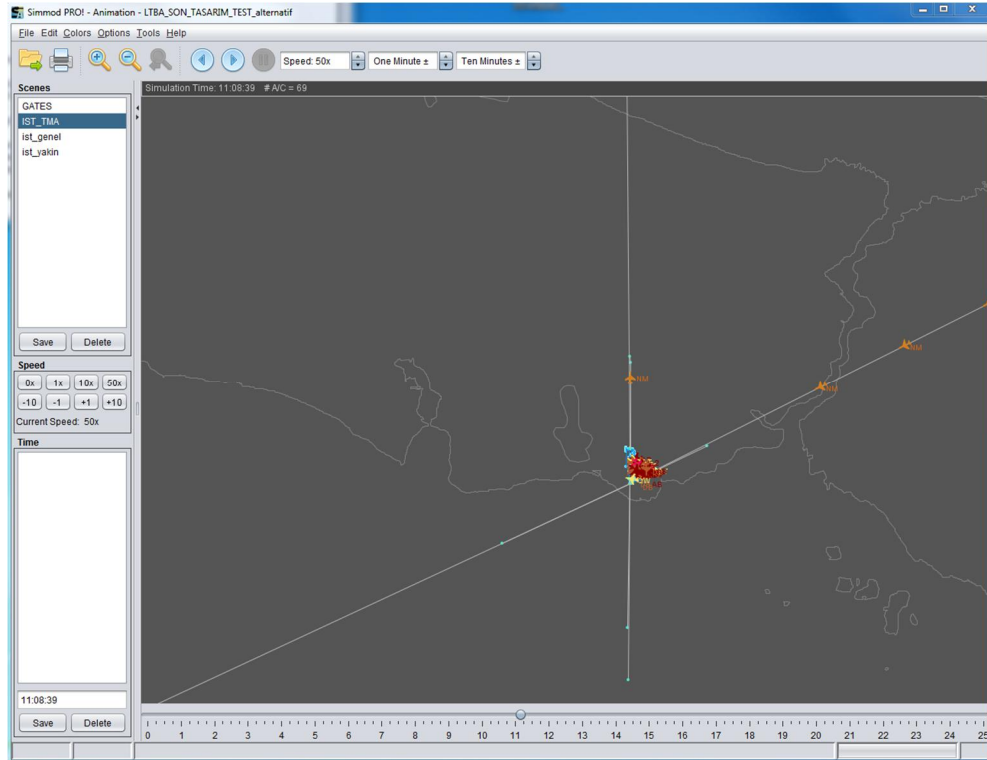
SIMMOD Pro'da hazırlanan İstanbul Atatürk Havalimanı modeline Bölüm 4.2.3'te analiz edilen 4 saatlik zaman dilimi kullanıldı. Bu 4 saatin ilk 2 saati pik saat koşullarını daha iyi temsil etmek için ısınma süresi olarak alınmıştır. Son 1 saat ise simülasyon senaryolarının pik saat sonrasında devrolan operasyonları gözlemlemek için soğuma süresi olarak kullanılmıştır. Uçuş verilerinin simülasyon üzerinde koşturulması için 10 adet iterasyon isteminde bulunulmuştur. Fakat referans senaryoda gerçek uçuş verileri üzerinde çalışıldığı için 10 adet iterasyon

isteminden sadece 3 tane çıktı sağlanabildi. Referans senaryoda 3 adet iterasyonun çıktısının alınabilmesinin sebebi, diğer 7 iterasyon süresince “gridlock” adı verilen simülasyonun belirli anında kilitlenmesi ile karşılaşılmasıdır. Bu durum gerçek senaryonun İstanbul Atatürk Havalimanı’nda uygulama alternatifinin olmadığını göstermektedir. Yapılan operasyonların esnekliğinin az olması iterasyon sayısının azalmasına neden olmaktadır. Buna karşılık alternatif senaryodaki esnekliğin daha fazla olması 10 iterasyonun da çıktısını vermeyi sağlamıştır.

SIMMOD Pro’dan elde edilen, uçakların havalimanında bulunduğu noktalardaki bütün hareketlerini içeren SIMU26 verileri simülasyon senaryolarının analizinde kullanılmıştır. Bu verilerin analizinin dışında SIMU48 adındaki senaryoların genel durumlarına ilişkin performans raporlarını veren sonuçlar da kullanılmıştır. Bu sayede senaryoların genel karşılaştırılması yapılmıştır. Aynı zamanda SIMMOD Pro üzerinde oluşturulan senaryoların animasyonları izlenerek elde edilen sonuçların tutarlılığı teyit edilmiştir (Şekil 4.17, Şekil 4.18).



Şekil 4.17 SIMMOD Animator'ündeki İstanbul Atatürk Havalimanı'nın uçuşların yakın plan görünümü



Şekil 4.18 SIMMOD Pro Animator'ü üzerindeki İstanbul Atatürk Havalimanı uçuşlarının genel plan görünümü

5. SONUÇLAR

Simülasyonlar öncelikle tek bir iterasyonla koşturuldu. Bu sayede referans senaryoda yaşanan gridlock'lar yüzünden SIMU48 sonuçlarının anlamsız veriler üretmenin önüne geçildi. Sonra SIMMOD Pro'nun oluşturduğu SIMU48 sonuç raporuyla simülasyonun genel verilerini inceleyebilme imkanı bulundu. Bunun sonucu olarak da yapılan çalışmanın alternatif ve referans senaryoları arasındaki farklar ilk aşamada gözlemlendi.

Hazırlanan park yeri ve taksi yolu tahsisi algoritma modeli ile 4 saatlik simülasyon süresinin pik saatinde 2 adetlik kalkış operasyonu artışı olduğu görülmüştür (Çizelge 5.1). Bu pik saatteki artış modelin istenilen seviyede trafik akışını artırdığı gözlemlenmiştir.

Çizelge 5.1 Simülasyon süresince gerçekleşen operasyon sayıları

	Referans			Alternatif		
	İniş	Kalkış	Toplam	İniş	Kalkış	Toplam
16:00-17:00	1	0	1	1	0	1
17:00-18:00	21	20	41	21	20	41
18:00-19:00	28	30	58	28	32	60
19:00-20:00	29	28	57	29	26	55
20:00-21:00	29	16	45	29	16	45

SIMU48 dosyasından alternatif ve referans senaryonun gelen uçakların toplam taksi sürelerine Çizelge 5.2'e baktığımızda 4 saatlik simülasyon süresince alternatif senaryoda 86,5 dakikalık bir taksi süresi 6,1 dakikalık da taksi gecikme süresi kazancı olmuştur. Bu rakamlar uçak başına ortalaması alındığında alternatif senaryoda taksi sürelerinde 48 saniyelik taksi gecikme sürelerinde ise yaklaşık 5 saniyelik bir kazanç olmuştur.

Çizelge 5.2 İnen uçakların taksi süreleri karşılaştırması

	<i>İnen uçakların toplam taksi süreleri (dk.)</i>	<i>İnen uçakların toplam taksi gecikme süreleri (dk.)</i>	<i>İnen uçakların uçak başına ortalama taksi süreleri (dk.)</i>	<i>İnen uçakların uçak başına ortalama taksi gecikme süreleri (dk.)</i>
<i>Referans</i>	1869,8	261,6	5	0,06
<i>Alternatif</i>	1783,3	255,5	4,2	0
<i>Fark</i>	86,5	6,1	0,8	0,06

Aynı şekilde SIMU48 dosyasından alternatif ve referans senaryonun kalkan uçaklar için toplam taksi sürelerine Çizelge 5.3'e baktığımızda 4 saatlik simülasyon süresince alternatif senaryoda 63,5 dakikalık taksi süresi, bununla birlikte 14,3 dakikalık da bir toplam taksi gecikme süresi kazancı olmuştur. Bu rakamların uçak başına ortalaması alındığında alternatif senaryoda taksi sürelerinde yaklaşık 42 saniyelik taksi gecikme sürelerinde ise yaklaşık 4 saniyelik bir kazanç olmuştur.

Çizelge 5.3 Kalkan uçakların taksi süreleri karşılaştırması

	<i>Kalkan uçakların toplam taksi süreleri (dk.)</i>	<i>Kalkan uçakların toplam taksi gecikme süreleri (dk.)</i>	<i>Kalkan uçakların uçak başına ortalama taksi süreleri (dk.)</i>	<i>Kalkan uçakların uçak başına ortalama taksi gecikme süreleri (dk.)</i>
<i>Referans</i>	598,4	228,7	4,73	0,57
<i>Alternatif</i>	534,9	214,4	4,06	0,5
<i>Fark</i>	63,5	14,3	0,67	0,07

Bekleme noktasındaki uçakların bekleme sürelerindeki gecikme miktarlarına baktığımızda alternatif senaryoda kalkan uçakların uçak başına 7 saniyelik bir fayda sağladığı görülmektedir (Çizelge 5.4).

Çizelge 5.4 Kalkan uçakların bekleme noktası ortalama gecikme süreleri

*Kalkan uçakların bekleme noktası gecikmesi
uçak başına ortalama süreleri (dk.)*

<i>Referans</i>	1,67
<i>Alternatif</i>	1,56
<i>Fark</i>	0,11

SIMU48 çıktılarının incelemesinden sonra senaryoların iterasyon sayıları artırılarak alternatif ve referans senaryolara ait iterasyon çıktılarından elde edilen daha detaylı SIMU26 verileri ile senaryoların derinlemesine incelemeleri yapıldı. Ancak elde edilen SIMU26 verilerinin işlenerek analiz edilebilir hale getirilmesi için SIMU26 verilerden şu parametreler alındı:

1. Toplam pist işgaliet yüzdesi (%),
2. Kalkış uçaklarının taksi için pist işgaliet yüzdesi (%),
3. İniş uçaklarının taksi için pist işgaliet yüzdesi (%),
4. Toplam iniş uçaklarının taksi süresi,
5. Ortalama iniş uçaklarının taksi süresi,
6. Toplam kalkış uçaklarının taksi süresi,
7. Ortalama kalkış uçaklarının taksi süresi,
8. Pist başı bekleme noktası toplam bekleme süreleri,
9. Pist başı bekleme noktası kalkış uçakları başına ortalama bekleme süreleri.

Toplam pist işgaliet yüzdesi, kalkan ve inen uçakların piste girişinden terk edişine kadarki sürelerinin toplamının simülasyon süresine oranını gösterir.

Kalkış uçakları için pist işgaliet yüzdesi, kalkan uçakların bekleme noktasından piste girişinden pist nihai hattını terkedene kadarki sürelerinin simülasyon süresine oranını gösterir.

İniş uçakları için pist işgaliet yüzdesi, inen uçakların teker koymasından pisti terkedene kadarki sürelerinin toplam simülasyon süresine oranını gösterir.

Toplam iniş uçaklarının taksi süresi, inen uçakların pisti terkedişinden park yerine ulaşana kadar ki taksi sürelerinin toplamıdır.

Ortalama iniş uçaklarının taksi süresi, toplam iniş uçaklarının taksi süresinin toplam inen uçak sayısına oranıdır.

Toplam kalkış uçaklarının taksi süresi, kalkan uçakların park yerini terk edişinden pist pist bekleme noktasına kadarki taksi sürelerinin toplamıdır.

Ortalama kalkış uçaklarının taksi süresi, toplam kalkış uçaklarının taksi süresinin toplam kalkan uçak sayısına oranını verir.

Pist başı bekleme noktası toplam bekleme süreleri, taksisini tamamlayan kalkış uçaklarının bekleme noktasında piste girene kadar geçirdiği sürelerin toplamını belirtir.

Pist başı bekleme noktası kalkış uçakları başına ortalama bekleme süreleri, pist başı bekleme noktası toplam bekleme süresinin kalkan uçak sayısına oranını belirtir.

Bu parametre çıktıları referans senaryodaki 3 iterasyona (Çizelge 5.5), alternatif senaryoda ise 10 iterasyona uygulandı (Çizelge 5.6). Elde edilen verilerin ortalamaları alındı. Bu ortalamalar ile iki senaryonun karşılaştırması yapılabildi.

Referans senaryodaki 10 iterasyondan sadece 3 tanesinin sonuçlarını değerlendirebilmemizin sebebi referans model tamamen gerçek veriler üzerine kurulmuş olmasıdır. Gerçek veriler SIMMOD Pro'nun model üzerinde çok fazla değişiklik yapmasına imkân tanımamaktadır. Bu yüzden diğer 7 model çalışırken belirli zamanlarında “gridlock” adını verdiğimiz simülasyonun belirli anında kilitlenmesine neden olmaktadır.

Alternatif senaryoda park yeri tahsisi sürecinde optimum yöntem kullanıldığı için koşturulan 10 iterasyonun da sonucu alınabilmektedir. Bu sayede alternatif senaryomuzun ne kadar esnekliğe sahip olduğu görülebilmektedir.

Çizelge 5.5 Referans senaryo iterasyonlarının çıktıları

Referans	Toplam Pist İşgaliyet Yüzdesi (%)	Kalkış Uçakları İçin Pist İşgaliyet Yüzdesi (%)	İniş Uçakları için Pist İşgaliyet Yüzdesi (%)	Toplam İniş Uçaklarının Taksi Süresi	Ortalama İniş Uçaklarının Taksi Süresi	Toplam Kalkış Uçaklarının Taksi Süresi	Ortalama Kalkış Uçaklarının Taksi Süresi	Pist Başı Bekleme Noktası Toplam Bekleme Süreleri	Pist Başı Bekleme Noktası Kalkış Uçakları Ortalama Bekleme Süreleri
3. İterasyon	42,86	19,75	23,10	1:39:00	0:04:31	1:59:00	00:04:47	0:22:00	00:01:10
6. İterasyon	43,66	20,31	23,36	1:37:00	0:04:28	1:53:00	00:04:40	0:27:00	00:01:06
8. İterasyon	43,06	19,98	23,08	1:49:00	0:04:36	2:15:00	00:05:03	0:23:00	00:01:08
Ortalama	43,19	20,01	23,18	01:41:40	00:04:32	02:02:20	00:04:50	00:24:00	00:01:08

Çizelge 5.6 Alternatif senaryo iterasyonlarının çıktıları

Alternatif	Toplam Pist İşgaliyet Yüzdesi (%)	Kalkış Uçakları İçin Pist İşgaliyet Yüzdesi (%)	İniş Uçakları için Pist İşgaliyet Yüzdesi (%)	Toplam İniş Uçaklarının Taksi Süresi	Ortalama İniş Uçaklarının Taksi Süresi	Toplam Kalkış Uçaklarının Taksi Süresi	Ortalama Kalkış Uçaklarının Taksi Süresi	Pist Başı Bekleme Noktası Toplam Bekleme Süreleri	Pist Başı Bekleme Noktası Uçakları Ortalama Bekleme Süreleri
1. İterasyon	43,15	19,96	23,19	1:17:00	0:03:32	1:38:00	0:03:59	0:18:00	0:01:04
2. İterasyon	43,22	20,17	23,05	1:11:00	0:03:32	1:42:00	0:03:49	0:18:00	0:00:52
3. İterasyon	44,02	20,50	23,52	1:28:00	0:03:42	1:37:00	0:04:03	0:20:00	0:01:06
4. İterasyon	43,80	20,29	23,51	1:27:00	0:03:40	1:43:00	0:04:26	0:27:00	0:01:10
5. İterasyon	44,29	20,59	23,69	1:34:00	0:03:41	1:41:00	0:04:09	0:18:00	0:01:00
6. İterasyon	45,06	20,91	24,15	1:29:00	0:03:53	1:42:00	0:04:08	0:16:00	0:01:01
7. İterasyon	44,70	20,74	23,96	1:19:00	0:03:44	1:43:00	0:04:10	0:18:00	0:01:01
8. İterasyon	44,89	20,66	24,23	1:25:00	0:04:01	1:40:00	0:03:57	0:17:00	0:00:59
9. İterasyon	44,29	20,53	23,76	1:30:00	0:03:49	1:47:00	0:04:23	0:24:00	0:01:06
10. İterasyon	44,74	20,87	23,87	1:21:00	0:03:52	1:36:00	0:03:59	0:16:00	0:01:00
Ortalama	44,22	20,52	23,69	1:24:06	0:03:45	1:40:54	0:04:06	0:19:12	0:01:02

5.1. Pist işgaliyet yüzdeleri karşılaştırması:

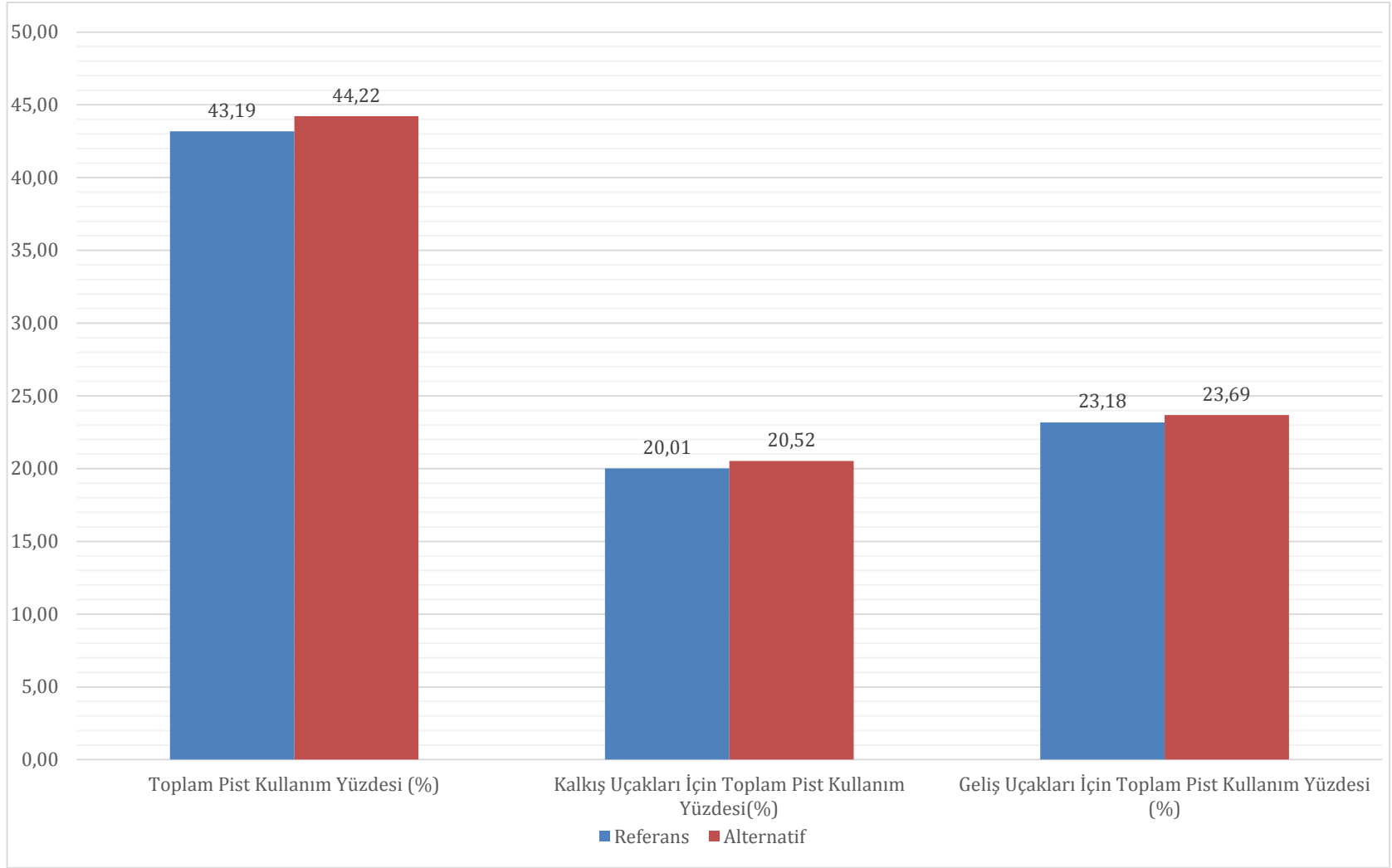
Toplam pist işgaliyet yüzdesi havaalanının iniş ve kalkış operasyonlarının ne kadar verimli bir şekilde yapılabildiğini göstermektedir. Alternatif ve referans senaryo arasındaki yüzde farkı ise o senaryodaki operasyonların daha fazla yapılabildiğini göstermektedir.

Referans senaryonun pist işgaliyet yüzdesi %43,19 iken alternatif senaryodaki pist işgaliyet yüzdesi %44,22 olarak görülmektedir (Şekil 5.1). Bu değerleri karşılaştırdığımızda alternatif senaryoda operasyon verimliliğinin biraz daha fazla olduğunu görülmektedir.

Alternatif senaryodaki kalkın uçaklarda bu oran %20,52 iken referans senaryoda %20,01 olduğu görülmektedir (Şekil 5.1). Bu değerin, alternatif senaryoda senaryonun bitiş süresinin kısa olmasından dolayı daha yüksek olduğu görülmektedir. Yani simülasyon verimliliği daha fazladır.

İnen uçaklarda ise referans senaryoda işgaliyet yüzdesi %23,18 iken, alternatif senaryoda bu değer %23,69 olarak görülmektedir (Şekil 5.1). Toplam simülasyon sürelerinin alternatif senaryoda daha kısa olmasından dolayı alternatif senaryonun pist işgaliyet yüzdesi daha yüksek çıkmıştır.

Alternatif senaryoda toplam pist işgaliyet süresine bakıldığında referans senaryoya göre %1,03'lük bir artış olduğu gözlemlendi. Bu artış iterasyonların toplam sürelerinde ortalama 3 dakikalık bir azalma sağlamıştır. Bu azalma İstanbul Atatürk Havalimanı'nda yapılan operasyonların tamamlanmasına 1 saat içinde ortalama 3 dakika kazandırmaktadır.



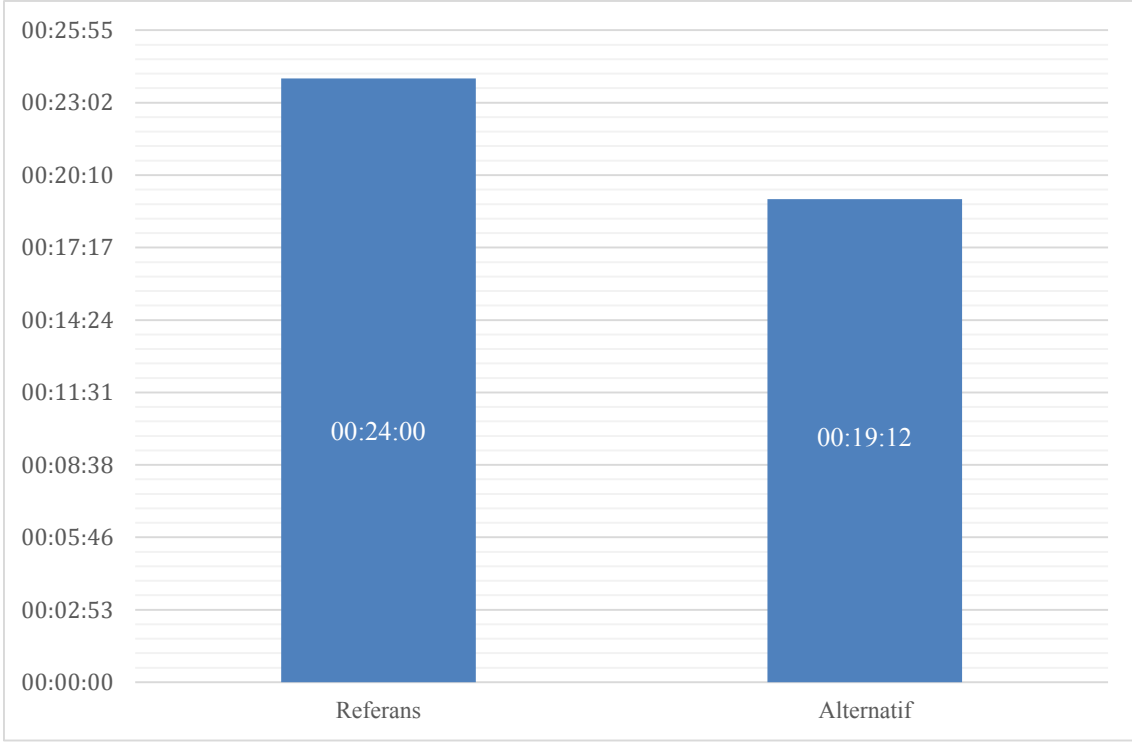
Şekil 5.1 Pist kullanım oranları karşılaştırması

5.2. Pist başı bekleme noktası bekleme süreleri karşılaştırması:

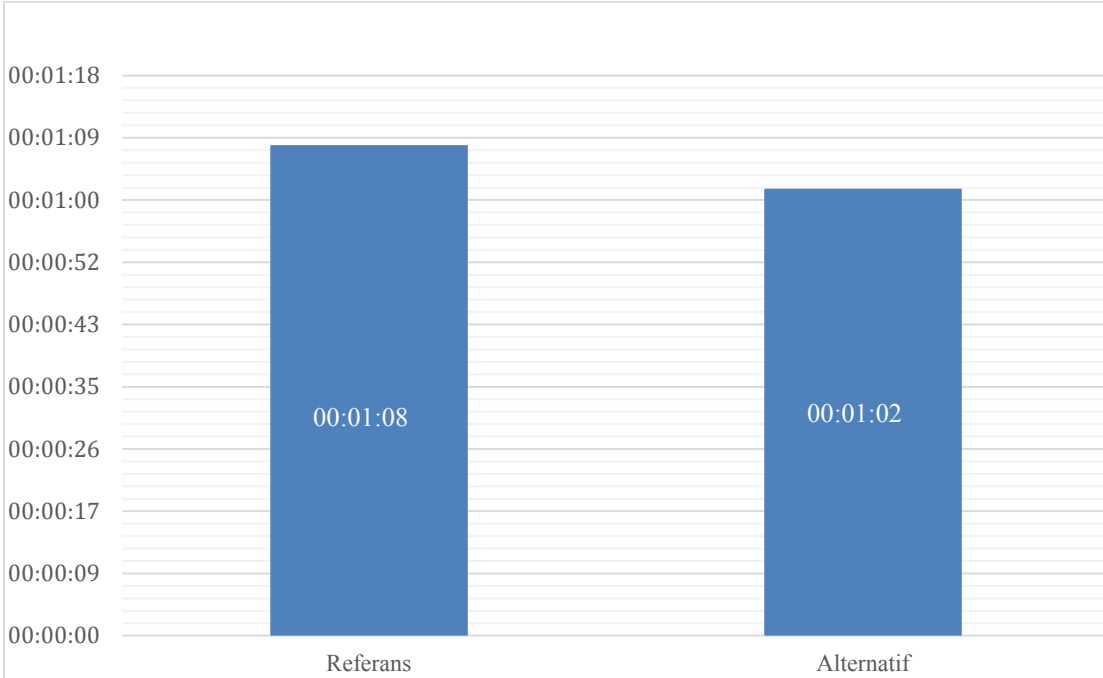
İstanbul Atatürk Havalimanı'nda 35 pistleri kalkış için 05 pisti de iniş için seçildiğinde kalkış ve inişler için bağımsız operasyon düzenlenebildiği için pist bekleme süreleri uçakların taksilerini tamamladıktan sonra bir sonraki uçağın kalkışını müteakiben piste girene kadarki geçen süreleridir.

Referans senaryoda kalkış uçakları için pist başı toplam bekleme sürelerinin ortalaması 24 dakika iken, alternatif senaryoda bu değer 19 dakika 12 saniyedir (Şekil 5.2). Yaklaşık 4 dakika 48 saniyelik bir kazanç sağlanmıştır.

Uçak başına pist başı bekleme ortalama süresi alternatif senaryoda 1 dakika 2 saniye iken, referans senaryoda bu süre 1 dakika 8 saniye olarak karşımıza çıkmaktadır (Şekil 5.3). Yani uçak başına alternatif senaryoda 6 saniyelik bir kazanç elde edilmektedir. İstanbul Atatürk Havalimanı'nda günde ortalama 500 kalkış operasyonu düzenlendiğinden günde yaklaşık 1 saatlik kazanç sağlayabilmektedir. Bu 1 saatlik kazancın yakıt olarak getirisi yaklaşık 1 uçağın rölantide 1 saat motorunu çalıştırmasına eş değerdir.



Şekil 5.2 Kalkış uçakları için toplam pist başı bekleme süresi



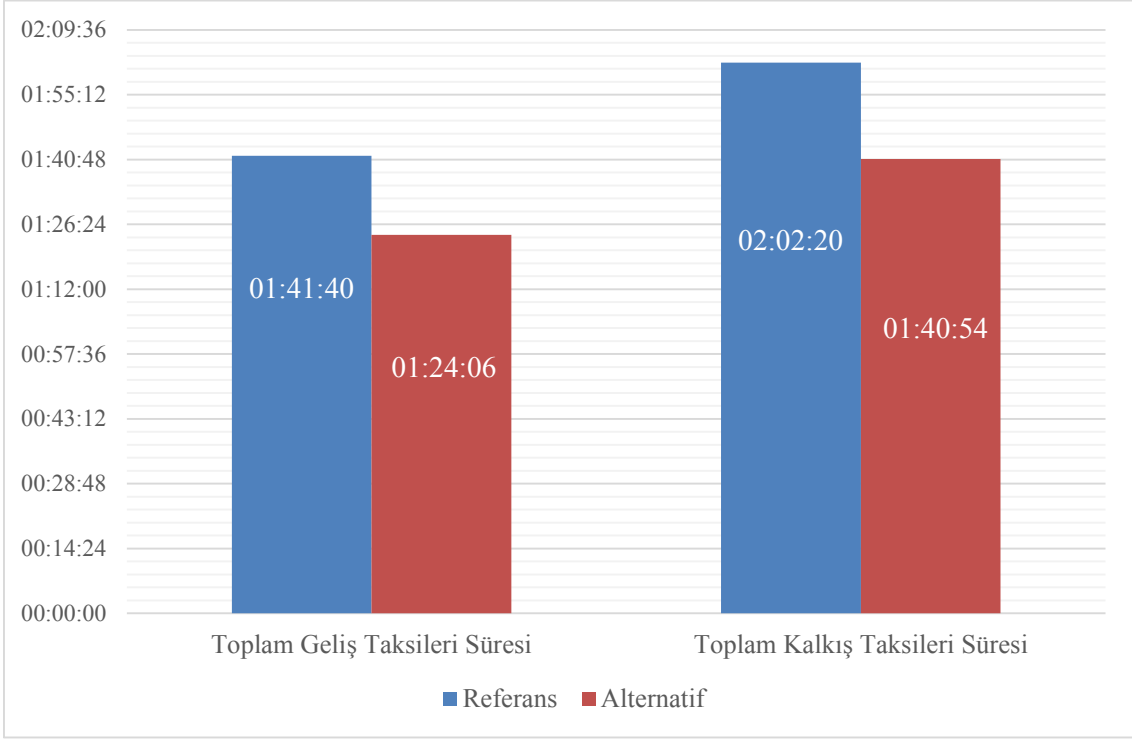
Şekil 5.3 Kalkış uçakları için uçak başına ortalama pist başı bekleme süresi

5.3. Uçakların Taksi Süreleri Karşılaştırması

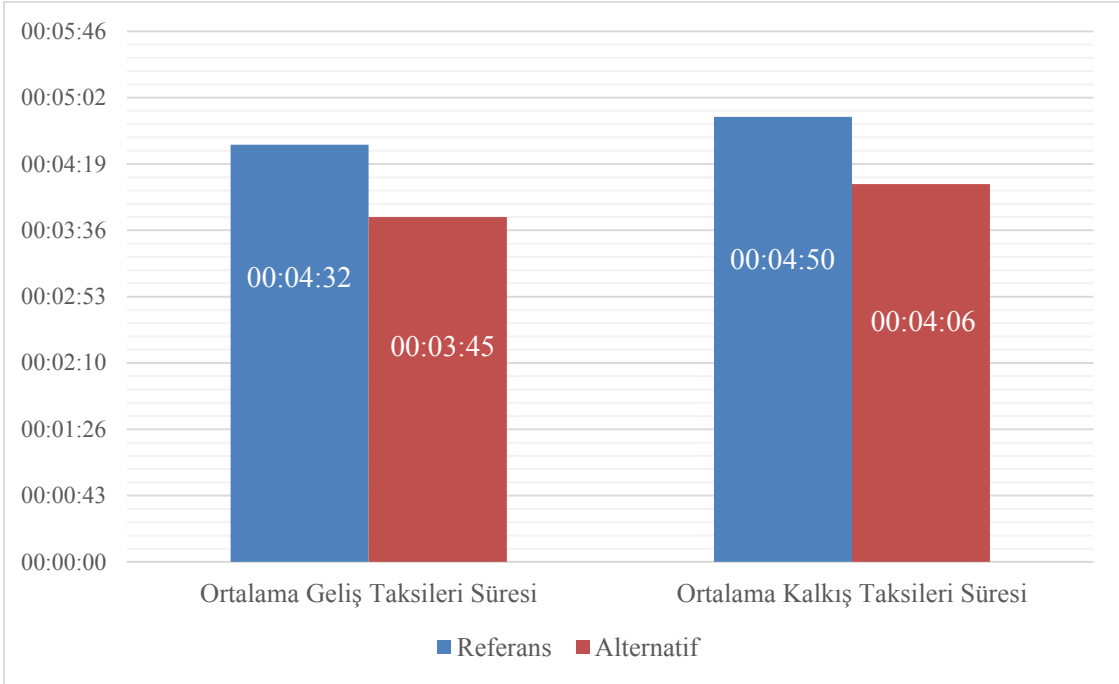
Uçakların taksi sürelerini karşılaştırırken iki ayrı aşamada bu verileri karşılaştırmak gerekmektedir. Bunlar iniş uçakları için taksi süreleri ve kalkış uçakları için taksi süreleridir. İniş uçakları 05 pistine geldikleri için pisti terk ettikleri noktadan park pozisyonlarına varışları sırasında kalkan uçaklarla taksi yollarının belirli bölgelerinde karşılaşmaktadırlar. Bu karşılaşmalardan kaynaklı olarak iniş uçaklarının taksi süreleri çeşitlilik göstermektedir. İniş ve kalkış trafiklerinin taksi sürelerini karşılaştırıldığı zaman iniş trafiklerinde değişikliğin daha çok olduğu gözlenmektedir. Bunun en büyük sebebi kalkış trafiğinin taksi önceliği Atatürk Havalimanı Hava Trafik Kontrol kulesi yetkilileri tarafından belirlenmesidir. Bu yüzden çakışmalar sırasında mümkün olduğunca iniş trafikleri taksileri sırasında bekletilmektedir.

İnen trafiklerin referans ve alternatif senaryoda toplam taksi süreleri karşılaştırıldığında 17 dakikalık bir fark oluştuğu gözlenmektedir (Şekil 5.4). Bunun en büyük sebebi uçaklara park pozisyonlarına giderken en uygun yolun seçilmesidir. Buna ek olarak park yeri tahsisi de o uçak tipi için uygun, hava yolu şirketinin talebini karşılayan en yakın park pozisyonunda seçilmesi bu farkın oluşmasını sağlamaktadır. İnen trafiklerin uçak başına taksi süreleri arasındaki referans ve alternatif senaryodaki fark ise yaklaşık 45 saniyedir (Şekil 5.5). Yani alternatif metot ile havaalanında operasyonlar süresince uçakların taksi sürelerinde 45 saniyelik bir azalma görülmektedir.

İstanbul Atatürk Havalimanı'nın taksi yollarında uçakların bekleme yaptıkları noktalar her iki senaryoda da benzer noktalardır. Ancak referans senaryodaki taksi yollarındaki tıkanıklık noktalarına bakıldığında G ve F taksi yollarının kesişim noktası olan noktada özellikle kalkış ve iniş uçakları arasında karşılaşmalar olduğu için bu nokta gecikmelerin en çok yaşandığı yer olarak görülmektedir (Şekil 5.6). Alternatif senaryoya bakıldığında o noktada beklemenin olmadığı gözlemlenmekte ve gecikme yaşanan noktalar çok az olmakla beraber havaalanının geneline yayıldığı görülmektedir (Şekil 5.7).



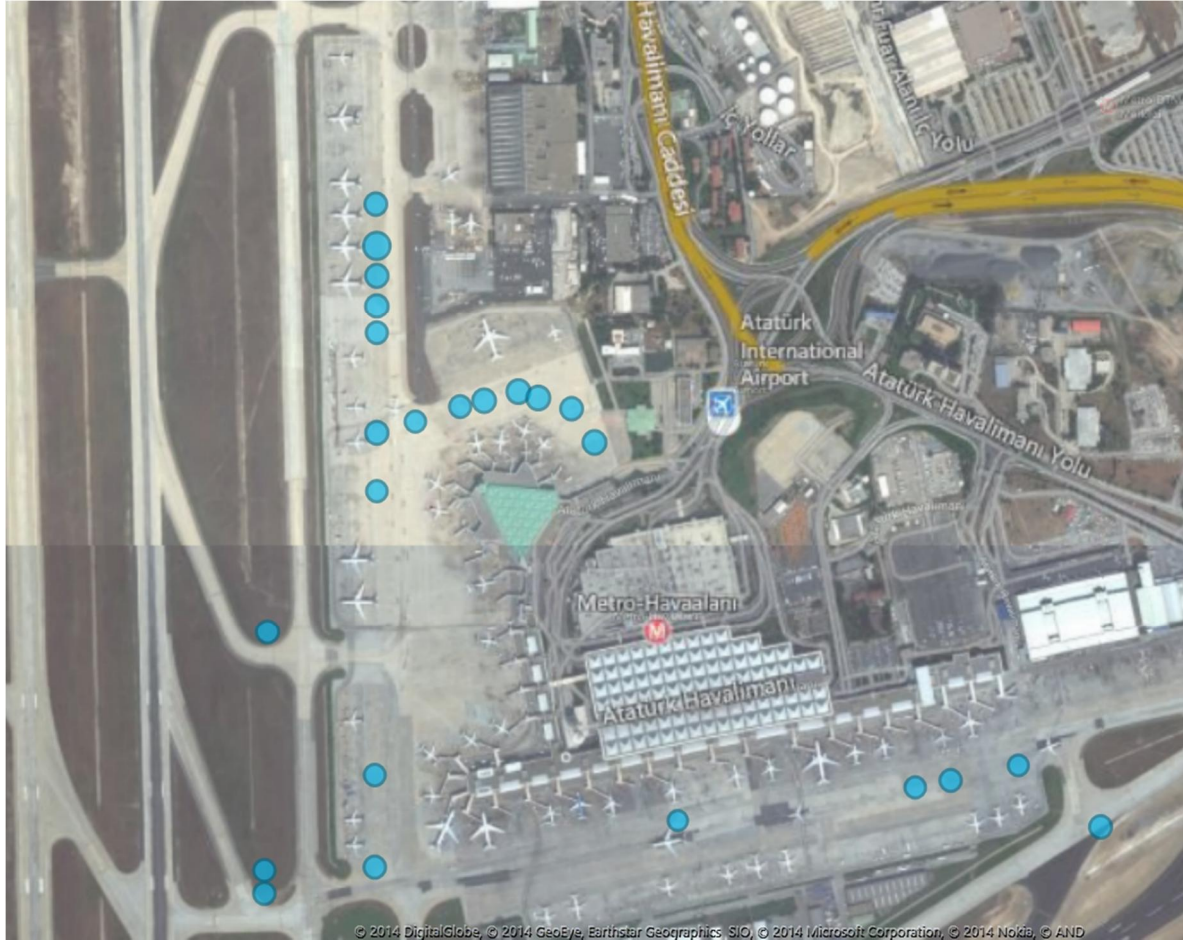
Şekil 5.4 Toplam Taksi Süreleri Karşılaştırması



Şekil 5.5 Ortalama Taksi Süreleri Karşılaştırması



Şekil 5.6 Ağırlıklandırılmış referans senaryo taksi bekleme noktaları



	Referans (sn.)	Alternatif (sn.)
Nokta 1	143	19
Nokta 2	117	14
Nokta 3	67	25
Nokta 4	32	21
Nokta 5	21	22
Nokta 6	22	14
Nokta 7	19	26
Nokta 8	4	14
Nokta 9	13	0
Nokta 10	1	8
Nokta 11	7	17
Nokta 12	0	21
Nokta 13	53	0
Nokta 14	27	0
Nokta 15	0	27
Nokta 16	0	17
Nokta 17	0	23

Şekil 5.7 Ağırlıklandırılmış alternatif senaryo taksi bekleme noktaları

5.4. Park Yeri Kullanım Süreleri Karşılaştırması

Park yeri kullanım süreleri karşılaştırması körüklü park yeri ve açık park yeri olarak yapılmıştır. Bu ayırım havayolu şirketlerinin talepleri nedeniyle yapılmaktadır. Düşük maliyetli (Low-cost) uçuş gerçekleştirmek isteyen havayolu şirketleri özellikle açık park pozisyonlarını tercih ederken, düşük maliyetli uçuş tercih etmeyip (Highest Quality) yolcularının otobüs kullanmadan körükler vasıtasıyla terminal binasına ulaşmasını tercih eden hava yolu şirketleri körüklü park yerlerini tercih etmektedir. Körüklü park yerlerinin sayılarının az olması nedeniyle bu park pozisyonu talebinde bulunan havayolu şirketlerine körüklü park pozisyonlarının tahsisi sürecinde sıkıntılar yaşanmaktadır. Özellikle bazı havayolu şirketlerine ait lounge'ların konumlarına göre park yeri tercihleri de tahsis aşamasında imkanları kısıtlamaktadır.

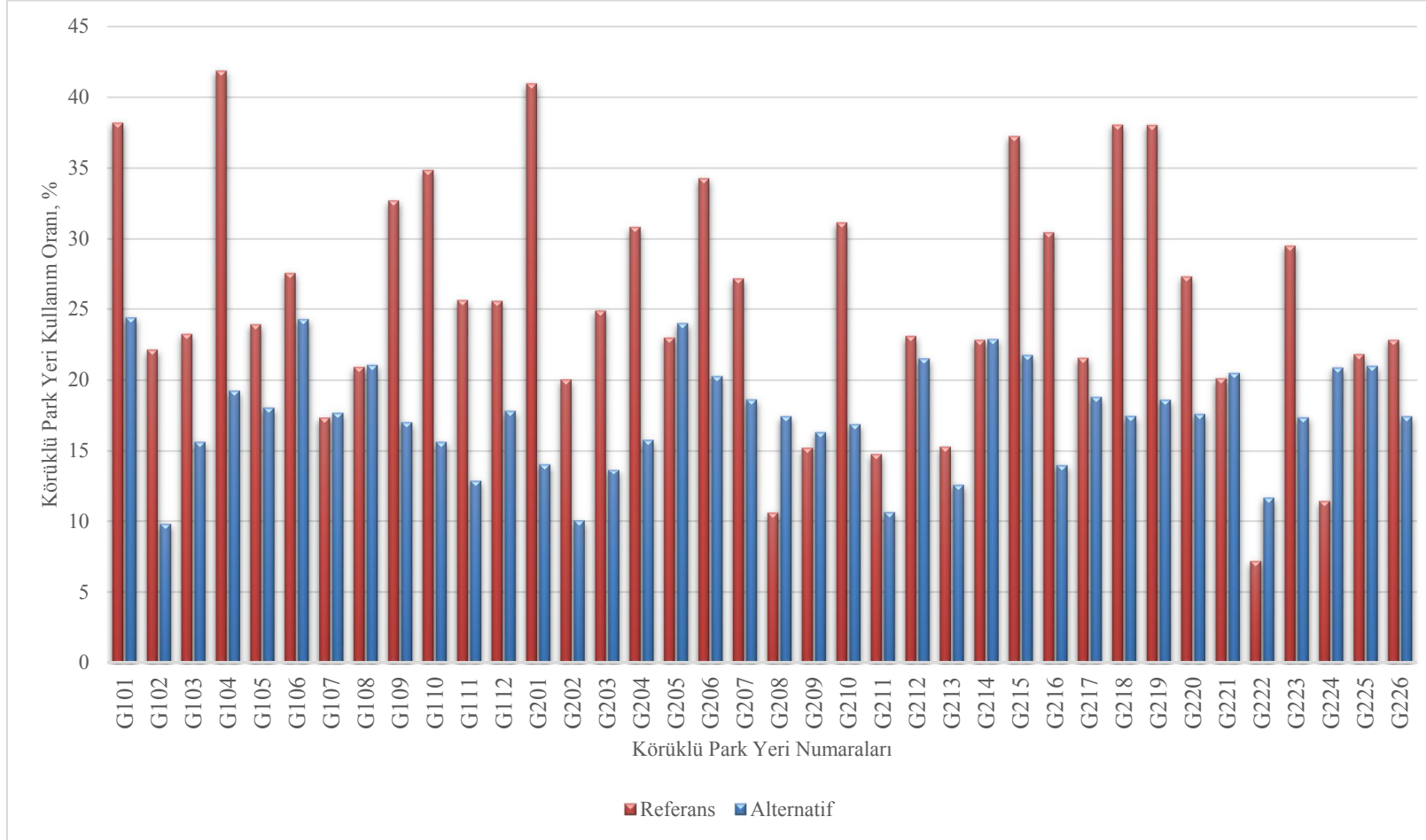
SIMMOD Pro'da oluşturulan referans senaryolardaki 4 saatlik simülasyon süresindeki park yerlerinin kullanım oranlarına bakıldığında körüklü ve açık park yerlerinin kullanım oranının yakın değerlerde olmaması, açık park yerlerinin kullanımının verimli bir şekilde yapılamadığının bir göstergesidir (Çizelge 5.7). Alternatif senaryoda ise kullanım oranlarının birbirine yakın olması daha homojen bir dağılım olduğu gözlemlenebilmektedir.

Çizelge 5.7 Senaryoların park yerleri kullanım oranı ve süreleri

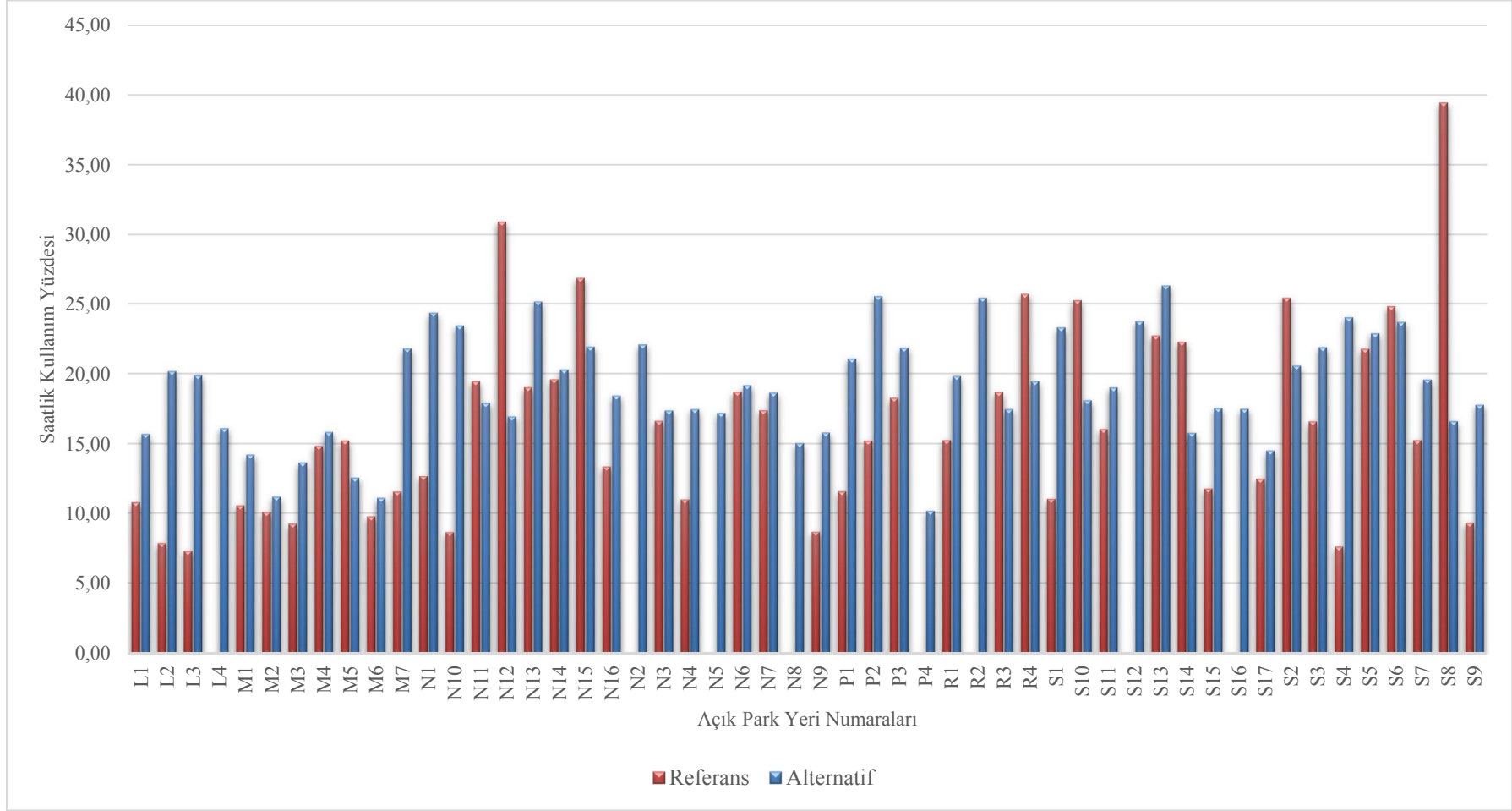
	<i>Referans</i>	<i>Alternatif</i>
<i>Körüklü Park Yeri Senaryo Süresince Kullanım Oranı (Alternatif,%)</i>	25.63	17.51
<i>Ortalama Körüklü Park Yeri Kullanım Süresi</i>	01:18:36	00:52:48
<i>Açık Park Pozisyonlarının Senaryo Süresince Kullanım Oranı (%)</i>	11.19	16.28
<i>Ortalama Açık Park Yeri Kullanım Süresi</i>	00:34:12	00:49:12

Şekil 5.8’de körüklü park yeri kullanım oranlarının referans senaryoda bazı park yerlerine simülasyon süresinin yaklaşık %40’ı oranında kullanımı olurken, bazı park yerlerinde bu oran %10’lara kadar düşmektedir. Ancak alternatif senaryoya bakıldığında körüklü park yeri tahsisi dağılımının homojen bir şekilde yapılabildiği görülmektedir. Açık park yerlerinde de aynı durum söz konusudur. Alternatif senaryonun kullanım oranı referans senaryonun kullanım oranına göre daha homojen bir park yeri tahsisi söz konusudur (Şekil 5.9).

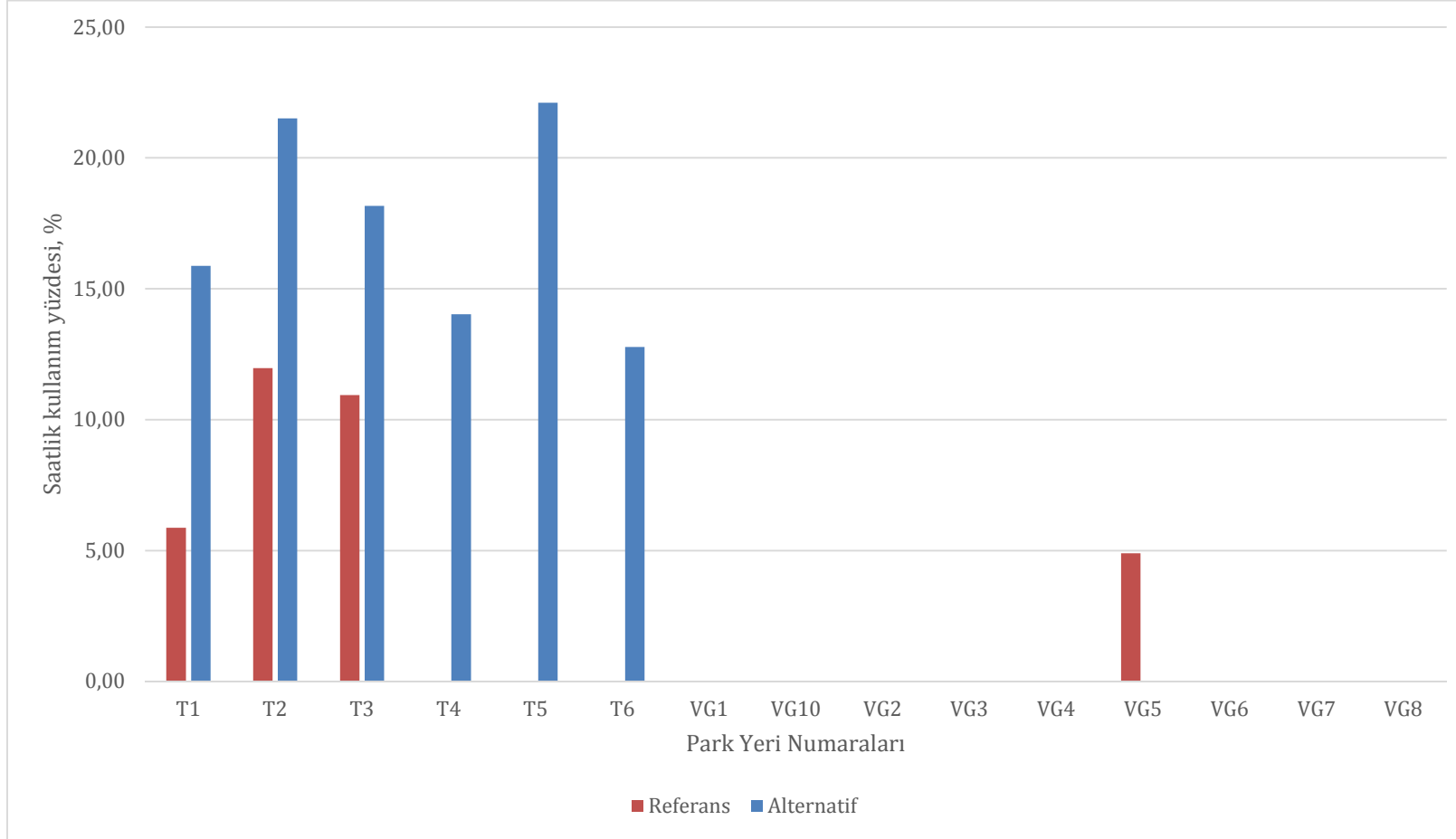
Kargo ve genel havacılık apronunun kullanımı referans senaryoda daha az iken, alternatif senaryoda özellikle konaklama süresi uzun olan uçakların park yeri tahsisini hibrit dinamik sistem algoritması bu park yerlerine yapmıştır (Şekil 5.10).



Şekil 5.8 Körüklü park yerleri kullanım oranı



Şekil 5.9 Açık park pozisyonu kullanım yüzdesi



Şekil 5.10 Kargo ve genel havacılık apronu park yerleri kullanım yüzdesi

6. TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Hızlı zamanlı simülasyon modeli üzerindeki Bölüm 5’te analiz edilen sonuçlar ile hibrit dinamik park yeri tahsis sisteminin geleneksel yöntemlere göre kararlılığı daha yüksek bir sistem olduğu görülebilmektedir. Sistemin getirdiği en büyük avantaj olan havalimanındaki gecikmelerin en aza indirilmesinin yanı sıra tahsis sürecinde konvansiyonel yöntemlerde operatörlerden kaynaklı problemler de ortadan kaldırılmıştır. Çünkü sistemin karar verme aşamasında özgün algoritmasını kullanarak tahsis yapılan park yeri ve taksi yolu bilgisini veriyor olması operatörlerin emek yoğun çalışmalarını en aza indirmektedir.

Havalimanlarının kapasitelerini artırmaya yönelik yapısal çalışmaların mümkün olmadığı meydanlarda bu artış operasyonel verimlilik artırılarak sağlanır. Operasyonel verimliliği sağlayabilmek için ise havalimanı organizasyonunun işleyişinde zayıf halkaların bulunmaması gerekmektedir. Ancak İstanbul Atatürk Havalimanı gibi matematiksel kapasitesinin üzerinde hizmet vermesi gereken havalimanlarında en çok karşılaşılan problem park yeri tahsis planlamasının etkin bir şekilde yapılamıyor olmasıdır.

Havalimanlarına 24 saatlik dilimde gelebilecek maksimum uçak sayısı, kapıların 24 saatte hizmet verebileceği toplam sürenin turnaround sürelerine eklenen tampon süresine oranı ile bulunabilmektedir. Bir başka deyişle kapasite hesabında uçakların turnaround sürelerine diğer bir uçağın planlanması esnasında kalkacak ve inecek uçakların karşılaşmaması için tampon süre eklenmektedir. Bu tampon süreleri de bir park yerine günlük 12 uçağın park etmesi durumunda toplam 4-6 saatlik kullanımın süresinin iyi bir şekilde değerlendirilememesine neden olmaktadır.

Havalimanlarının bir diğer problemi ise taksi yollarında manevra yapan uçakların yaşadığı gecikmeler ve çakışmalardır. Taksi yollarında yaşanan gecikmeler hem işgal edeceği park yerine daha geç bir sürede varmasına neden olmaktadır.

Bu çalışmanın elde edilen simülasyon sonuçları ile hem yakıt hem de emisyon hesapları yapılması planlanmaktadır. Bu sayede hibrit dinamik park yeri tahsisinin yakıt ve emisyon hesapları yapıldığında süre avantajlarının yanısıra ekolojik çevreye katkıları da ortaya çıkmış olacaktır.

Uygulama havalimanı olan İstanbul Atatürk Havalimanı'nda hibrit dinamik park yeri tahsisinin Bölüm 5'te de görüldüğü gibi hem park yerlerinin homojen kullanımında hem de uçakların taksi sürelerinin kısalmasında faydası olduğu görülmektedir. Çünkü ortaya konulan algoritmaya havalimanlarına özgü karar kriterleri de tanımlanabilmektedir. Bu sayede hibrit dinamik park yeri ve taksi yolu tahsisi algoritmasının bütün havalimanlarına uyarlanabilir bir sistem olduğu görülebilmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] DHMİ, DHMİ 2012 İstatistik Yıllığı, Ankara: Devlet Hava Meydanları İşletmesi Genel Müdürlüğü, 2013.
- [2] Braaksma, John P. and Shortreed, John H., *Improving airport gate usage with critical path method.*, Transportation Engineering Journal of ASCE, pp. 187-203, 1971.
- [3] Braaksma, J. P., *Reducing walking distances at existing airports*, International Transport Research Documentation, no. 7, p. 135, 1977.
- [4] Babic, O., Teodorovic, D. ve Tošic, V., *Aircraft stand assignment to minimize walking*, Journal of Transportation Engineering, cilt 1, no. 110, pp. 55-66, 1984.
- [5] Mangoubi, R. S. ve Mathaisel, D. F., *Optimizing gate assignment at airport terminals*, Transportation Science, cilt 1, no. 19, pp. 173-178, 1985.
- [6] Bihr, R. J., *A conceptual solution to the aircraft gate assignment problem using 0,1 linear programming.*, Computers & Industrial Engineering, Cilt 1 / %21-4, no. 19, pp. 280-284, 1990.
- [7] Totic, V., *A review of airport passenger terminal operations, analysis and modeling.*, Transportation Research-A, cilt 1, no. 26, pp. 3-26, 1992.
- [8] Obata, T., *The Quadratic Assignment Problem: Evaluation of Exact and Heuristic Algorithms.*, Rensselaer Polytechnic Institute, New York, 1979.
- [9] Haghani, A. ve Chen, M. C., *Optimizing gate assignments at airport terminals.*, Transportation Research-A, cilt 6, no. 32, pp. 437-454, 1998.
- [10] Brazile, R. P. ve Swigger, K. M., *GATES: An airline gate assignment and tracking expert system.*, IEEE Expert, pp. 33-39, 1988.
- [11] Gosling, G., *Design of an expert system for aircraft gate assignment.*, Transportation Research-A, cilt 1, no. 24, pp. 59-69, 1990.
- [12] Srihari, K. ve Muthukrishnan, R., *An expert system methodology for an aircraft-gate assignment.*, Computers & Industrial Engineering, Cilt 1 / %21-4, no. 21, pp. 101-105, 1991.

- [13] Xu, J. ve Bailey, G., *The airport gate assignment problem: Mathematical model and a tabu search algorithm.*, Proceedings of the 34th Hawaii International Conference on System Sciences, IEEE, 2001.
- [14] Gu, Y. ve Chung, C. A., *Genetic algorithm approach to aircraft gate reassignment problem.*, Journal of Transportation Engineering, no. 125, p. 384–389, 1999.
- [15] Hu, X. B. ve Di Paolo, E., *Genetic Algorithms for the Airport Gate Assignment: Linkage, Representation and Uniform Crossover*, Linkage in Evolutionary Computation, no. 157, pp. 361-387, 2008.
- [16] Ding J. ve Zhang Y., *A Discrete Particle Swarm Optimization Algorithm for Gate and Runway Combinatorial Optimization Problem*, Research Journal of Applied Sciences, cilt 10, no. 5, pp. 2997-3003, 2013.
- [17] H. Zhuo ve L. Cheng, *Ant Colony Algorithm and Simulation for Robust Airport Gate Assignment*, Hindawi Publishing Corporation Mathematical Problems in Engineering Volume, 2014.
- [18] Cheng, C. H., Ho, S. C. ve Kwan, C. L., *The use of meta-heuristics for airport gate assignment.*, Expert Systems with Applications, no. 39, pp. 12430-12437, 2012.
- [19] Yan, S., Shieh, C. Y. ve Chen, M., *A simulation framework for evaluating airport gate assignments.*, Transportation Research Part A, no. 36, pp. 885-898, 2002.
- [20] Yan, S. ve Huo, C. M., *Optimization of multiple objective gate assignments.*, Industrial Engineering, no. 63, pp. 1135-1144, 2001.
- [21] Maharjan, B. ve Matis, T. I., *Multi-commodity flow network model of the flight gate assignment problem*, Computers & Industrial Engineering, cilt 4, no. 63, pp. 1135-1144, 2012.
- [22] Cheng, Y., *A Knowledge-based airport gate assignment system integrated with mathematical programming.*, Computers Industrial Engineering , cilt 4, no. 32, pp. 837-852, 1997.
- [23] Lim, A., Rodrigues, B. ve Zhu, Y., *The over-constrained airport gate assignment problem.*, Computers & Operations Research, no. 32, pp. 1867-1880, 2005.

- [24] Zhao, H. ve Cheng, L., *Ant Colony Algorithm and Simulation for Robust Airport Gate Assignment*, Hindawi Publishing Corporation Mathematical Problems in Engineering, no. Volume 2014, 2014.
- [25] Drexl, A. ve Nikulin, Y., *Multicriteria airport gate assignment and Pareto stimulated annealing*, IIE Transactions, no. 40, pp. 385-397, 2008.
- [26] Kumar, P. ve Bierlaire, M., *Multi-Objective Airport Gate Assignment Problem*, 11th Swiss Transport Research Conference, London, 2011.
- [27] Neuman, U. M. ve Atkin, J. A., *Airport Gate Assignment Considering Ground Movement*, 4th International Conference on Computational Logistics, Copenhagen, 2013.
- [28] Li, C., *Airport Gate Assignment: New Model and Implementation*, International Conference on Operations Research (ICOR'08), California, 2008.
- [29] Bowman, J., Delahaye, D., Deyst, J. J., Feron, E., Hansman, R. J., Khan, K., Simpson, R. W. ve Amedeo R. Odoni, *Existing and Required Modeling Capabilities for Evaluating ATM Systems and Concepts*, International Center For Air Transportation, 1997.
- [30] Hamzawi, S. G., *Management and planning of airport gate capacity: a microcomputer-based gate assignment simulation model.*, Transportation Planning and Technology, no. 11, pp. 189-202, 1986.
- [31] Gosling, G. D., *Modeling Requirements for Airport Ground Access Planning and Management*, Airport Modeling and Simulation Conference, Arlington, 1997.
- [32] Khoury, H. M., Kamat, V. R. ve Ioannou, P. G., *Simulation And Visualization Of Air-Side Operations At Detroit Metropolitan Airport*, Winter Simulation Conference, Monterey, 2006.
- [33] Deau, R., Gotteland, J. B. ve Durand, N., *Airport Surface Management And Runways Scheduling*, Eighth USA/Europe Air Traffic Management Research and Development Seminar (ATM2009), Napa, 2009.
- [34] Kjenstad, D., Mannino, C., Nordlander, T. E., Schittekat, P. ve Smedsrud, M., *Optimizing AMAN-SMAN-DMAN at Hamburg and Arlanda airport*, SESAR Innovation Days, Stockholm, 2013.

- [35] ICAO, *Annex 14, "Aerodromes"*, ICAO Publications, 1999.
- [36] ICAO, *Aerodrome Design Manual DOC 9157-AN/901*, ICAO Publications.
- [37] Janic, M., *Air transport system analysis and modelling*, Gordon and Breach Science Publishers, Netherlands, 2000.
- [38] Cavcar, A., *Temel Hava Trafik Yönetimi*, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir, 1998.
- [39] ICAO, *Annex 11, "Air Traffic Services"*, ICAO Publications, 2001.
- [40] Bubalo, B. ve Daduna, J. R., *Airport Capacity and Demand Calculations by Simulation - The Case of Berlin-Brandenburg International Airport*, NETNOMICS: Economic Research and Electronic Networking, cilt 12, no. 3, pp. 161-181, 2011.
- [41] Alexander, S. B. Y. ve Wells, T., *Airport Planning and Management 5th Edition*, McGraw-Hill, 2004.
- [42] EUROCONTROL, *Base of Aircraft Data (BADA)*, EUROCONTROL Publication.
- [43] Wei, G. ve Taobo, W., *A Simulation Study on airport capacity and the factors.*, IEEE, pp. 390-393, 2010.
- [44] Devlet Hava Meydanları İşletmesi, *İstatistikler*, 25 Aralık 2014, <http://www.dhmi.gov.tr/istatistik.aspx>.
- [45] EUROCONTROL, *Network Operations Portal*, Aralık 2014, <https://www.public.nm.eurocontrol.int/PUBPORTAL/gateway/spec/index.html>.
- [46] Anonim, *Aerodromes, Aeronautical Information Publication, AIP*, Devlet Hava Meydanları İşletmesi Genel Müdürlüğü, Ankara, 2014.
- [47] Çetek, C., Cavcar, A., Çınar, E. ve Aybek, F., *Capacity and Delay Analysis for Airport Manoeuvring Areas Using Simulation*, Aircraft Engineering and Aerospace Technology: An International Journal, cilt 1, no. 86, pp. 43-55, 2014.
- [48] International Civil Aviation Organization ICAO, *Air Traffic Management, Doc. 4444*, 2007.
- [49] ATAC, *SIMMOD PRO Reference Manual Version 8.2*, ATAC, Santa Clara, 2014.