



**ÇOKLU PARALEL PİSTLER İÇİN PİST
ATAMA OPTİMİZASYONU**

Yüksek Lisans Tezi

Ayşe GÜVEN

Eskişehir 2023

ÇOKLU PARALEL PİSTLER İÇİN PİST ATAMA OPTİMİZASYONU

Ayşe GÜVEN

Yüksek Lisans Tezi

Hava Trafik Kontrolü Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Fulya AYBEK ÇETEK

(İkinci Danışman: Doç. Dr. Ramazan Kürşat ÇEÇEN)

Eskişehir

Eskişehir Teknik Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Ocak 2023

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

Ayşe GÜVEN'in ÇOKLU PARALEL PİSTLER İÇİN PİST ATAMA OPTİMİZASYONU başlıklı çalışması 20/01/2023 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından değerlendirilerek "Eskişehir Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliği"nin ilgili maddeleri uyarınca, Hava Trafik Kontrolü Anabilim dalında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Unvan Adı Soyadı

İmza

Üye	: Dr. Öğr. Üyesi Fulya AYBEK ÇETEK
Üye	: Doç. Dr. Ramazan Kürşat ÇEÇEN
Üye	: Doç. Dr. Özlem ŞAHİN
Üye	: Doç. Dr. Işıl YAZAR
Üye	: Dr. Öğr. Üyesi Kadir DÖNMEZ

Prof. Dr. Murat TANIŞLI

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

20/01/2023

DANIşMAN ONAYI

Danişmanlığını yürüttüğüm Yüksek Lisans ğrencisi Ayşe GÜVEN, ÇOKLU PARALEL PİSTLER İÇİN PİST ATAMA OPTİMİZASYONU başlıklı tez çalışmasını tamamlamıştır. Hazırlamış olduğu tez tarafımca incelenmiş ve öğrencinin tez savunma sınavına alınması bilimsel ve etik açıdan uygun grlmştr.

Tez Danişmanı

Dr. Öğr. Üyesi Fulya AYBEK ETEK

ÖZET

ÇOKLU PARALEL PİSTLER İÇİN PİST ATAMA OPTİMİZASYONU

Ayşe GÜVEN

Hava Trafik Kontrolü Anabilim Dalı

Eskişehir Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Ocak 2023

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Fulya AYBEK ÇETEK

(İkinci Danışman: Doç. Dr. Ramazan Kürşat ÇEÇEN)

Havacılık sektörü son yıllarda hızla gelişmekte olan bir sektördür ve dolayısıyla birtakım sorunları da beraberinde getirmektedir. Günümüzde artan havacılık faaliyetleriyle birlikte hava trafiğinin daha etkin bir şekilde yönetilmesi önem kazanmaktadır. Hava trafiğinde artan iş yükünün azaltılması ve mevcut kaynakların daha verimli kullanılması için çözüm yolları aranmaktadır. Bu çalışmada hava trafik yönetim sisteminin temel problemlerinden biri olan pist atama probleminin çözüm için yer hareketlerinde harcanan toplam yakıt tüketimini en küçüklemeyi amaçlayan karma tam sayılı programlama modeli önerilmiştir. Gerçeğe uygun bir şekilde oluşturulan modelde kullanmak üzere uçak tiplerine göre yakıt tüketimi geniş bir yelpazede incelenerek, her bir park pozisyonundan her bir piste olan ortalama taksi süresi inceliklerle analiz edilmiştir. Çoklu paralel pistlere verilen önem her geçen gün arttığı için ülkemizdeki en yoğun havalimanı olan ve çoklu paralel pist operasyonlarının uygulandığı İstanbul Havalimanı verileriyle elde edilen senaryolarla karşılaştırma yapılarak sunulan modelin sonuçları incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre sunulan modelin yer operasyonları harcanan toplam yakıt tüketim değerlerinde %6,6 ile %14,4 arasında iyileştirme meydana getirdiğini göstermiştir.

Anahtar Sözcükler: Hava Trafik Yönetimi, Çoklu Paralel Pist Operasyonları, Pist Atama Problemi, Karma Tam Sayılı Programlama, Yer Operasyonları Yakıt Tüketim Optimizasyonu.

ABSTRACT

RUNWAY ASSIGNMENT OPTIMIZATION FOR MULTIPLE PARALLEL RUNWAYS

Ayşe GÜVEN

Department of Air Traffic Control

Programme in [Click or tap here to enter text.](#)

Eskişehir Technical University, Institute of Graduate Programs, January 2023

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Fulya AYBEK ÇETEK

(Co-Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Ramazan Kürşat ÇEÇEN)

The aviation industry has been rapidly developing in recent years and therefore brings some problems with it. Today, with increasing aviation activities, it is essential to manage air traffic more effectively. Solutions are sought to reduce the increasing workload in air traffic and to use existing resources more efficiently. In this study, a mixed integer programming model, which aims to minimize the total fuel consumption spent in ground movements, is proposed to solve the runway assignment problem, which is one of the main problems of the air traffic management system. The average taxi time from each parking position to each runway was analyzed in detail by examining a wide range of fuel consumption according to aircraft types to be used in the realistic model. Since the importance given to multiple parallel runways is increasing day by day, the results of the presented model are examined by comparing the scenarios obtained with the data of Istanbul Airport, the busiest airport in our country and where multiple parallel runway operations are applied. According to the results obtained, it has been shown that the presented model provides an improvement between 6.6% and 14.4% in the total fuel consumption values spent on ground operations.

Keywords: Air Traffic Management, Multiple Parallel Runway Operations, Runway Assignment Problem, Mixed Integer Programming, Ground Operations Fuel Consumption Optimization.

TEŞEKKÜR

Çalışmalarına emeklerinden dolayı danışmanım Sayın Fulya Aybek Çetek ve Sayın Ramazan Kürşat Çeçen'e, tez yazım sürecinde destek olan sevgili annem Süreyya Güven'e ve sevgili babam Naci Güven'e çok teşekkür ederim.

Ayşe GÜVEN



ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

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

Ayşe GÜVEN

İÇİNDEKİLER

Sayfa

BAŞLIK SAYFASI	I
JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI.....	II
DANIŞMAN ONAYI	III
ÖZET	IV
ABSTRACT.....	V
TEŞEKKÜR	VI
ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ.....	VII
İÇİNDEKİLER.....	VIII
TABLolar DİZİNİ.....	X
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	XI
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	XII
1. GİRİŞ	1
1.1. Problemin Tanımı	2
1.2. Amaç.....	2
1.3. Çalışmanın Önemi.....	3
1.4. Yöntem	3
2. LİTERATÜR TARAMASI.....	4
3. MODEL TASARIMI	14
3.1. İstanbul Havalimanı Yapısı.....	14
3.2. İstanbul Havalimanı Trafik Karakteristiği	20
3.3. Matematiksel Model ve Kabuller	24
4. SAYISAL SONUÇLAR.....	28
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	40
KAYNAKÇA.....	42
EKLER	

ÖZGEÇMİŞ



TABLÖLAR DİZİNİ

Sayfa

Tablo 3.1. Operasyon modları.....	18
Tablo 3.2. Kullanılan günlerin trafik sayıları.....	24
Tablo 3.3. Kümeler	24
Tablo 3.4. Parametreler	24
Tablo 3.5. Karar değişkenleri.....	25
Tablo 3.6. Denklemler.....	25
Tablo 3.7. Pistlerin ayırma değerleri.....	27
Tablo 3.8. Kuyruk türbülansı ayırmaları.....	27
Tablo 4.1. Senaryoların iniş kalkış trafik sayıları	28
Tablo 4.2. İniş ve kalkış trafiklerinin ortalama taksi süreleri	29
Tablo 4.3. İniş ve kalkış trafiklerinin taksideki ortalama yakıt tüketimleri	30
Tablo 4.4. İniş ve kalkış trafikleri ortalama bekleme süreleri.....	31
Tablo 4.5. İniş ve kalkış trafiklerinin beklemede harcadıkları yakıt miktarı	31
Tablo 4.6. Trafiklerin kategorilere göre sayısı.....	32
Tablo 4.7. Orta ve ağır kategori trafiklerin ortalama taksi süreleri.....	33
Tablo 4.8. Orta ve ağır kategori trafiklerin taksideki ortalama yakıt tüketimleri	34
Tablo 4.9. Orta ve ağır kategori trafiklerin ortalama bekleme süreleri.....	35
Tablo 4.10. Orta ve ağır kategori trafiklerin beklemedeki yakıt tüketimleri	36
Tablo 4.11. Senaryo 1 pist kullanımları	37
Tablo 4.12. Senaryo 2 pist kullanımları	37
Tablo 4.13. Senaryo 3 pist kullanımları	37
Tablo 4.14. Senaryo 4 pist kullanımları	37
Tablo 4.15. Senaryo 5 pist kullanımları	38
Tablo 4.16. Senaryo 6 pist kullanımları	38
Tablo 4.17. Senaryo 7 pist kullanımları	38
Tablo 4.18. Senaryo 8 pist kullanımları	38
Tablo 4.19. Senaryolardaki toplam yakıt tüketimleri.....	39

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 3.1. İstanbul Havalimanı faz 1.....	15
Şekil 3.2. İstanbul Havalimanı faz 2.....	16
Şekil 3.3. İstanbul Havalimanı faz 3.....	16
Şekil 3.4. İstanbul Havalimanı faz 4.....	17
Şekil 3.5. Kuzey konfigürasyon	17
Şekil 3.6. Güney konfigürasyon	18
Şekil 3.7. Operasyon modları	19
Şekil 3.8. 2021 yılı aylık trafik sayıları	20
Şekil 3.9. 2021 yılı trafik sayılarının aylara göre dağılımı	21
Şekil 3.10. Eylül ayı günlere göre trafik dağılımı	21
Şekil 3.11. Kullanılan günlerin iniş kalkış trafik sayıları grafiği	23

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

ACI	: Airports Council International
ALP	: Uçak İniş Problemi
AMAN	: Arrival Manager
ASSP	: Uçak Çizelgeleme Problemi
ATP	: Uçak Kalkış Problemi
DMAN	: Departure Manager
İ.O.	: İyileşme Oranları
Ö.S.	: Modelin Önerdiği Senaryo
SID	: Standart Instrument Departure
STAR	: Standard Instrument Arrival
TMA	: Terminal Hava Sahası
T.S.	: Temel Senaryo

1. GİRİŞ

Hava taşımacılığına olan artan talep yapılan tüm tahmin raporlarında yer almaktadır. Eurocontrol'ün gelecek yıllara ait tahminlerini yayınladığı verilere göre 2040 yılında Avrupa'da uçuş hareketliliğinin %53 artacağı, Avrupa'daki 19 havalimanının tamamıyla tıkanacağı, havalimanlarına kabul edilemeyen 1,5 milyon uçuşun gerçekleştirilemeyeceği, 160 milyon yolcunun bu sebepten uçamayacağı ve 88 milyar Euroluk bir ekonomik etkiye sahip olacağı öngörülmektedir [1]. Bu tahminlerden yakın gelecekte hava taşımacılığına olan talebin karşılanmasıyla ilgili problemler yaşanacağı görülmektedir. Trafik artışına bağlı olarak hava trafik yönetiminde tıkanıklıklar oluşması yeni bir problem olmayıp Hava Trafik Yönetim Sistemi'nin optimum şekilde yönetilebilmesi için uzun yıllardır çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmalarda öncelikle en ekonomik çözüm olan mevcut kaynakların nasıl daha verimli kullanılabileceğini araştırılmaktadır. Mevcut kaynakların yetersiz kaldığı yerlerde beklenen talebi daha rahat karşılayabilmek için yeni pist, taksi yolu hatta havalimanları inşa edilmektedir. Bunun örneklerinden birisi de İstanbul Atatürk Havalimanının artan talebini karşılamak için inşa edilen İstanbul Havalimanı'dır [2].

Hava taşımacılığına olan talebin artmasıyla birlikte artan hava trafiği beraberinde birtakım problemler ortaya çıkarmaktadır. Birim zamanda hizmet verilen trafik sayısının artması ile uçakların çakışma sayıları artmakta, kapasitenin yetersiz geldiği zamanlarda ise bekleme ve gecikmeler yaşanmaktadır. Tüm bu organizasyonun emniyetli ve hızlı bir şekilde yürütülmesini sağlayan hava trafik kontrolörlerinin iş yükü hayli artmaktadır. Günümüzde artan iş yükünü azaltmak ve kapasitenin daha etkin kullanımını (talep kapasite dengesini) sağlamak için çeşitli karar destek mekanizmaları geliştirilmiştir. Arrival Manager (AMAN), Departure Manager (DMAN) gibi karar destek mekanizmaları orta ve uzun dönemde çözüm önerilerinde bulabilmektedir. Bunun yanı sıra yapılan kapı atama, pist atama, pist çizelgeleme çalışmalarıyla terminal hava sahası (TMA) içindeki ve yerdeki trafiklerin hareketinin etkin yönetimi hedeflenmektedir.

Bu çalışmada hem TMA operasyonları hem de yer operasyonları dikkate alınarak toplam yakıt tüketimini en küçüklemenin hedeflendiği pist atama doğrusal programlama modeli sunulmaktadır. Çalışmada iniş ve kalkış uçaklarına pist ataması yapılarak toplam yakıt tüketiminin en küçüklendiği karma tam sayılı programlama modeli geliştirilmiştir. Sunulan model İstanbul Havalimanına ait gerçek veriler üzerinde test edilmiştir.

1.1. Problemin Tanımı

Hava taşımacılığında yaşanan talep artışları için var olan kaynakların daha etkin kullanılması havalimanı kapasitelerinde artışlar meydana getirmektedir. Durumu daha iyi anlayabilmek için hava trafik sistemlerinin bileşenlerini incelemekte fayda vardır. Hava trafik sistemi hava sahası, pist, park pozisyonları, yer hizmetleri ve diğer bileşenlerden oluşmaktadır. Hava trafik sisteminin temel kısıtı pisttir [3]. Pistin etkin kullanımı havalimanından maksimum verimin elde edilmesini sağlamaktadır. Pist kapasitesi belli şartlar altında sistem kapasitesi tarafından karşılanması makul olarak beklenebilecek olan tek bir pist ya da pist kombinasyonlarının uçak operasyonlarının saatlik oranı olarak tanımlanmaktadır [4]. Pistin kapasitesini etkileyen birçok faktör bulunmaktadır. Kapasite genel olarak pist meşguliyet süresi, pisti kullanan uçak tiplerinin sıralaması, taksi yollarının pozisyonu ve durumu, uçak tip ve performansı, paralel pistler arasındaki mesafe, pistlerin kesişip kesişmediği, operasyon modu, hava trafik yönetim sistemi, hava koşulları (düşük görüş, karla mücadele vs.) ve gürültü sınırlamalarına bağlıdır [5]. Hava trafik sisteminin verimliliğini arttırmak için temel kısıtlardan biri olan pistin verimli kullanımı sağlanmalıdır. Pistin daha verimli kullanımı için ise pist kapasitesini etkileyen faktörler incelenmelidir. Pist kapasitesinde iyileştirme sağlamak amacıyla pist çizelgeleme, pist atama, kapı, taksi yolu atama çalışmaları yapılmaktadır.

Bu çalışmada pist atama problemi için gerçek verilerden elde edilen taksi süreleri dikkate alınarak karma tam sayılı doğrusal bir matematiksel model önerilmiştir. Sunulan bu model ile yer operasyonlarındaki yakıt tüketiminin en küçüklenmesi hedeflenmektedir.

1.2. Amaç

Pist kapasitesini iyileştirme amacıyla yapılan çalışmalarda farklı bakış açılarını dikkate almaktadır. Bu çalışmada havayolu işletmecisinin bakış açısı dikkate alınarak toplam yakıt tüketiminin en küçüklenmesini hedefleyen bir model sunulmaktadır. Yapılan bu çalışmada sunulan modelle birlikte uçaklara atanan kapılar sabit tutularak pistlerinde yapılan değişikliğin yer hareketlerinde harcanan yakıt miktarını ne oranda değiştirebileceği gözlemlenmek istenmiştir. Çalışmada havalimanına operasyon düzenleyen uçakların yer operasyonlarında en düşük yakıt tüketimini sağlayacak şekilde park pozisyonuna göre pist ataması yapılması amaçlanmaktadır. Böylelikle yer hareketlerindeki yoğunluk hafifletilmekte ve yakıt minimize edilerek ekonomik ve çevresel fayda sağlanmaktadır.

1.3. Çalışmanın Önemi

Çalışma TMA ve yer operasyonları incelenerek İstanbul Havalimanı'na ait gerçek veriler üzerinden gerçekleştirilmiştir. Bu alanda İstanbul Havalimanı hakkında yapılan ilk çalışma özelliğini taşımaktadır. İstanbul Havalimanı'nı taksi süresi verileri analiz edilmiş ve havalimanına iniş kalkış yapan bütün uçak tiplerinin yakıt tüketim değerleri her bir uçak tipi için ayrı ayrı ICAO Motor Emisyon Veri Bankası'ndan elde edilen verilerin kullanılması ile oluşturulmuştur (http-1). İstanbul Havalimanı'nın Airports Council International (ACI) verilerine göre 2022 Kasım ayı için Avrupa'nın en yoğun havalimanı olması ayrıca Türkiye'nin en yoğun havalimanı olması sebebiyle hemen hemen Türk hava sahasını kullanan tüm uçak tiplerinin yakıt tüketim değerleri incelenerek kapsamlı bir çalışma yapılmıştır (http-2). Literatürde daha önce İstanbul Havalimanı gerçek taksi süreleri verileri analiz edilerek yapılan TMA ve yer operasyonlarını birleştiren herhangi bir çalışma bulunmamaktadır.

1.4. Yöntem

Çalışmada 2021 yılı Eylül ayında İstanbul Havalimanı'na iniş ve kalkış yapan yaklaşık 30000 uçağın iniş ve kalkış yaptıkları pist, park pozisyonları ve taksi süreleri verileri analiz edilerek her bir park pozisyonundan her bir piste ortalama taksi süreleri hesaplanmıştır. İniş kalkış yapan uçak tipleri listelenerek 47 farklı uçak tipinin yer hareketlerindeki yakıt tüketim değeri için öncelikle her bir uçak tipinde kullanılabilen motor tipleri Eurocontrol Skybrary verilerinden alınarak listelenmiştir (http-3). Oluşturulan motor tiplerinin taksideki yakıt tüketim değerleri ICAO Motor Emisyon Veri Bankası'ndan çekilerek her bir uçak tipi için maksimum ve minimum yakıt tüketim değerleri listelenmiştir (http-1). Oluşturulan matematiksel model İstanbul Havalimanı Eylül 2021'e ait en yoğun 8 güne ait veriler üzerinde test edilerek uygunluğu incelenmiştir.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Artan trafik ve hava trafik sisteminde yaşanan sıkışıklıklar çeşitli çözüm araçlarına yönlendirmektedir. Bu çözüm araçlarının bir kısmı sadece TMA içerisindeki durumları dikkate alarak çözüm üretmektedir. AMAN, DMAN gibi karar destek mekanizmaları, trafik çakışmalarını önlemeyi hedefleyen modeller, prosedürel olarak ayırmayı sağlayan SID ve STAR'ların tasarlanması, 2009 yılında Eurocontrol tarafından oluşturulan toplama noktası sistemi ve benzerleri buna örnektir. AMAN sistemi saha ve yaklaşma kontrolörü için optimal sıralamanın planlanması ve uygulanmasını destekleyen bir uygulamadır (http-4). DMAN sistemi ise kule kontrolörünün belirlediği pist konfigürasyonlarına göre kalkış pisti sıralamalarını düzenleyerek ve gerekli kapı ve pist atamaları konusunda kontrolörü desteklemektedir. SID ve STAR'lara tahditler yerleştirerek ve toplama noktası sistemi kullanarak olası çakışmalar ortadan kaldırılmasıyla kontrolörün iş yükü azaltılmaya çalışılmaktadır.

Bazı çalışmalarda ise yer hareketleri ve TMA operasyonları dikkate alınarak hem iniş yollarının optimizasyonu hem de yer hareketlerinin optimizasyonu hedeflenmektedir. Bu tarz çalışmalara uçak sıralama, pist atama ve kapı atama çalışmaları örnek olarak verilebilir. Bunlara ek olarak matematiksel modellemeyle de bu problemlere çözüm aranmaktadır. Matematiksel modeller belirlenen amaç doğrultusunda kısıtları dikkate alarak çözüm sunan yardımcılarıdır.

Uçakların sıralama ve çizelgelemelerinde, pist ve kapı atamalarına dikkat edilmesi birim zamanda daha fazla uçağa hizmet sağlanabilmesine olanak tanımaktadır. Bu durum hava trafik kontrolörleri için de çok büyük bir önem arz etmektedir çünkü dünya çapında trafik sayısı her geçen gün artmaktadır ve hava trafik kontrolörleri artan trafikle birlikte mevcut kaynakların optimal kullanımı için en hızlı ve en uygun planlamayı oluşturmak için çabalamaktadır. Bu sebeple pist atama, kapı atama, uçak sıralama ve çizelgeleme problemleri son dönemlerde sıklıkla çalışmalara konu olmaktadır.

Uçak sıralama ve çizelgeleme problemi genel olarak iniş veya kalkışları içeren fiziksel özel kısıtlamaları dikkate alan uçak iniş problemi (Aircraft Landing Problem, ALP) ve uçak kalkış problemi (Aircraft Takeoff Problem, ATP) olarak ikiye ayrılmaktadır. Çalışmada hem iniş hem de kalkış trafikleri inceleniyorsa buna da uçak çizelgeleme problemi (Aircraft Sequencing and Scheduling Problem, ASSP) denilmektedir. ASSP hem iniş hem kalkış uçaklarını birlikte değerlendirdiği için gerçeği daha fazla yansıtmaktadır.

ALP ve ATP operasyonel kısıtlara göre belirlenen amaç fonksiyonunu optimize etmek için en uygun iniş ve kalkış sıralamasını belirlemeyi hedeflemektedir. ALP ve ATP'nin matematiksel formülasyonu için kullanılan kısıtlar emniyetli iniş için gerekli olan ardışık iki uçak arasındaki ayırma değerleri, yakıt sebebiyle uçağın iniş yapabileceği maksimum zaman kısıtlaması ve öncelik kısıtlarıdır. Kullanılan amaç fonksiyonu ise karar vericiye bağlı olarak değişmektedir. Karar verici havalimanı sisteminin çeşitli paydaşları açısından düşünerek farklı amaç fonksiyonları belirleyebilir. Fakat teoride bulunan ile gerçekleşen arasında insan faktörü sebebiyle farklılıklar olmaktadır [6].

Pist atama çalışmaları, iniş ve kalkış uçaklarını en uygun piste atayarak daha etkin bir trafik akışı sağlamayı hedeflemektedir. Pist ataması havayolu taşımacısı açısından incelendiğinde park pozisyonu, pist ile park pozisyonu arasındaki taksi süresi amaç fonksiyonunda yer alırken hava trafik kontrolörü açısından düşünüldüğünde emniyet, daha kısa uçuş süresi ve daha az iş yükü dikkate alınarak pist ataması yapılmaktadır [7].

Kapı atama problemi havalimanlarında her gün karşılaşılan önemli bir problemidir. Bir uçağın belirli bir kapıya atanması çok fazla kısıta bağlı olarak gerçekleşmektedir. Kapı atamalarında paydaşların istekleri doğrultusunda farklı amaç fonksiyonlarından yararlanılabilmektedir. Genel olarak kapı ataması her kapıyı yalnızca bir uçağın minimum maliyetli atamasını araştırmaktadır.

Hava taşımacılığına olan talebin her geçen gün arttığı ve artmaya devam edeceği öngörüldüğünden son yıllarda mevcut havalimanlarında nasıl daha fazla iniş kalkış uçağına hizmet verilebileceği konusu daha da fazla sorgulanmaktadır. Bu konuyla ilgili birçok çalışma bulunmaktadır.

Hava trafik yönetiminde akış optimizasyonu farklı açılardan birçok çalışmaya konu olmuştur. Çalışmalarda hava sahasında akış optimizasyonunun sağlanması için çakışma çözümü, sıralama ve çizelgeleme konularına değinilmektedir. Uçak sıralama ve çizelgeleme problemleri hakkında detaylı literatür aşağıda bulunmaktadır.

Hong ve arkadaşları (2017) çalışmalarında daha önce yapılan çalışmaların aksine gerçek bir hava trafik kontrolörünün çalışma prensibini dikkate alarak sınırlı sayıda sıralama değiştirme ile varış sıralaması ve çizelgeleme problemine tek ve çok amaçlı optimizasyon modeli sunmuşlardır. Sadece gecikme ve pist çıkışına odaklanan modellerin aksine gerçekçi bir yaklaşımla sıralama değiştirme esnekliğini sınırlayan karma tam sayılı programlama modeli ilk gelene ilk hizmet prensibi ile karşılaştırılarak geçerliliği incelenmiştir. Simülasyon için üç farklı trafik karışımı oluşturulmuş, tek

amaçlı ve çok amaçlı optimizasyon için ayrı ayrı çalıştırılmıştır. Yapılan simülasyon çalışmalarıyla oluşturulan tek ve çok amaçlı modelin üç farklı trafik yoğunluğunda toplam uçuş süresini azaltarak ikna edici sonuçlar ortaya koyduğu görülmüştür. Bu çalışmalarıyla insan faktörünün daha fazla dikkate alınacağı çalışmaların önünü açmışlardır [8].

Liang ve arkadaşları (2018) çalışmalarında iniş ve kalkış uçakları için stratejik karar vermenin yanı sıra taktiksel kontrol de sağlayan çoklu toplama noktası modelini sunmuşlardır. Sunulan sistemle kalkış uçaklarındaki çakışma engellenmekte ve iniş kalkış arası ayırmalara taktiksel olarak sağlanmaktadır. Elde edilen sayısal sonuçlara göre daha kısa uçuş süresi, iniş uçakları için sürekli alçalma yaklaşımına yakın bir alçalma, kalkış uçakları için ekonomik bir tırmanma ve daha kolay pist atama sağladığı görülen modelin başlangıç senaryoya kıyasla çıktıyı %26 arttırdığı tespit edilmiştir [9].

Çeçen (2020) çalışmasında sıralama ve çakışma çözümünün hava trafik kontrolörleri için en çok zaman harcanan görev olduğunu tespit ederek toplam gecikme ve toplam çakışma çözüm manevrası sayısını en küçüklemeyi amaçlayan tek ve çok amaçlı optimizasyon modeli sunmuştur. Karma tam sayılı programlama ile sunulan model ile uçak sıralama ve çizelgeleme modeline çözüm ortaya konulmuştur. Sunulan tek ve çok amaçlı model üst sezgisel yöntemin kısa sürede ve uygun çözümü ortaya koyduğu gözlenmiştir [10].

Çeçen ve arkadaşları (2022) çalışmalarında uçak iniş problemi için emisyon ve toplam uçuş süresinin en küçüklenmesini amaçlayan çok amaçlı bir optimizasyon modelini sunmuşlardır. Çalışmalarında kesin çözüm veren GAMS cplex çözücüsünü kullanmışlardır. Çalışmalarında her hava trafiğin durumu için pareto-optimal çözümler elde edilmiştir. Elde edilen pareto-optimal çözümlerin çoğunda emisyon değerlerinde gözle görülür azalmalar gözlemlenmiştir. Sonuçlara göre, toplam emisyon değerinin ve uçuş süresinin sırasıyla %4,69 ve %0,92'ye kadar azaldığını görülmüştür [11].

Ma ve arkadaşları (2019) çalışmalarında hava trafik sistemini hava sahası operasyonları ve havalimanı operasyonlarının bir bütün olarak düşünülmesi gerektiği fikriyle hem trafik akış optimizasyonu hem de yer operasyonlarının düzgün işleyişini hedefleyen hava sahası ve yer operasyonlarını bir arada ele alan bir model sunmuşlardır. Sunulan model ile hava sahasında oluşan çakışmaların çözümü için bir çözüm sunulurken aynı zamanda iniş ve kalkış uçaklarına pist ataması önerilmiştir. TMA'daki çakışmaları çözmek, hava tarafında aşırı yükü azaltmak ve gecikmeleri azaltmayı amaç olarak

belirledikleri modelin geçerliliğini Paris Charles De Gaulle Havalimanı verileri üzerinden test edilerek temel senaryoya göre iniş gecikmelerini %37, kalkış gecikmelerinin ise %36 azalttığı gözlemlenmiştir [12].

Çeçen ve arkadaşları (2020) çalışmalarında benzetilmiş tavlama algoritmasını kullanarak uçak sıralama ve çizelgeleme problemlerini ele almak için stokastik karma tamsayılı doğrusal programlama modeli önermişlerdir. Karma operasyonlara hizmet veren havalimanı pisti için toplam uçak gecikmesini en aza indirmeyi amaçlayan model karar verme sürecinde kritik öneme sahip olan rüzgâr yönü belirsizliklerini de göz önünde bulundurarak uygun uçak sıralaması sunmaktadır. Sunulan stokastik model farklı trafik oranlarında uygun sayıda üretilen senaryo ile test edilmiş ve deterministik modele kıyasla önemli ölçüde gecikmeleri azalttığı görülmüştür [13].

Ghoniem ve arkadaşları (2014) çalışmalarında karma operasyon modlu tek pist ya da yakın etkileşimli paralel pistler için statik uçak sıralama problemini ele almışlardır. Zaman pencereli asimetrik seyyar satıcı probleminin temel yapısından yararlanılan modelin Doha Uluslararası Havalimanı gerçek verileriyle simüle edilmiş örneklerle etkinliği ortaya konulmuştur [14].

Al-Salem ve arkadaşları (2012) çalışmalarında karışık operasyon modundaki çoklu pistlerde iniş ve kalkış trafiklerinin toplam ağırlıklı gecikmesini en küçüklemeyi amaçlayan bir model sunmuşlardır. Geliş-kalkış uçağı sıralama çizelgeleme problemi çoklu asimetrik gezgin satıcı problem yapısından yararlanılarak 0-1 tam sayılı programlama ile ortaya konulan modelin üretilen simülasyon ile testi sonucu etkili sonuç verdiği görülmüştür [15].

Kapı ataması yer hareketlerinin etkin bir şekilde devam ettirilmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Bu sebeple kapı atama problemi üzerine birçok akademik çalışma yapılmaktadır. Bu çalışmalarda genel olarak yer hareketlerinde optimizasyon sağlama hedeflenirken havalimanı işletmecisi, havayolu işletmecisi ve yolcu bakış açısıyla farklı amaç fonksiyonları belirlenerek çeşitli çalışmalar ortaya konulmuştur. Bunların yanı sıra çevresel faktörleri de dikkate alan çalışmalar da bulunmaktadır. Kapı atama problemleri hakkında detaylı literatür aşağıda bulunmaktadır.

Bolat (1999) çalışmasında uçuş zamanlarında meydana gelen küçük değişiklikleri absorbe ederek kapı atamalarındaki değişimi minimize etmeyi ve yer operasyonlarında oluşabilecek olası sıkışıklıkları ortadan kaldırmayı hedeflemiştir. Sunulan model ile her bir kapının kullanım dışı kaldığı süreyi en küçükleyerek her bir kapının etkin kullanımı

sağlanmaya çalışılmıştır. Suudi Arabistan Riyad Havalimanı verileriyle gerçekleştirilen deneysel çalışma ile sunulan sezgisel modelin kapı harici hizmet verilen uçak sayısını ortalama %66,35 azaltılarak mevcut kapıların etkin kullanımını sağladığı gözlenmiştir [16].

Yan ve Huo (2001) çalışmalarında kapı ataması probleminin çözümü için çok amaçlı 0-1 tamsayılı programlama modeli sunmuşlardır. Yolcuların yürüme ve bekleme zamanını en küçüklemeyi amaçlayan çift amaçlı model Tayvan Chiang Kai-Shek Havalimanı üzerinde test edilerek havalimanı otoritesi ve araştırmacılar açısından uygulanabilir olduğu gözlemlenmiştir [17].

Tang ve arkadaşları (2010) çalışmalarında kapı atamasını dinamik olarak ele almışlardır. Çoğu zaman uçuşlarda meydana gelen gecikmeler sebebiyle yeniden kapı atamanın gerekliliği gerçeğini göz önüne alarak geliştirilen model sayesinde etkili ve sistematik bir çözüm sunmayı hedeflemişlerdir. Gerçek zamanlı dinamik kapı atama sistemi ile matematiksel optimizasyon modeli ve bilgisayarlı uygulamayı birleştiren bir çalışma ortaya koymuşlardır. Ortaya konulan çalışma Tayvan Uluslararası Havalimanı operasyon verileriyle yapılan test ile geçerli bir performans sunduğu gözlemlenmiştir [18].

Kumar ve Bierlaire (2014) çalışmalarında planlama aşamasında dahi çok kompleks olan kapı atama problemine gerçekçi bir yaklaşım getirmek için bir havalimanını gözlemleyerek tüm kısıtlamaların dikkate alındığı çok amaçlı optimizasyon modeli oluşturmuşlardır. Farklı operasyonel kısıtları bir arada bulundurarak geniş çaplı bir model ortaya konulmasıyla literatüre katkı sağlayan bu çalışma en yoğun havalimanlarından biri olan Chicago O'hare Havalimanı verileri üzerinde uygulanarak tatmin edici sonuçlar elde edilmiştir [19].

Hidayatno ve arkadaşları (2015) çalışmalarında Endonezya'daki Soekarno Hatta Uluslararası Havalimanı'nın kapı atama problemi üzerinden yola çıkarak yolcular açısından düşünerek kapı atamasız uçak sayısını en küçükleyen bir model ortaya koymuşlardır. Tavlama benzetimi yönteminden yararlanılan modelin uygulanmasıyla elde edilen sonuçlara göre kapı ataması yapılmayan uçuş sayısını azalttığı görülmüştür. Bu çalışma da yolcu bakış açısıyla kapı ataması problemini inceleyerek farklı yönlerden kapı ataması problemi çalışmalarının gelişmesine katkı sağlamıştır [20].

Chao ve arkadaşları (2019) çalışmalarında uçakların taksi aşamasını inceleyerek kapı ve pist ataması problemini ele almıştır. Çalışmada her kapının piste mesafesi ve

kapasiteleri dikkate alınarak iniş yapan uçak tiplerinin tüketimleri incelenmiştir. Taksi zamanındaki maliyet ve karbon emisyonunu azaltmayı amaçlayan modeli test etmek için Tayvan Taoyuan Uluslararası Havalimanı'nın operasyonlarına dayalı bir vaka çalışması yapılmıştır. Sadece kalkış uçakları dikkate alındığı, bir güne ait bir saatlik veri test edilen modelden elde edilen sonuçlara göre karbon emisyonlarında %8,93 ve %10 azalma sağlanmıştır [21].

Karsu ve arkadaşları (2021) çalışmalarında kapıya atanamayan uçak sayısını ve apron kullanımını en küçükleyebilmek için yolcuların toplam yürüme mesafesini en küçüklemeyi amaçlayan bir model ortaya koymuşlardır. Karma tam sayılı doğrusal olmayan programlama modeliyle formüle edilen kapı atama problemi daha sonra doğrusallaştırılmıştır. Dal sınır algoritması, ışın araması algoritması ve filtrelenmiş ışın araması algoritmalarından yararlanılan modelin Ankara Esenboğa Havalimanı ve İstanbul Atatürk Havalimanı yerleşimi ile gerçekleştirilen deneysel çalışmalarla tatmin edici sonuçlar ortaya koyduğunu gözlemlemişlerdir [22].

Çeçen (2021) çalışmasında yolcu ve hava yolu şirketi odaklı düşünerek yolcuların yürüme mesafesini ve uçakların takside harcadığı yakıt miktarını en küçüklemeyi hedefleyen çok amaçlı kapı atama modeli sunmuştur. Ağırlıklı toplam ortalama methodu kullanılarak tek amaç fonksiyonu elde edilen model temel senaryoya göre elde edilen iyileşme oranları yolcu yürüme mesafesinde %22,8 ile %46,9 arasında değişirken, takside harcanan toplam yakıt miktarının ise %4,7 ile %7,1 arasında değiştiği görülmüştür. Uygun ve optimale yakın çözümleri kısa sürede sunarak planlamayı kolaylaştırdığı görülen çalışma farklı paydaşlara tek bir amaç fonksiyonunda yer vererek kapı atama problemine farklı bir bakış açısı sunmuştur [23].

She ve arkadaşları (2022) çalışmalarında havalimanı işletmecisi açısından durumu ele alarak kapı atamanın ne kadar önemli olduğundan bahsetmektedir. Bu bakış açısıyla sınırlı sayıdaki kapıya uçuşların ekonomik bir şekilde atanmasını hedefleyen çok amaçlı bir model oluşturmuşlardır. Tam sayılı programlamadan yararlanılan modelde amaçlardan biri puanlarla karakterize edilen operatör skorunu maksimize etmek diğeri ise uçuş çizelgelerinde değişiklikler sebebiyle ortaya çıkan maliyetlerin en küçüklenmesidir. Hesaplamalı analizler sonucunda önerilen model ve algoritmanın havalimanı kapı atama problemini ekonomik, sağlam ve tercih edilen bir çıktı ile çözebildiğini görülmüştür [24].

İniş ve kalkış uçaklarının en uygun piste atanması havalimanı sisteminin kapasitesini etkileyen önemli bir problemdir. Bu problemin çözümü için halen birçok

Çalışma yapılmaktadır. Yapılan alışmalar kullanılan yöntem ve amaç fonksiyonlarına göre çeşitlenmektedir. Tek ve çok amaçlı modellerden yararlanarak pist atama problemlerine çeşitli çözümler sunan çalışmalar bulunmaktadır. Pist atama problemi hakkında detaylı literatür aşağıda bulunmaktadır.

Dönmez ve arkadaşları (2021) alışmalarında toplama noktası sisteminde iniş sıralaması ve iniş sıralamasında maksimum verimi sağlamak için pistlere yeniden atama yapılmasının öneminden bahsedilen çalışmada uçakların farklı bir piste atanması, taksiye giriş/çıkış sürelerindeki farka bağlı olarak gecikmeleri ve yakıt tüketimini önemli ölçüde etkileyebileceği ortaya konulmuştur. Çalışma, toplam yakıt tüketimini, toplam uçuş süresini ve taksi giriş/çıkış süreleri dahil toplam gecikmeyi en aza indirmek için çoklu toplama noktası sistemli bir TMA için tekli ve çok amaçlı programlama modelleri ermektedir. Sunulan modelin İstanbul Havalimanı verileriyle gerçekleştirilen uygulamasından elde edilen sonuçlara göre taksiye giriş/çıkış sürelerindeki farka bağlı olarak gecikmeleri %77,5 ve yakıt tüketimi ise %8,7 azalttığı grlmştr [25].

Dönmez (2022) tarafından sunulan doktora tezinde rüzgâr belirsizliği ve taksi süreleri dikkate alınarak çoklu toplama noktası sistemine sahip paralel pistli havalimanları için sırasıyla deterministik tek amaçlı, deterministik çok amaçlı, stokastik tek amaçlı ve stokastik çok amaçlı matematiksel modeller sunulmuştur. Toplam yakıt tüketiminin, toplam uçuş süresinin ve toplam gecikmelerin en küçüklenmesi amaçlayan, geliş-kalkış sıralama-çizelgelemesi ve pist atamaları sunan model ile rüzgâr ve taksi sürelerinin yakıt tüketimlerini, uçuş sürelerini, gecikmeleri ve pist tercihlerini nasıl etkilediği ortaya konulmuştur. Çalışmada sunulan modellerle uçuş süresi, yakıt tüketimi, bekleme süreleri azaltılarak havalimanı sisteminin paydaşlarından olan devlet, hava trafik kontrolörleri ve havayolu işletmecisi açısından farklı konularda fayda sağladığı grlmştr [26].

Gupet ve arkadaşları (2019) tarafından yapılan çalışmada hava sahası ve yer operasyonlarının kapasiteyi etkileyen temel darboğaz olduğu düşünüldüğünden terminal hava sahasındaki çakışmaları çözmeyi, hava tarafı kapasitesindeki aşırı yükü azaltmayı ve gecikmeleri azaltmayı hedefleyen bir model sunulmuştur. Çalışmada hız, varış zamanı, kalkış zamanı ve pist atamasından yararlanarak bir optimizasyon modeli oluşturulmuştur ve daha sonra oluşturulan optimizasyon modeli Paris Charles De Gaulle Havalimanı verileriyle tavlama benzetimi yöntemiyle test edilmiştir. Test için havalimanının yoğun günlerinden birindeki dört saatlik dilimi ele alarak iniş ve kalkışlara pist ataması

yapılmıştır. Sonuçta %37 iniş gecikmelerinde %36 da kalkış gecikmelerinde iyileşme sağlanmıştır. Sunulan modelle hem pistlerin dengeli kullanımı hem de gecikmelerin azaltılmasının sağlanabileceği görülmüştür [27].

Rodríguez-Sanz ve arkadaşları (2021) çalışmalarında pist kullanımını maksimize ederken taktiksel aşamadaki gecikmeleri minimize etmeyi amaçlayan matematiksel modelle iniş ve kalkışlar için pist çizelgelemenin entegrasyonunu sunmuştur. Sunulan model Alicante-Elche havalimanının verileriyle test edilmiştir. Sonuçlara göre sunulan modelle gecikmelerin ortalama %50 azaldığı görülmüştür [28].

Salehipour (2019) çalışmasında uçak iniş probleminin uçakların iniş sıralamasının yanı sıra uçaklara pist atamasını içine alan bir problem olduğundan bahsetmektedir. Bu sebeple uçak iniş problemine kısa sürede çözüm sunabilecek bir sezgisel model oluşturmuştur. Oluşturduğu algoritmayı 124 örnek üzerinde test etmiştir. Sonuçlara göre sunulan modelin kısa sürede tatmin edici çözüm ürettiği görülmüştür [29].

Pist etkinliği için yapılan çalışmalarda çevresel faktörlerin göz ardı edildiği görülmüş ve Sölveling ve arkadaşları (2011) çalışmalarında ilk gelene ilk hizmet mantığı ile hem pistin etkin kullanımını hem de çevresel etkiyi en aza indirmeyi sağlayacak entegre bir yaklaşım sunmuştur. Çalışmada pist çizelgeleme ve uçuş sıralama ortaya konulurken maliyet ve çevresel faktörleri en aza indirmek hedeflenmiştir. Çevresel faktörler doğrudan dahil edilmek yerine yakıt tüketimi şeklinde amaç fonksiyonuna dahil edilmiştir. Sunulan model kesişen taksi yoluna sahip iki paralel pistine sahip olan Detroit Metropolitan Wayne County Havalimanı üzerinde incelenmiştir. Sonuçlara göre çevresel maliyetlerin açıkça dikkate alındığı optimizasyon tabanlı çizelgelemenin hem havayolları hem de toplum için önemli tasarruflar sağladığını görülmüştür. Ayrıca, çevresel bileşenler optimizasyona doğrudan dahil edilmese bunun yerine yakıt tüketimine dayalı bir hedef kullanılsa bile bir ilk gelene ilk hizmet politikası üzerinden çevresel tasarrufların hala önemli olduğu ortaya konulmuştur [30].

Lieder ve arkadaşları (2016) çalışmalarında genel pist konfigürasyonlarına göre uçak çizelgeleme problemi için bir optimizasyon modeli sunmuşlardır. Dinamik programlama ile yapılan sezgisel model iniş ve kalkış uçaklarının gecikmeye bağlı maliyetlerini minimize ederken bağımlı pistler arasındaki diyagonal ayırma minimumunu da dikkate alarak pist ataması çözümü oluşturmuşlardır. Oluşturulan modelin geçerliliği dört piste sahip olan Frankfurt Havalimanı mevcutta kullanılan pist konfigürasyonları

üzerinde test edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre sunulan model ile kısa sürede optimale yakın sonuçlar elde edildiği görülmüştür [31].

Ng ve arkadaşları (2022) çalışmalarında hava trafik kontrolörünün pist konfigürasyonunu belirlemede dikkate aldığı kriterleri dikkate alarak trafiğin yoğun olduğu ve olmadığı iniş veya kalkış trafiklerinin yoğun olduğu dilimlerde pistlerin etkin ve dengeli kullanımını sağlayacak şekilde dinamik pist konfigürasyonu planlaması, uçak sıralama ve çizelgeleme problemlerine çözüm sunan bir model ortaya koymuşlardır. Pist operasyonlarına sistematik bir yaklaşım getirin modelin Hong Kong Uluslararası Havalimanı'nda performansı test edilerek ayrılmış pist sistemi kullanımının iki modu için gecikmeleri sırasıyla %71,6 ve %37,08 azalttığı görülmüştür [32].

Clare ve Richards (2011) çalışmalarında havalimanı yüzey hareketlerinden olan taksi yollarının rotalanması ve pist çizelgeleme problemi bir arada ele alan karışık tam sayılı doğrusal programlama yöntemi ile bir optimizasyon modeli sunmuşlardır. Londra Heatrow Havalimanı verileriyle modelin test edilmesi sonucu ilk gelene ilk hizmet yaklaşımına göre taksi sürelerinin yarıya kadar azaltılabildiği görülmüştür [33].

Weiszer ve arkadaşları (2018) çalışmalarında havalimanı yüzey operasyonlarının optimizasyonunu araştırırken zamanının etkin kullanımının yanı sıra yakıt tüketimi ve buna bağlı olarak emisyon değerlerinin de dikkate alınmasına vurgu yaparak havalimanı yer hareketleri ve pist çizelgeleme problemlerine çözüm sunmak için bir optimizasyon modeli oluşturmuşlardır. Oluşturulan bu modelin performansını değerlendirmek için Doha, Manchester ve Beijing Capital Uluslararası Havalimanlarının verilerinden yararlanılarak gerçekleştirilen deneysel çalışmalarda sunulan modelin karar destek mekanizması olarak kullanılabileceği görülmüştür [34].

Fritzsche ve arkadaşları (2010) çalışmalarında pistlerin esnek ve talebe dayalı kullanımının gelecekteki kapasite, etkinlik ve çevresel sürdürülebilirliği karşılamada anahtar rol oynayacağını düşünerek iniş uçaklarına dinamik bir şekilde pist ataması üzerine çalışmışlardır. Çalışmada yakıt tüketimi ve emisyonu sebep olan, iniş ve kalkış gecikmelerini ve taksi sürelerini azaltmak için dengeli pist kullanımı hedeflenmektedir. Özellikle kontrolörün iş yükünün emniyet üzerindeki negatif etkisinin de dikkate alındığı sezgisel algoritma Berlin Brandenburg Uluslararası Havalimanı verileriyle oluşturulan simülasyonda test edilmiştir ve dengeli bir pist ataması sunarak gecikmeleri ve taksi sürelerine dolayısıyla yakıt tüketimine de önemli derecede etki etki ettiği görülmüştür [35].

Delsen (2016) yüksek lisans tezinde Amsterdam Schiphol Uluslararası Havalimanı'ndaki iniş ve kalkış uçaklarına pist atama problemini farklı bir açıdan incelemiştir. Mevcut pist atamada gürültü maruziyetinin azaltılması ve kapasitenin artırılması arasında bir ödünleşim olduğu fakat pist atamasında yakıt tüketimi ve bunun sonucunda ortaya çıkan emisyonun dikkate alınmadığını gözlemlediği için çalışmasında yakıt ve gürültü bakımından optimizasyon sağlamayı hedefleyen karma tam sayılı programlamayı kullanan bir model sunmuştur. Sunulan model ve Amsterdam Schiphol Uluslararası Havalimanı verileriyle gerçekleştirilen deneysel çalışmalarda gürültü maruziyeti ve yakıt tüketimi arasında bir ödünleşim sağlanabildiği görülmüştür [2].



3. MODEL TASARIMI

Pist atama problemine çözüm getiren algoritmanın geçerliliğini test etmek için İstanbul Havalimanı gerçek verilerinden yararlanılmıştır. İstanbul Havalimanı'na ait 10 günlük iniş ve kalkış trafiklerinin uçak tipi verileri ve park pozisyonu verileriyle, 30 günlük verinin analizi ile oluşturulan yakıt tüketim değerleri ve her pistten her park pozisyonuna ortalama taksi süresi tablolarından yararlanılarak bir takım varsayım ve kısıtlarla yakıt tüketimini en küçüklemeyi amaçlayan model çalıştırılmıştır.

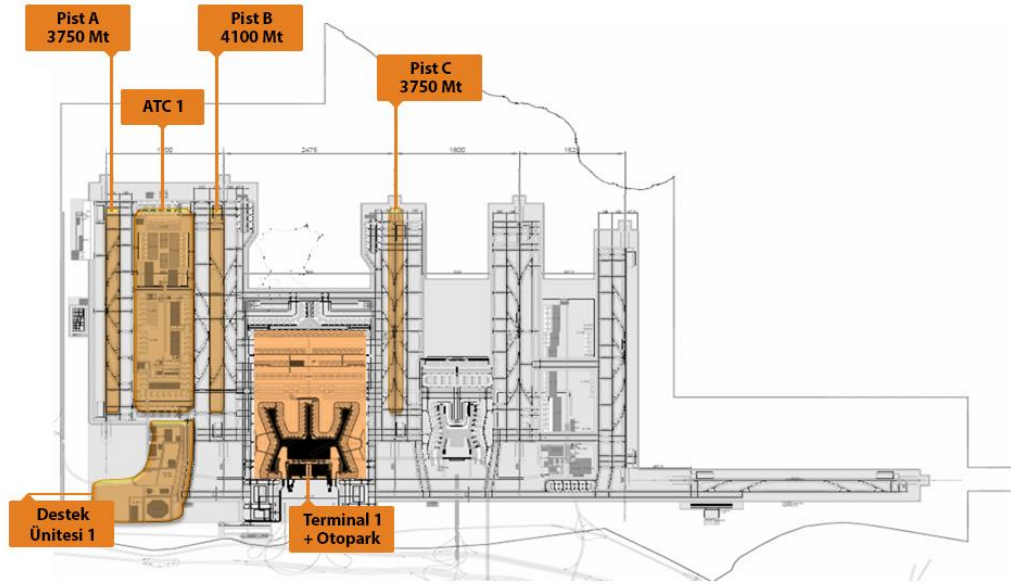
3.1. İstanbul Havalimanı Yapısı

Havacılığın dünya çapında her geçen gün değer kazanmasıyla birlikte havalimanı sistemlerine verilen önem artmıştır. Havalimanı sistemlerinde ortaya konulan gelişmelerle havalimanı sisteminin kapasitesinde önemli artışlar sağlanabilmektedir. Havacılığın gelişimiyle birlikte yeni havalimanları inşa edilmesinin yanı sıra var olan havalimanlarına ek pistler yapılarak havalimanı kapasitesi arttırılmaya çalışılmaktadır. Birçok çalışmayla ortaya konulduğu üzere çoklu paralel pistler havalimanı kapasitesini önemli oranda arttırmaktadır [36]. Dünya çapında yoğun şehirlerdeki havalimanlarında çoklu paralel pist tercih edildiği görülmektedir. Paris Charles de Gaulle Uluslararası Havalimanı, Şangay Pudong Uluslararası Havalimanı, Amsterdam Schiphol Uluslararası Havalimanı, Cidde Kral Abdul Aziz Uluslararası Havalimanı, Hartsfield–Jackson Atlanta Uluslararası Havalimanı, Detroit Metropolitan Havalimanı, Dallas Fort Worth Uluslararası Havalimanı, Denver Uluslararası Havalimanı, Chicago O'hare Uluslararası Havalimanı bunun örneklerindendir. Türkiye'de hava trafiğinin en yoğun olduğu şehirlerden biri olan İstanbul'da yer alan Atatürk Havalimanı'nın kapasitesinin yetersiz kalacağı öngörülerek yakın zamanda çoklu paralel pist yapısına sahip İstanbul Havalimanı projesi hayata geçirilmiş ve havalimanı kullanıma açılmıştır. Çoklu paralel pistlerin etkin kullanımı kapasite açısından büyük önem arz ettiği için çalışmada Asya, Avrupa ve Orta Doğu'nun kesiştiği noktada önemli bir merkez olan ve çoklu paralel pistlere sahip olan İstanbul Havalimanı'nın verileriyle pist atama modeli incelenerek çözüm sunulmuştur.

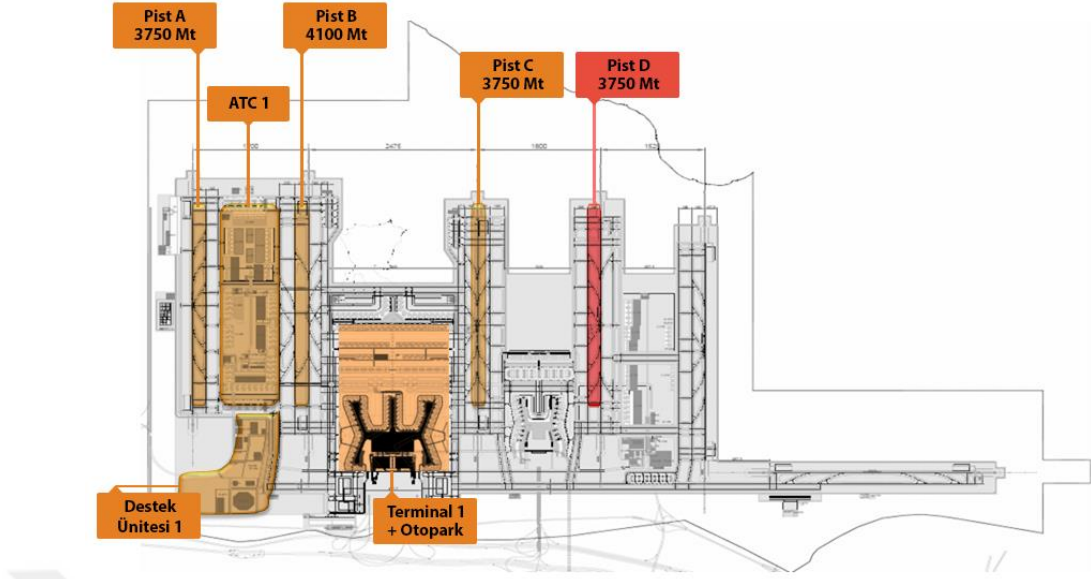
31 Ekim 2018'de ilk ticari uçuşun gerçekleştirildiği İstanbul Havalimanı açılışından kısa bir süre sonra uzun yıllar Dünya'nın ve Avrupa'nın en yoğun havalimanları olarak nitelendirilen Paris Charles de Gaulle, Amsterdam Schiphol, Frankfurt ve Londra Heathrow havalimanlarını geride bırakarak Avrupa'nın en yoğun havalimanı unvanını kazanmıştır. 21 Eylül 2021'de Dünya havacılık sektörünün prestijli

yayınlarından biri olan 2021 Air Transport Awards ödülleriinde “Yılın Havalimanı” ödölüne hak kazanmıştır. 24 Ekim 2021’de Uluslararası Havalimanları Konseyi (ACI) tarafından düzenlenen “17th ACI Europe Awards” kapsamında “Avrupa’nın En İyi Havalimanı” ve “Erişilebilir Havalimanı” ödülleriine layık görölmüştür. 11 Şubat 2022’de Dünyadaki tek uluslararası ödöl olan “Air Transport Awards ödülleriinde”, “Yılın Havalimanı” ödölüne ikinci kez layık görölmüştür (<http-5>).

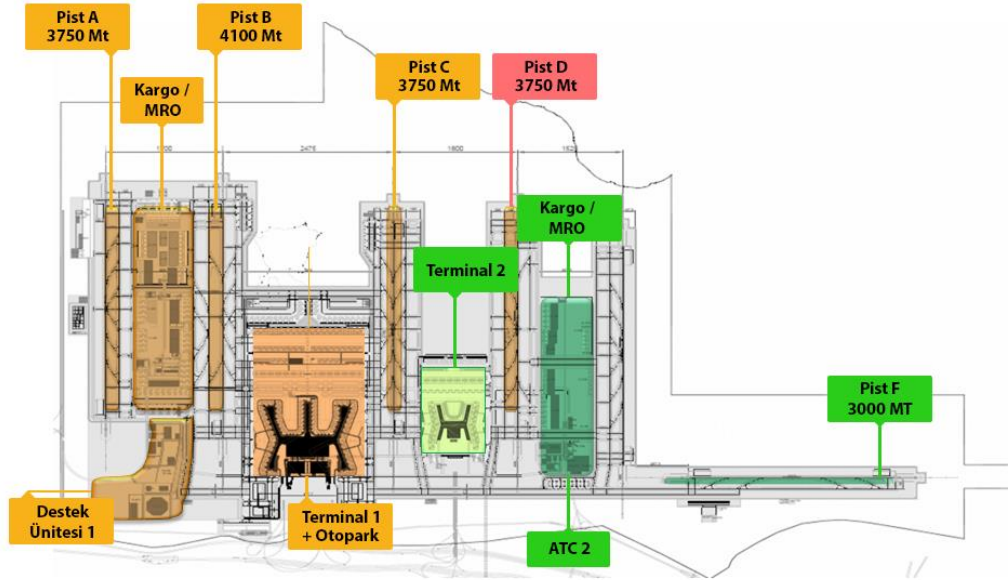
2018 yılında 4 paralel pist ile hizmete açılan İstanbul Havalimanı projesi dört fazdan oluşmaktadır (<http-6>). (Şekil 3.1.-3.4.) 14 Haziran 2020’de açılan 5.paralel pistle birlikte ilk fazı tamamlanan projesinin 2.fazında mevcut pistlere paralel bir tane daha pist eklenerek 6 tane paralel pist oluşturulacaktır. Projenin 3.fazında mevcut pistlere dik konumda bir pist daha inşa edilecektir. Son faz olan 4.fazda ise 7.paralel eklenerek toplamda 8 pist olacak şekilde inşaat tamamlanacaktır. Henüz 1.fazı tamamlanmış olan İstanbul Havalimanı 2021 yılında 262 farklı destinasyonla toplam 200 milyon yolcuya hizmet vermiştir.



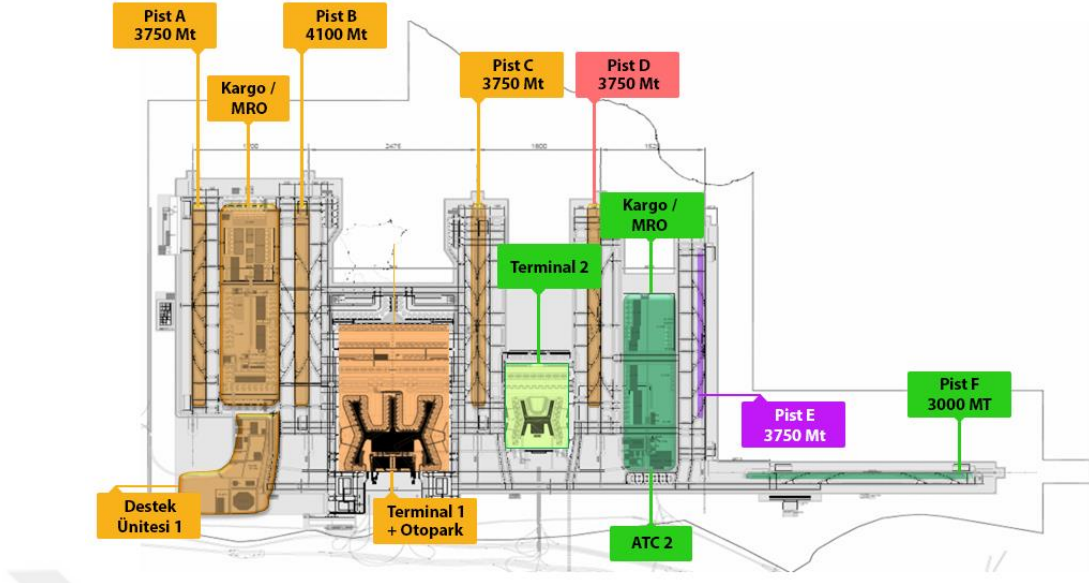
Şekil 3.1. İstanbul Havalimanı faz 1



Şekil 3.2. İstanbul Havalimanı faz 2

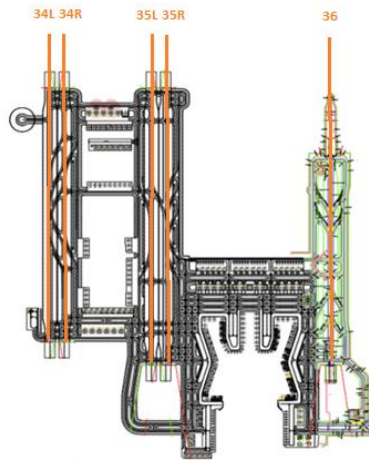


Şekil 3.3. İstanbul Havalimanı faz 3

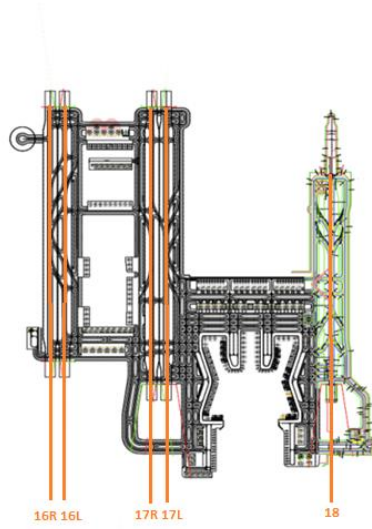


Şekil 3.4. İstanbul Havalimanı faz 4

Faz 1 aşamasının tamamlandığı İstanbul Havalimanı birbirine paralel beş pist ve 186 taksi yoluyla hizmet vermektedir. Bunlar 34L,34R,35L,35R ve 36 pistleridir. 34L,34R pistleri ve 35L,35R pistleri kendi içlerinde bağımlı paralel pistler iken diğer pistlerle bağımsız paralel pistlerdir. Örneğin 34L iniş için kullanırken 34R kalkış operasyonları için ayrılmış olarak uygulanmakta iken 34R ve 35L pistleri bağımsız paralel pistler olarak kullanılmaktadır. Rüzgârın yönü ve farklı değişkenlere göre Kuzey ve Güney konfigürasyon olmak üzere genel olarak iki farklı konfigürasyonda uçaklar iniş ve kalkış yapmaktadır. Kuzey ve Güney konfigürasyon Şekil 3.5. ve Şekil 3.6.'da gösterilmiştir.



Şekil 3.5. Kuzey konfigürasyon

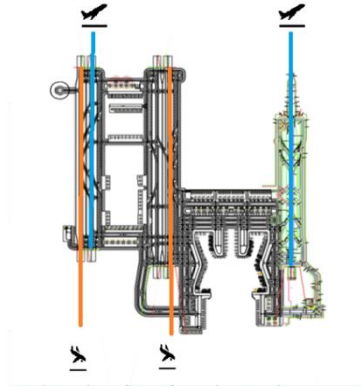


Şekil 3.6. Güney konfigürasyon

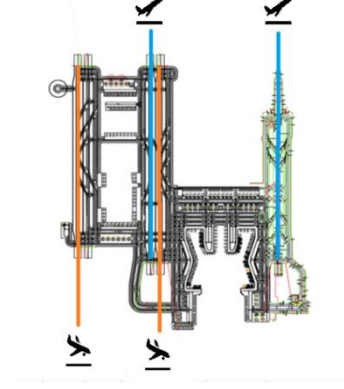
Bu çalışmada sadece Kuzey konfigürasyon ve onun operasyon modları incelenmiştir. Kuzey konfigürasyon için kullanılabilecek 9 farklı operasyon modu Tablo 3.1.'de listelenmiştir. Genel operasyon işleyişi incelendiğinde 34L ve 35R pistlerinin iniş için, 34R ve 35L pistlerinin kalkış için, 36 pistinin ise hem iniş hem kalkış için kullanıldığı gözlemlenmiştir. İniş için, kullanılan 3 pistten ikisi seçilmektedir. Aynı şekilde kalkış için kullanılan 3 pistten ikisi seçilmektedir. Operasyonlar incelendiğinde ayrılmış kullanılan pistler sebebiyle Kuzey konfigürasyonunda 6 operasyon modu uygulandığı görülmüştür. Bu operasyon modları Şekil 3.7.'de gösterilmiştir. Şekil 3.7.'de verilen operasyon modlarına göre pist atama çalışması yapılmıştır.

Tablo 3.1. Operasyon modları

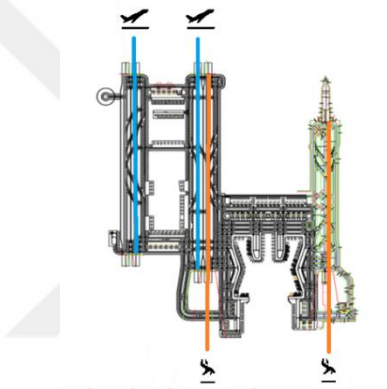
	İniş pistleri	Kalkış pistleri
Operasyon modu 1	34L, 35R	34R, 35L
Operasyon modu 2	34L, 35R	34R, 36
Operasyon modu 3	34L, 35R	35L, 36
Operasyon modu 4	35R, 36	34R, 35L
Operasyon modu 5	35R, 36	34R, 36
Operasyon modu 6	35R, 36	35L, 36
Operasyon modu 7	34L, 36	34R, 35L
Operasyon modu 8	34L, 36	34R, 36
Operasyon modu 9	34L, 36	35L, 36



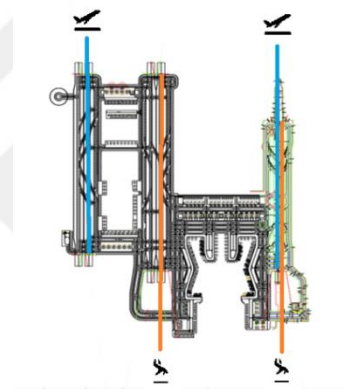
34L ve 35R iniş pisti, 34R ve 36 kalkış
pisti



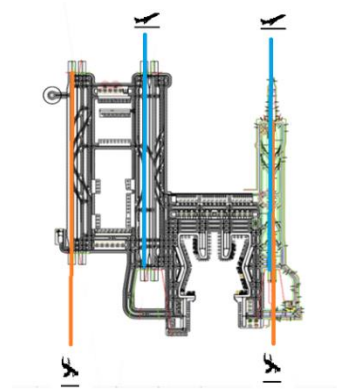
34L ve 35R iniş pisti, 35L ve 36 kalkış
pisti



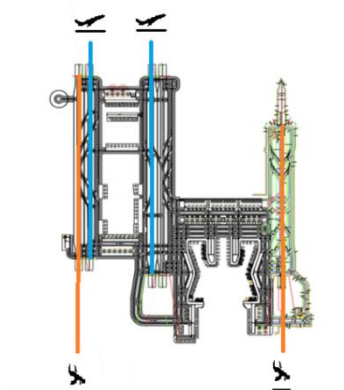
35R ve 36 iniş pisti, 34R ve 35L kalkış
pisti



35R ve 36 iniş pisti, 34R ve 36 kalkış
pisti



34L ve 36 iniş pisti, 35L ve 36 kalkış
pisti



34L ve 36 iniş pisti, 34R ve 35L kalkış
pisti

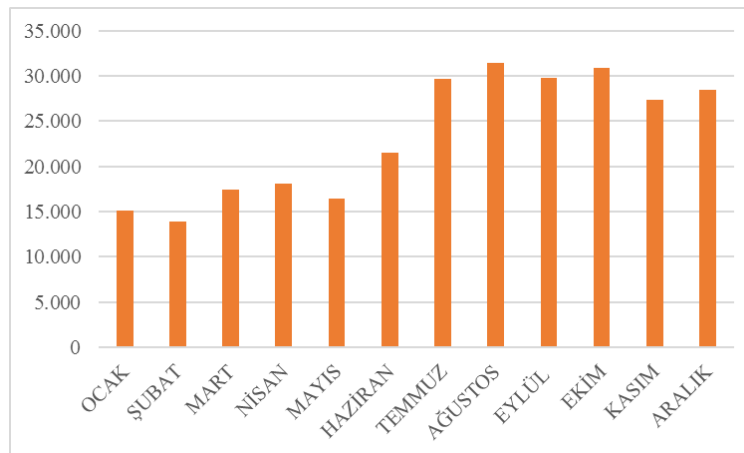
Şekil 3.7. Operasyon modları

3.2. İstanbul Havalimanı Trafik Karakteristiği

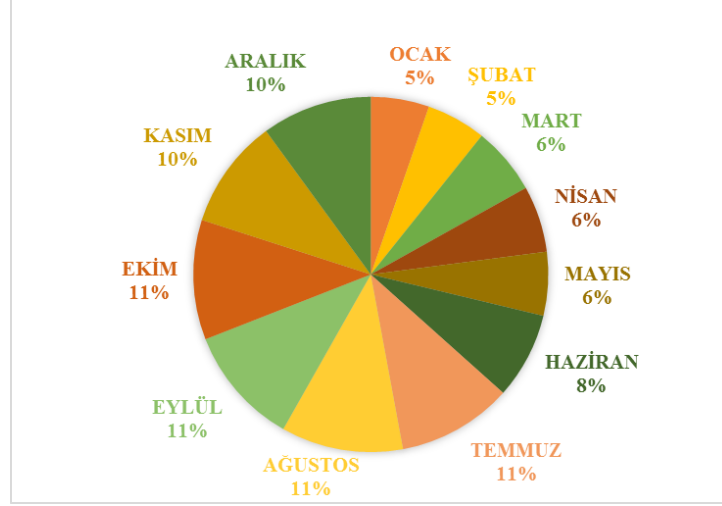
Devlet Hava Meydanları İşletmesi'nin 2021 yılına ait yıllık raporuna göre 2021 yılında trafik hacmi 2020'ye göre %39 artmış fakat pandemide uygulanan seyahat kısıtlaması sebebiyle 2019'daki trafik hacminin altında kalmıştır. 2021 yılında taşınan yolcu sayısı ise 2020 yılına oranla %57,1 artarak yaklaşık 128 milyon yolcuya ulaşmıştır. Covid-19 krizi Türkiye'deki havalimanlarını da önemli ölçüde etkilemiştir. Bu etkinin ortadan kalkması birçok havalimanında uzun zaman alsa da İstanbul, Sabiha Gökçen ve Antalya Havalimanları kısa sürede eski performansına yaklaştığı görülmüştür. Bunların içinden İstanbul Havalimanı günlük ortalama hareket bakımından Avrupa'daki ikinci havalimanı olmuştur [37].

Devlet Hava Meydanları İşletmesi 2021 yılı için 0,14 dakika/uçuş hedefini belirlemiştir fakat İstanbul, Sabiha Gökçen ve Antalya Havalimanları inişleri için hava trafik akış yönetimi gecikmesinin en çok yaşandığı 30 havalimanı içerisinde yer almıştır. İstanbul Havalimanı ilk fazının tamamlanması sonucunda artan paralel pist operasyonları ile bu gecikmelerin önemli ölçüde azalacağı öngörülmüştür [37].

2021 yılı pandeminin 2020'de havacılık üzerinde oluşan etkilerinin ortadan kalkmasının umut edildiği bir yıldır. 2021 yılının ilk yarısı trafik hacmi bu umutları karşılamayarak düşük seviyede kalmış olsa da ikinci yarıda aşılma ve Avrupa Birliği aşı sertifikasıyla birlikte trafik hacmi beklenen yönde seyretmiştir. İstanbul Havalimanı'nın 2021 yılı aylara göre trafik sayıları Şekil 3.8.'de, aylara göre trafiğin dağılımı Şekil 3.9.'da verilmiştir.



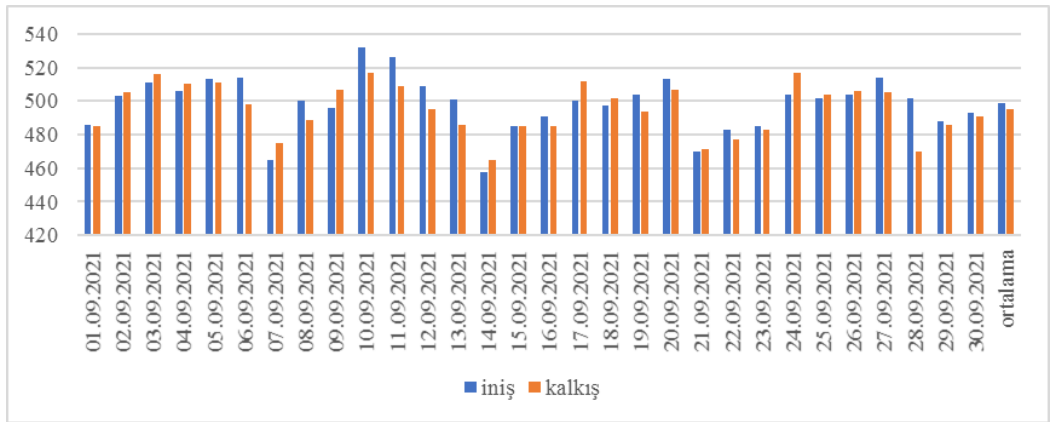
Şekil 3.8. 2021 yılı aylık trafik sayıları



Şekil 3.9. 2021 yılı trafik sayılarının aylara göre dağılımı

İstanbul Havalimanı 2021 yılında 280108 trafiğe hizmet vermiştir. Hizmet verilen uçakların %94'ünü yolcu uçakları oluştururken ikinci sırada %4'lük bir oranla kargo uçaklarına hizmet verildiği görülmektedir. Devlet uçakları, askeri uçaklar ve diğer havacılık uçakları ise hizmet verilen uçakların %1'ini oluşturmaktadır.

Çalışmada pandemi nedeniyle azalan trafik sayısının nispeten eski düzeylere yükseldiği ve yıl içerisindeki dağılıma bakıldığında ayının en yoğun operasyon gerçekleştirilen aylardan biri olan 2021 yılının Eylül ayına ait bir aylık istatistiki veri analiz edilmiştir. 2021 yılının Eylül ayında 14955 iniş ve 14863 kalkış uçağı olmak üzere toplam 29818 uçak İstanbul Havalimanını kullanmıştır. Eylül ayında günlük ortalama 499 iniş ve 496 kalkış trafiğine olmak üzere günlük ortalama ise 993 trafiğe hizmet verildiği görülmüştür. Eylül ayına ait iniş ve kalkış verileri Şekil 3.10.'da verilmiştir.



Şekil 3.10. Eylül ayı günlere göre trafik dağılımı

Devlet Hava Meydanları İşletmesi otoritesinden elde edilen verilere göre trafiklerin büyük bir çoğunluğunu oluşturan yolcu uçakları başta olmak üzere kargo uçakları, askeri uçaklar ve özel jetlerin kullandığı havalimanına eylül ayında günlük ortalama 985 yolcu uçağına hizmet verildiğı görölmüştür. Bu yolcu uçaklarının %30'u iç hat uçuşlarından oluşurken %70'lik kısmı dış hat uçuşlarından oluşmaktadır. Günlük ortalama 304 iç hat uçuşu, 681 dış hat uçuşu gerçekleştiğı görölmüştür.

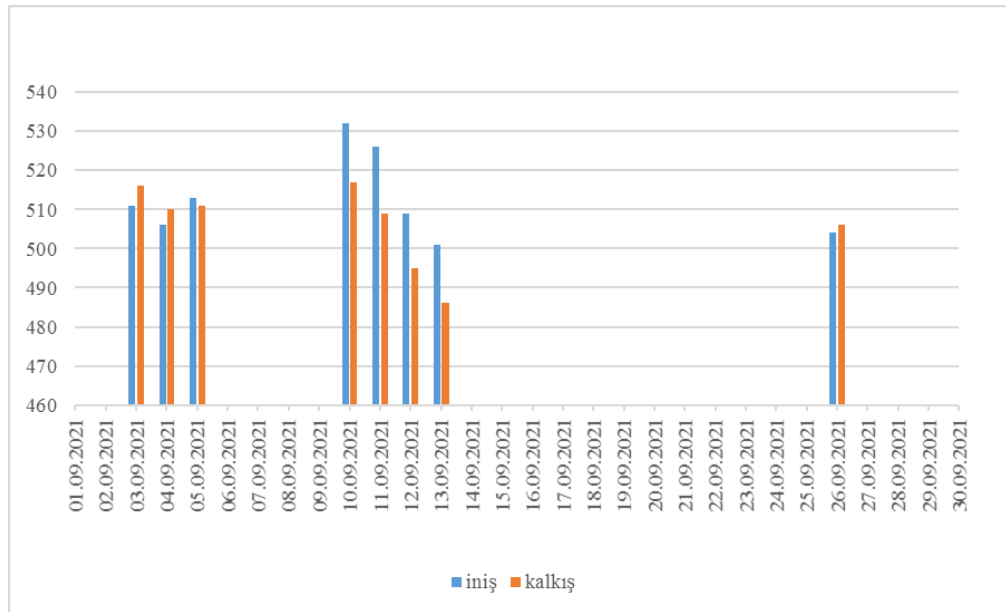
Bu analiz için 2021 Eylül ayında İstanbul Havalimanı'nı kullanan uçak tipleri ve her bir park pozisyonu ile her bir pist arasındaki ortalama taksi süresi bilgisine ulaşılmıştır. İstanbul Havalimanı'na ait bir aylık trafik verileri kullanılarak havalimanına iniş kalkış yapan uçak tipleri listelenmiştir. Uçak tipleri ve kategorileri Ek-1'de gösterilmektedir. Kullanılan motor tipleri yakıt tüketim değerini doğrudan etkileyeceğı için tabloda yer alan 1 adet Jumbo kategori, 20 adet ağır kategori ve 27 adet orta kategori uçak tipi için kullanılabilecek motor tipleri Eurocontrol verilerinden çekilerek ayrıntılı bir şekilde incelenmiştir (Skybrary, 2021). ICAO Motor Emisyon Veri Bankası'ndan her bir uçak tipi için listelenen alternatif motor tiplerinin yakıt tüketimi verileri elde edilmiştir (http-1). Olası bütün motor tiplerinin listelenmesi yakıt tüketiminde olabilecek farklılıkları görmemiz açısından önemli olarak görölmüştür. Örneğın Airbus A300-600 model bir uçakta 2 adet General Electric marka CF6 model motor ya da 2 adet Pratt & Whitney marka PW4000 model motor kullanılabilmektedir. Eğer General Electric CF6 model motor kullanılırsa yakıt tüketimi değeri 0,41 kg/sn, Pratt & Whitney marka PW4000 model motor kullanılırsa yakıt tüketimi değeri 0,205 kg/sn dir. Ayrıntılı incelendiğinde General Electric CF6 model motor dakikada 24,6 kg yakıt tüketirken, Pratt & Whitney marka PW4000 model motor dakikada yaklaşık yarısı kadar olan 12,3 kg yakıt tüketmektedir. Bu durumdan dolayı bir uçak tipi için ikiden fazla motor tipi kullanılması durumunda yakıt tüketim değerleri maksimum ve minimum değerlere göre alınmıştır. Elde edilen alternatif motor tiplerine ait yakıt tüketimi verileri minimum ve maksimum yakıt tüketimine sahip olanlara göre iki yeni tablo oluşturulmuştur. Daha az yakıt tüketimini sağlayan motor tipinin tercih edileceğı varsayımıyla her bir uçak tipi için minimum yakıt tüketim sağlayan motor tipi ve yakıt tüketim değerleri kullanılmıştır. Minimum yakıt tüketim değerleri Ek-1'de verilmiştir.

İstanbul Havalimanı geniş bir alana konuşlanması sebebiyle inilen pist ve atanan kapıya göre taksi süreleri hayli değişmektedir. İstanbul Havalimanı pistleri ile park pozisyonları arasındaki ortalama taksi süresini hesaplamak için bir aylık sürede

havalimanına iniş ve kalkış yapan uçakların taksi süreleri, kullandıkları 5 pist ve 364 park pozisyonunun verileri incelenerek her bir pist ile park pozisyonu arasındaki ortalama taksi süresi listelenmiştir. AIP LTFM AD 2.1’de “ATC tarafından aksi bildirilmedikçe hava araçları Ground Movement Chart AD 2 LTFM GMC-17 üzerindeki hız limitlerine uyacaklardır” ifadesi yer aldığından dolayı bütün uçak tipleri aynı hızda taksi yapacağından dolayı mesafe verisi yerine taksi süresi verisi incelenmiştir.

Bu alanda daha önce yapılan akademik çalışmada iniş trafiklerinin her pist için ortalama taksi sürelerine ait durumun analizine göre 34L pistine iniş yapan bir uçak 17,97 dakika, 35R pistine inen uçak 10,20 dakika ve 36 pistine iniş yapan uçak 10,45 dakika ortalama taksi süresine sahiptir. Bu analize göre atanan kapı aynı kalmak koşuluyla 34L pisti yerine 35R pistine iniş yapan bir Airbus 300-600 tipi uçak ortalama 7,77 dakika daha az taksi yaparak 191 kg yakıt tasarruf edebilmektedir. Bu sebeple çalışmada pist ataması yapılarak elde edilebilecek yakıt tasarrufu üzerinden ortaya çıkan iyileştirme incelenmiştir [38].

2021 Eylül ayına ait bir aylık trafik verisi incelenmiştir. Eylül ayında günlük ortalama 1006 trafiğe hizmet verildiği görülmüştür. Eylül ayında günlere ait iniş kalkış trafiği sayıları Şekil 3.10.’da gösterilmektedir. Eylül ayı günlük trafik ortalamasının üzerinde trafik sayısına sahip olan 8 gün belirlenerek bu günlere ait 6 saatlik veri çekilmiştir. Senaryo için kullanılan 8 günün trafik dağılımı Şekil 3.11.’de verilmiştir. Senaryolardaki iniş kalkış trafiği sayıları Tablo 3.2.’de verilmiştir.



Şekil 3.11. Kullanılan günlerin iniş kalkış trafik sayıları grafiği

Tablo 3.2. Kullanılan günlerin trafik sayıları

Tarih	İniş	Kalkış	Toplam
03.09.2021	519	527	1046
04.09.2021	513	509	1022
05.09.2021	516	517	1033
10.09.2021	516	527	1043
11.09.2021	514	509	1023
12.09.2021	515	514	1029
13.09.2021	512	505	1017
26.09.2021	509	509	1018
Ortalama	514	515	1029

3.3. Matematiksel Model ve Kabuller

Bu bölümde uçakların yer operasyonları süresince harcadıkları toplam yakıt tüketiminin en küçüklenmesi amacıyla önerilen karma tam sayılı doğrusal programlama modelinde kullanılan kümeler, parametreler, karar değişkenleri, kullanılan kısıt ve amaç fonksiyonu denklemleri tanıtılacaktır. (Tablo 3.3.-3.6.)

Temel durum 1b,2-13 denklemlerini kullanmıştır. Önerilen modelde 1a,2-13 denklemleri kullanılmıştır.

Tablo 3.3. Kümeler

Küme	Tanım
$i, i_1, i_2 \in I$	Uçak kümesini temsil eder
$j, j_1, j_2 \in J$	Pist kümesini temsil eder
$k \in K$	Park pozisyonu kümesini temsil eder

Tablo 3.4. Parametreler

Parametre	Tanım
ox_i	i . uçağın operasyon tipi bilgisi (iniş=1 ve kalkış=2)
$ra_{ox_i,j}$	Uçakların operasyon tipine göre j . pistini kullanabilmesi durumunda 1 diğer durumda 0
dpr_{j,j_2}	j . pist ile j_2 . pistin paralel bağımlı ya da aynı pist olması durumunda 1 diğer durumda 0
$taxiin_{j,k}$	İniş yapan uçaklar için j . pist ile k . park pozisyonu arasındaki taksi süresi
$taxiout_{j,k}$	Kalkış yapan uçaklar için j . pist ile k . park pozisyonu arasındaki taksi süresi
M	Yeterince büyük bir sayı
p_i	i . uçağın performans kategorisi bilgisi (Orta=1 ve Ağır=2)

Tablo 3.4. (Devam) Parametreler

Parametre	Tanım
r_i	i . uçağın gerçek veride hangi pisti kullandığı bilgisi
t_i	i . uçağın gerçek veride belirtilen taksi süresi bilgisi
g_i	i . uçağın gerçek veride belirtilen park pozisyonunu bilgisi
f_i	i . uçağın birim zamandaki yakıt tüketimi bilgisi
rt_i	i . uçağın pist kullanım zamanı bilgisi
B	Aynı park pozisyonunu kullanan iki uçak arasındaki ayırma zamanı
$tsep_{j,p_{i_1},p_{i_2},ox_{i_1},ox_{i_2}}$	j . pisti kullanan p_{i_1} ve p_{i_2} performans kategorileri ile ox_{i_1} ve ox_{i_2} operasyon tipleri bilgisine sahip aynı pisti ya da paralel iki pisti kullanan uçak çiftleri arasında korunması gereken kuyruk türbülansı ayırmaları

Tablo 3.5. Karar değişkenleri

Karar Değişkeni	Tanımı
$x_{i,j}$	i . uçağın j . piste atanması durumunda 1 diğer durumda 0 değeri alan 0-1 tam sayı karar değişkeni
$e_{1_{i_1,i_2}}$	i_1 . uçak i_2 . uçaktan önce pisti kullanacak ise 1 diğer durumda 0 değeri alan 0-1 tam sayı karar değişkeni
$e_{2_{i_1,i_2}}$	i_1 . uçak i_2 . uçaktan önce park pozisyonunu kullanacak ise 1 diğer durumda 0 değeri alan 0-1 tam sayı karar değişkeni
aw_i	i . uçağın park pozisyon için bekleme süresi
gw_i	i . uçağın pist başındaki bekleme süresi
rut_i	i . uçağın pisti kullanım zamanı
gut_i	i . uçağın park pozisyonuna ulaşma/ayrılma zamanı
$taxi_i_i$	i . uçağın park pozisyonuna gitmesi için gereken taksi süresi
$taxi_k_i$	i . uçağın piste gitmesi için gereken taksi süresi

Tablo 3.6. Denklemler

Kısıtlar ve hesaplamalar	Koşullar	Denklem no
$\sum_{j ra_{ox_i,j}=1} x_{i,j} = 1$	$\forall i \in I$	1a
$\sum_{j j=r_i} x_{i,j} = 1$	$\forall i \in I$	1b
$rut_i = rt_i$	$\forall i \in I, ox_i = 1$	2
$gut_i = rt_i - t_i$	$\forall i \in I, ox_i = 2$	3
$rut_i = rt_i - t_i + \sum_j x_{i,j} \cdot taxiout_{j,k} + gw_i$	$\forall i \in I, \forall k \in K, ox_i = 2,$ $k = g_i$	4

Tablo 3.7. (Devam) Denklemler

Kısıtlar ve hesaplamalar	Koşullar	Denklem no
$gut_i = rut_i + \sum_j x_{i,j} \cdot taxiin_{j,k} + aw_i$	$\forall i \in I, \forall k \in K, ox_i = 1,$ $k = g_i$	5
$rut_{i_2} - rut_{i_1} \geq tsep_{j,p_{i_1},p_{i_2},ox_{i_1},ox_{i_2}}$ $-(1 - e_{1_{i_1,i_2}}) \cdot M - (2 - x_{i_1,j_1} - x_{i_2,j_2}) \cdot M$	$\forall i_1, i_2 \in I, \forall j \in J, i_1 \neq i_2,$ $dpr_{j,j_2} = 1$	6
$rut_{i_1} - rut_{i_2} \geq tsep_{j,p_{i_2},p_{i_1},ox_{i_2},ox_{i_1}}$ $-(e_{1_{i_1,i_2}}) \cdot M - (2 - x_{i_1,j_1} - x_{i_2,j_2}) \cdot M$	$\forall i_1, i_2 \in I, \forall j \in J, i_1 \neq i_2,$ $dpr_{j,j_2} = 1$	7
$gut_{i_2} - gut_{i_1} \geq B - (1 - e_{2_{i_1,i_2}}) \cdot M$	$\forall i_1, i_2 \in I, g_{i_1} = g_{i_2}$	8
$gut_{i_1} - gut_{i_2} \geq B - (e_{1_{i_1,i_2}}) \cdot M$	$\forall i_1, i_2 \in I, g_{i_1} = g_{i_2}$	9
$taxi_i_i = \sum_j x_{i,j} \cdot taxiin_{j,k}$	$\forall i \in I, \forall k \in K, ox_i = 1,$ $k = g_i$	10
$taxi_k_i = \sum_j x_{i,j} \cdot taxiout_{j,k}$	$\forall i \in I, \forall k \in K, ox_i = 2,$ $k = g_i$	11
$\min \sum_i (taxi_i_i + taxi_k_i + aw_i + gw_i) \cdot f_i$		12

Denklem 1a, her bir uçağın operasyon tipine göre uygun olan bir piste atanmasını sağlamakta iken denklem 1b ise her bir uçağın gerçek verideki piste atanmasını sağlamaktadır. Denklem 2, her bir iniş uçağının gerçek veride iniş yaptığı zamanı pist kullanım zamanı olarak atanmasını sağlamaktadır. Benzer şekilde, denklem 3 ise her bir kalkış uçağının park pozisyonundan ayrılma zamanı hesaplar. Denklem 4 her bir kalkış uçağının kalkış zamanını hesaplar. Denklem 5 ise her bir kalkış uçağının kalkış zamanını hesaplar. Denklem 6 ise her bir kalkış uçağının kalkış zamanını hesaplar. Denklem 7 ise her bir kalkış uçağının kalkış zamanını hesaplar. Denklem 8 ise her bir kalkış uçağının kalkış zamanını hesaplar. Denklem 9 ise her bir kalkış uçağının kalkış zamanını hesaplar. Denklem 10 ise her bir kalkış uçağının kalkış zamanını hesaplar. Denklem 11 ise her bir kalkış uçağının kalkış zamanını hesaplar. Denklem 12 amaç fonksiyonu olarak taksi ve bekleme sürelerinden kaynaklanan toplam yakıt tüketiminin en küçüklenmesini amaçlamaktadır.

Denklem 6 ve 7 de kullanılan $tsep_{j,p_{i_2},p_{i_1},ox_{i_2},ox_{i_1}}$ parametresi DHMİ Havacılık Bilgi Yayını Türkiye’de yayınlanmış olan minimum ayırma değerleri kullanılarak elde edilmiştir [39]. Bu değerler Tablo 3.7.’de sunulmuştur. Yayınlanmış bu değerlere ek olarak ICAO Hava Seyrüsefer Hizmetleri için Prosedürler- Hava Trafik Yönetimi dokümanında bulunan uçaklar arasında olması gereken kuyruk türbülansı ayırma kriterleri de dikkate alınmıştır [40]. Kuyruk türbülansı ayırması değerleri Tablo 3.8.’de verilmiştir.

Tablo 3.7. Pistlerin ayırma değerleri

İniş yapılan pist	Kalkış yapılan pist	Minimum iniş ayırmaları
34L-36	34R-35L	34L: 8 NM 36: 4 NM
35R-36	34R-35L	35R: 5 NM 36: 4 NM
34L-35R	34R-36	34L: 8 NM 35R: 4 NM
35R-36	34R-36	35R: 4 NM 36: 8 NM
34L-35R	35L-36	34L: 4 NM 35R: 5 NM
34L-36	35L-36	34L: 4 NM 36: 8 NM

Tablo 3.8. Kuyruk türbülansı ayırmaları

Öndeki uçak	Arkadaki uçak		
	Ağır	Orta	Hafif
Ağır	4	5	6
Orta	Minimum radar ayırması	Minimum radar ayırması	5
Hafif	Minimum radar ayırması	Minimum radar ayırması	Minimum radar ayırması

İstanbul Terminal Hava Sahası’nda minimum radar ayırması 3 NM’dir. Fakat pistler için indirilebilecek minimum ayırma değeri 4 NM’dir. $tsep_{j,p_{i_2},p_{i_1},ox_{i_2},ox_{i_1}}$ parametresi Tablo 3.7. ve Tablo 3.8.’in gerekliliklerini sağlayacak şekilde uygulanmıştır.

Modelde uçakların taksi hareketleri ve bekleme yaptıkları süreler boyunca motorun rölanti konumunda yakıt tüketimi yaptığı, iniş uçaklarının sadece park pozisyonuna yanaşması sırasında bekleme yaptığı, kalkış uçaklarının pist başında beklediği kabul edilmiştir. Rüzgâr hızı sakın ve 0 kt olarak alınmıştır.

4. SAYISAL SONUÇLAR

Önerilen karma tam sayılı doğrusal programlama modelinin test edilmesi için İstanbul Havalimanı'nın 2021 Eylül ayına ait belirlenen 8 günlük trafik verisinin en yoğun 6 saatlik kısmı çekilerek temel senaryolar oluşturulmuştur. Oluşturulan temel senaryoları önerilen algoritma ile çalıştırarak yeniden pist ataması yapılmıştır.

Temel alınan 8 senaryodaki iniş, kalkış uçaklarının sayısı ve toplam uçak sayısı Tablo 4.1.'de gösterilmektedir. Senaryolarda en az 194 en fazla 241 kalkış uçağı yer alırken, kalkış uçağı sayısı en az 217 en fazla 248'dir. Bir günlük trafiğin en yoğun 6 saatinin yer aldığı senaryolarda en fazla toplam trafik sayısı 478'dir.

Tablo 4.1. Senaryoların iniş kalkış trafik sayıları

Senaryo	İniş	Kalkış	Toplam
1	194	219	413
2	241	224	465
3	237	241	478
4	224	248	472
5	233	217	450
6	233	239	472
7	230	221	451
8	235	239	473

Çalışmanın sonuçları iki şekilde değerlendirilebilir. Bunlardan ilki uçakların kategorilerine göre bekleme süreleri, taksi süreleri ve yakıt tüketim değerleri açısından değerlendirilmesidir. İkinci değerlendirilmesi gereken kısım ise iniş ve kalkış uçaklarının bekleme süreleri, taksi süreleri ve yakıt tüketim değerleri bakımından incelenmesidir

8 temel senaryo (T.S.) ve modelin önerdiği senaryoların (Ö.S.) iniş ve kalkış trafikleri için ortalama yakıt tüketimleri ve iyileşme oranları (İ.O.) Tablo 4.2.'dedir.

Temel senaryolarda iniş trafiklerinin ortalama taksi 9,5 dk ile 12,4 dk arasında değişirken, önerilen senaryolarda ortalama taksi süresi 8,1 dk ile 10,1 dk arasında değişmektedir. Önerilen modelin toplam 8 senaryoda iniş trafiklerinin ortalama taksi süresinde en az %11,3, en fazla %23,1 iyileştirme sağlamıştır.

Temel senaryolarda kalkış trafiklerinin ortalama taksi 13,5 dk ile 16,7 dk arasında değişirken, önerilen senaryolarda ortalama taksi süresi ve 13,3 dk ile 14,9 dk arasında

değişmektedir. Önerilen modelin toplam 8 senaryoda iniş trafiklerinin ortalama taksi süresinde en az %0,8 en fazla %10,8 iyileştirme sağladığı görülmektedir.

İstanbul Havalimanı gerçek verilerinden alınan temel senaryolara iniş ve kalkış trafiklerinin ortalama taksi sürelerine baktığımızda kalkış trafiklerinin daha uzun süre takside zaman geçirdikleri görülmektedir. İniş uçakları öncelikli olduğundan yerde beklemlerin daha fazla tercih edildiği görülmüştür. Ayrıca İniş ve kalkış uçaklarının yerde kullandığı taksi rotaların farklılığı taksi sürelerini doğrudan etkilemiştir. Bu durum Tablo 4.2.'den anlaşılmaktadır.

Tablo 4.2. İniş ve kalkış trafiklerinin ortalama taksi süreleri

Senaryo	İniş taksi süreleri (dk)			Kalkış taksi süreleri (dk)		
	T.S.	Ö.S.	İ.O.(%)	T.S.	Ö.S.	İ.O.(%)
1	12,4	10,1	18,6	16,7	14,9	10,8
2	11,1	8,8	20,6	13,9	13,8	0,8
3	10,3	8,2	20,2	13,5	13,3	1,0
4	11,0	8,5	23,1	13,7	13,5	1,4
5	10,7	9,1	15,1	14,1	13,9	1,7
6	9,5	8,4	11,3	13,8	13,7	1,3
7	11,2	9,1	18,9	14,2	13,9	2,0
8	10,1	8,1	19,9	14,6	13,7	6,2

İniş ve kalkış trafiklerinin takside harcadığı ortalama yakıt tüketim miktarları Tablo 4.3.'te verilmiştir. İniş trafikleri mevcutta taksi süresince ortalama en az 241,8 kg, en fazla 301,7 kg yakıt tüketmektedir. Önerilen model ile bu tüketim değerleri ortalama en az 193,6 kg'a kadar düşürülmüştür. İniş trafiklerinin taksideki ortalama yakıt tüketimini ciddi oranda azaltan modelin sunduğu iyileşme oranları %13,7 ile %24,7 arasında değişmektedir. 4 senaryoda iniş trafiklerinin takside harcadıkları ortalama yakıt miktarında %21'in üzerinde iyileşme meydana geldiği görülmektedir.

Kalkış trafikleri mevcutta taksi süresince ortalama en az 337,6 kg, en fazla 431,4 kg yakıt tüketmektedir. Önerilen model ile bu tüketim değerleri ortalama 334,6 kg'a kadar düşürülmüştür. Modelin kalkış trafiklerinin taksideki ortalama yakıt tüketimini %0,9 ile %11,1 arasında iyileştirdiği görülmektedir. 1.senaryo en yüksek iyileşme oranına sahiptir.

Tablo 4.2. ve Tablo 4.3.'teki değerlere göre kalkış trafikleri iniş trafiklerine göre ortalama taksi süresinin daha fazla olmasından kaynaklı daha fazla yakıt tükettiği görülmektedir.

Tablo 4.3. *İniş ve kalkış trafiklerinin taksideki ortalama yakıt tüketimleri*

Senaryo	İniş taksi ortalama yakıt (kg)			Kalkış taksi ortalama yakıt (kg)		
	T.S.	Ö.S.	İ.O.(%)	T.S.	Ö.S.	İ.O.(%)
1	307,1	249,3	18,8	431,4	383,7	11,1
2	271,5	213,1	21,5	345,7	342,3	1,0
3	249,3	193,6	22,3	337,6	334,6	0,9
4	262,9	198,1	24,7	355,2	351,0	1,2
5	280,6	235,8	16,0	347,0	338,9	2,3
6	241,8	208,6	13,7	360,2	354,1	1,7
7	305,3	233,7	23,4	383,6	370,5	3,4
8	247,2	200,9	18,7	376,7	355,5	5,6

İniş ve kalkış trafiklerine ait bekleme süreleri Tablo 4.4.'te verilmiştir. Tabloda iniş trafiklerinin temel senaryolarda ortalama bekleme süresi en az 1,6 dk iken önerilen senaryolarda en az 1,9 dk olduğu görülmektedir. İniş trafiklerinin ortalama bekleme sürelerindeki iyileşme oranlarına bakıldığında senaryoların çoğunluğunda negatif değerler olduğu görülmektedir.

Kalkış trafiklerine ait ortalama bekleme sürelerine bakıldığında temel senaryolarda en az 0,1 dk olduğu önerilen senaryoların hepsinde de 0,1 dk olduğu görülmektedir. İyileşme oranlarının ise %35,7 ile %85,6 arasında değiştiği görülmektedir.

İniş ve kalkış uçaklarının beklemlerinde ortaya çıkan değişimler bir arada incelendiğinde önerilen modelin kalkış beklemlerini azaltırken iniş beklemlerini görece arttırdığı görülmüştür. Bu durum iniş uçaklarının beklemlerinde küçük değişiklikler yapıp pistini değiştirerek taksi süresinin azaltılması ve buna bağlı olarak toplam yakıt tüketimini azaltılmasından kaynaklanmaktadır.

Tablo 4.4. *İniş ve kalkış trafikleri ortalama bekleme süreleri*

Senaryo	İniş ortalama bekleme süresi (dk)			Kalkış ortalama bekleme süresi (dk)		
	T.S.	Ö.S.	İ.O.(%)	T.S.	Ö.S.	İ.O.(%)
1	3,4	2,8	17,3	0,4	0,1	80,2
2	3,5	4,1	-17,0	0,1	0,1	58,5
3	1,6	1,9	-16,8	0,2	0,1	35,7
4	3,2	3,6	-13,2	0,2	0,1	49,8
5	2,5	2,7	-7,3	0,3	0,1	80,7
6	3,1	3,1	0,4	0,4	0,1	80,4
7	2,9	3,1	-4,3	0,4	0,1	85,6
8	2,3	2,7	-17,3	0,2	0,1	72,2

İniş ve kalkış trafiklerinin bekleme sürelerinde harcadıkları ortalama yakıt miktarı Tablo 4.5.'te verilmiştir. Temel senaryolarda iniş bekleme sürelerinde ortalama en az 37,5 kg yakıt tüketilirken önerilen senaryolarda ortalama en az 55,2 kg yakıt tüketimi olduğu görülmektedir. Önerilen model senaryoların çoğunluğunda iniş uçaklarının bekleme sürelerini arttırmaktadır. Model toplam yakıt tüketimini en küçükmek için çalıştığı için taksit süresinin daha kısa olacağı bir piste atama gerçekleştirmektedir.

Temel senaryolarda kalkış bekleme sürelerinde ortalama en az 2 kg yakıt tüketilirken önerilen senaryolarda ortalama en az 0,8 kg yakıt tüketimi olduğu görülmektedir. Kalkış trafiklerinin beklemedeki ortalama yakıt tüketimini %35 ile %87,1 arasında iyileştirme sunan modelin kalkış uçaklarının bekleme sürelerini önemli oranda iyileştirdiği görülmektedir.

Tablo 4.5. *İniş ve kalkış trafiklerinin beklemede harcadıkları yakıt miktarı*

Senaryo	İniş bekleme ortalama yakıt tüketimi (kg)			Kalkış bekleme ortalama yakıt tüketimi (kg)		
	T.S.	Ö.S.	İ.O.(%)	T.S.	Ö.S.	İ.O.(%)
1	60,9	57,9	4,9	11,2	2,2	80,4
2	77,8	96,1	-23,7	2,0	1,0	48,3
3	37,5	48,4	-29,1	2,5	1,4	42,0
4	51,2	56,7	-10,6	3,5	2,3	35,0
5	61,1	59,8	2,2	6,2	0,9	85,1
6	77,3	77,0	0,5	7,9	1,3	83,6
7	54,6	60,7	-11,2	6,4	0,8	87,1
8	51,0	55,2	-8,2	4,8	1,1	76,8

İncelenen senaryolarda trafik dağılımına bakıldığında ağır kategoride yer alan uçakların toplam trafiğin %30'unu geçmediği Tablo 4.6.'da görülmektedir. Bu sebeple trafiklerin kategorilerine göre bekleme süreleri ve yakıt tüketimlerini incelemek çalışmanın öneminin anlaşılması açısından gereklidir.

Tablo 4.6. *Trafiklerin kategorilere göre sayısı*

Senaryo	Orta kategori uçak sayısı	Ağır kategori uçak sayısı	Toplam
1	294	119	413
2	345	120	465
3	348	130	478
4	354	118	472
5	333	117	450
6	341	131	472
7	351	100	451
8	339	134	473

Orta ve ağır kategoride yer alan uçakların ortalama taksi süreleri Tablo 4.7.'de verilmiştir. Orta kategori trafiklerin temel senaryolarda ortalama taksi süresinin en az 11,5 en fazla 14,5 dk olduğu görülmektedir. Önerilen senaryolarda ise bu değerin en az 10,7 dk en fazla 12,5 dk olduğu görülmektedir. Önerilen modellerle en az iyileştirme %3,7 ile 6. Senaryoda olmuştur. Bu senaryoda ortalama taksi süresi 11,5 dk'dan 11,1 dk'ya düşürülmüştür. En fazla iyileşme oranı %14 ile 1.senaryoda olmuştur. Bu senaryoda ortalama taksi süresi 14,5 dk'dan 12,5 dk'ya düşürülmüştür.

Ağır kategorideki trafiklerin ortalama taksi süresinin temel senaryolarda en az 12,2 dk en fazla 15,1 dk olduğu görülmektedir. Önerilen senaryolarda ise bu değerin en az 10,9 dk en fazla 13 dk olduğu görülmektedir. En fazla iyileşme oranı %14,3 ile 8.senaryoda ortaya çıkmıştır. 8.senaryoda ortalama taksi süresi 13,1 dk'dan 11,1 dk'ya düşürülmüştür.

Tablo 4.7. Orta ve ağır kategori trafiklerin ortalama taksi süreleri

Senaryo	Orta kategori taksi süreleri (dk)			Ağır kategori taksi süreleri (dk)		
	T.S.	Ö.S.	İ.O.(%)	T.S.	Ö.S.	İ.O.(%)
1	14,5	12,5	14,0	15,1	13,0	13,6
2	12,3	11,0	10,8	12,7	11,7	7,5
3	11,7	10,7	8,4	12,3	10,9	11,4
4	12,2	10,9	10,4	13,0	11,6	10,9
5	12,2	11,4	6,1	12,9	11,4	12,1
6	11,5	11,1	3,7	12,2	11,1	9,1
7	12,3	11,3	8,1	13,8	11,9	14,3
8	12,1	10,8	10,4	13,1	11,1	15,0

Orta ve ağır kategori trafiklerin takside harcadıkları yakıt miktarları Tablo 4.8.'de verilmiştir. Bu tabloya göre temel senaryolarda orta kategori için ortalama yakıt tüketim miktarları en az 252,5 kg iken önerilen model ile ortalama en az 230 kg'dır. En az %5,2 en fazla %14,4 iyileştirme ortaya konulduğu görülmüştür. %14,4 iyileşme görülen 1.senaryoya bakıldığında 294 adet orta kategori uçak ve ortalama yakıt tüketim değerlerinin 324,7 kg'dan 278 kg'a düşürüldüğü görülmektedir. Bu değerlere göre 1.temel senaryoya önerilen model ile toplam yakıt tüketimi yaklaşık 14 ton azaltılmıştır. En az iyileşme oranının görüldüğü 6. Senaryoda ise ortalama taksideki yakıt tüketimi 268,4 kg'dan 254,5 kg'a düşürülerek 4,5 tonun üzerinde yakıt tasarrufu sağlanmıştır.

Ağır kategorideki trafiklerin takside harcadıkları ortalama yakıt miktarları temel senaryolarda en az 388,4 kg iken önerilen model ile ortalama yakıt tüketimi 354,6 kg'a kadar azaltılmıştır. En az %7,5 en fazla %15,1 iyileştirme ortaya konulmuştur. En yüksek iyileşme oranına sahip 8.senaryoya bakıldığında 134 adet ağır kategori uçak olduğu ve ortalama yakıt tüketim değerlerinin 424,4 kg'dan 360,4 kg'a düşürüldüğü görülmektedir. Bu değerlere göre 8.temel senaryoya önerilen model ile 8,5 tondan fazla yakıt tasarrufu sağlanmıştır.

Tablo 4.8. Orta ve ağır kategori trafiklerin taksideki ortalama yakıt tüketimleri

Senaryo	Orta kategori taksi yakıt (kg)			Ağır kategori taksi yakıt (kg)		
	T.S.	Ö.S.	İ.O.(%)	T.S.	Ö.S.	İ.O.(%)
1	324,7	278,0	14,4	492,4	425,7	13,6
2	268,8	236,6	12,0	417,9	386,7	7,5
3	252,5	230,0	8,9	404,4	357,4	11,6
4	270,9	242,8	10,4	433,0	385,2	11,0
5	273,5	254,9	6,8	424,0	372,6	12,1
6	268,4	254,5	5,2	388,4	354,6	8,7
7	308,8	273,0	11,6	466,2	398,1	14,6
8	269,1	247,3	8,1	424,4	360,4	15,1

Sunulan model ile orta kategori ve ağır kategori uçakların taksi sürelerinde meydana gelen değişimler ve toplam taksi yakıt tüketiminde meydana gelen azalma incelendiğinde orta kategoride senaryolarda en az 4,5 ton en fazla 14 ton azaltırken, ağır kategoride en az 3,5 ton en fazla yaklaşık 8,5 ton olduğu görülmektedir.

Orta ve ağır kategori trafiklerin ortalama bekleme süreleri Tablo 4.9.'da verilmiştir. Orta kategori trafiklerin temel senaryolarda ortalama bekleme sürelerinin en az bekleme 0,9 dk iken en fazla 2,2 dk olduğu görülmektedir. Önerilen senaryolarda ise ortalama bekleme sürelerinin en az bekleme 0,9 dk iken en fazla 2,4 dk'dır. Senaryoların yarısında iyileşme görülürken yarısında iyileşme görülmemiştir. En fazla iyileşme oranı %24,6 ile 1.senaryoda görülmüştür.

Ağır kategori uçakların ortalama bekleme süreleri temel senaryolarda en az bekleme 0,4 dk iken en fazla 1,4 dk olduğu görülmektedir. Sunulan modelle 8 senaryonun 3'ünde iyileşme sağlanırken 5 senaryoda iyileşme meydana gelmemiştir. En fazla iyileşme 1.senaryoda ortalama bekleme süresini 0,9 dk'dan 0,7 dk'ya azaltarak %28,6 oranında olmuştur.

Tablo 4.9. Orta ve ağır kategori trafiklerin ortalama bekleme süreleri

Senaryo	Orta kategori bekleme süreleri (dk)			Ağır kategori bekleme süreleri (dk)		
	T.S.	Ö.S.	İ.O.(%)	T.S.	Ö.S.	İ.O.(%)
1	2,2	1,7	24,6	0,9	0,7	28,6
2	2,0	2,4	-16,8	1,4	1,5	-5,4
3	0,9	0,9	-5,1	0,9	1,1	-32,2
4	1,8	2,0	-12,6	1,2	1,1	6,3
5	1,8	1,7	4,1	0,5	0,6	-21,6
6	2,0	1,7	13,4	1,0	1,1	-9,4
7	1,9	1,8	9,3	0,8	1,0	-26,0
8	1,6	1,8	-10,9	0,4	0,4	8,2

Orta ve ağır kategori trafiklerin beklemeden kaynaklı harcadıkları ortalama yakıt miktarları Tablo 4.10.'da verilmiştir. Orta kategori trafiklerin temel senaryolarda beklemeden kaynaklı harcanan ortalama yakıt miktarı en az 18 kg iken, önerilen senaryolarda 21,6 kg'dır. Beklemeden kaynaklı ortalama yakıt tüketim miktarında görülen en fazla iyileşme %14,4 ile 1.senaryoda görülmüştür. 1.temel senaryoda beklemedeki ortalama yakıt tüketimi 38 kg iken önerilen modelde 32,5 kg'a kadar düşürülmüştür. 1.senaryoda 294 adet orta kategori uçak bulunmaktadır. 1.senaryoya önerilen model ile beklemeden kaynaklı yakıt tüketim miktarı 1,6 ton azaltılmıştır.

Ağır kategori uçakların beklemeden kaynaklı harcadıkları ortalama yakıt miktarları temel senaryolarda en az 11,8 kg iken, önerilen senaryolarda 10,6 kg'dır. Beklemeden kaynaklı ortalama yakıt tüketim miktarında görülen en fazla iyileşme %30,4 ile 1.senaryoda görülmüştür. 1.temel senaryoda beklemedeki ortalama yakıt tüketimi 26,2 kg iken önerilen modelde 18,2 kg'a düşürülmüştür. 1.senaryoda 119 adet ağır kategori uçak bulunmaktadır. 1.senaryoya önerilen model ile beklemeden kaynaklı yakıt tüketim miktarı 952 kg azaltılmıştır.

Tablo 4.10. Orta ve ağır kategori trafiklerin beklemedeki yakıt tüketimleri

Senaryo	Orta kategori bekleme yakıt (kg)			Ağır kategori bekleme yakıt (kg)		
	T.S.	Ö.S.	İ.O.(%)	T.S.	Ö.S.	İ.O.(%)
1	38,0	32,5	14,4	26,2	18,2	30,4
2	42,4	53,9	-27,3	38,0	39,9	-5,0
3	18,0	21,6	-20,0	24,7	33,0	-33,6
4	22,6	25,9	-14,6	36,8	34,7	5,7
5	42,0	36,6	12,9	13,8	16,7	-21,0
6	44,6	38,4	13,9	36,0	39,3	-9,4
7	31,8	30,2	5,0	27,9	35,4	-26,7
8	34,1	34,8	-2,2	11,8	10,6	10,0

Senaryolarda pistlerin kullanım oranları Tablo 4.11.-4.18.'de verilmiştir. Tüm senaryolar incelendiğinde sadece iniş pisti olarak kullanılan 34L pistinin kullanımı incelendiğinde önerilen bütün senaryolarda kullanım oranının arttırıldığı görülmektedir. Sadece kalkış pisti olarak kullanılan 34R pistine atama yapılmadığı görülmektedir. İstanbul Havalimanı'nın trafiğinin büyük bir kısmını yolcu taşımacılığı yapan uçakların oluşturması ve 34R pistinin konumunun terminal binasına yakın pozisyonundaki park yerlerine uzak kalması sebebiyle yakıt tüketimini arttıracak için model bu piste kalkış atamamıştır. Sadece kalkış pisti olarak kullanılan 35L pistine kalkışları atayarak taksi süresi ve buna bağlı olarak yakıt tüketimini azalttığı tablolardan anlaşılmaktadır. 35L pistinin kullanım sıklığı ve kullanım oranları incelendiğinde 4.senaryo hariç tüm senaryolarda 35L pistinin kullanım oranı artmıştır. Sadece iniş pisti olarak kullanılan 35R pistinin kullanım sıklığı ve kullanım oranlarına bakıldığında önerilen 3 senaryoda kullanım oranı arttırılırken, 5 senaryoda azaltılarak iyileştirme gerçekleştirilmiştir. İniş ve kalkış pisti olarak kullanılan 36 pistinin 7 senaryoda kullanım oranı azalırken 1 senaryoda kullanım oranı arttırılarak iyileştirme gerçekleştirilmiştir.

Pist kullanım sıklığı ve oranlarına ait tablolar incelendiğinde önerilen modelin sadece iniş için kullanılan 34L pistinin kullanımını arttırma, sadece kalkış için kullanılan 34R pistinin kullanımını ortadan kaldırma, sadece kalkış için kullanılan 35L pistinin kullanımını arttırma, hem iniş hem kalkış için kullanılan 36 pistinin kullanımını azaltma yönünde önerilerde bulunduğu görülmektedir. 34L pistinin iniş için daha çok kullanımı, 35L pistinin de kalkış için daha çok tercih edilmesi yakıt tüketimlerini iyileştireceği görülmektedir.

Tablo 4.11. Senaryo 1 pist kullanımları

Temel senaryo			Önerilen senaryo	
Pist	Pist kullanım sıklığı	Pist kullanım yüzdesi	Pist kullanım sıklığı	Pist kullanım yüzdesi
34L	9	2,2%	55	13,3%
34R	6	1,5%	0	0,0%
35L	87	21,1%	178	43,1%
35R	121	29,3%	29	7,0%
36	190	46,0%	151	36,6%

Tablo 4.12. Senaryo 2 pist kullanımları

Temel senaryo			Önerilen senaryo	
Pist	Pist kullanım sıklığı	Pist kullanım yüzdesi	Pist kullanım sıklığı	Pist kullanım yüzdesi
34L	13	2,8%	69	14,8%
34R	5	1,1%	0	0,0%
35L	98	21,1%	130	28,0%
35R	144	31,0%	171	36,8%
36	205	44,1%	95	20,4%

Tablo 4.13. Senaryo 3 pist kullanımları

Temel senaryo			Önerilen senaryo	
Pist	Pist kullanım sıklığı	Pist kullanım yüzdesi	Pist kullanım sıklığı	Pist kullanım yüzdesi
34L	8	1,7%	65	13,6%
34R	4	0,8%	0	0,0%
35L	97	20,3%	104	21,8%
35R	159	33,3%	166	34,7%
36	210	43,9%	140	29,3%

Tablo 4.14. Senaryo 4 pist kullanımları

Temel senaryo			Önerilen senaryo	
Pist	Pist kullanım sıklığı	Pist kullanım yüzdesi	Pist kullanım sıklığı	Pist kullanım yüzdesi
34L	13	2,8%	72	15,4%
34R	5	1,1%	0	0,0%
35L	95	20,3%	83	17,7%
35R	128	27,3%	146	31,1%
36	228	48,6%	171	36,5%

Tablo 4.15. Senaryo 5 pist kullanımları

Temel senaryo			Önerilen senaryo	
Pist	Pist kullanım sıklığı	Pist kullanım yüzdesi	Pist kullanım sıklığı	Pist kullanım yüzdesi
34L	14	3,1%	38	8,2%
34R	3	0,7%	0	0,0%
35L	84	18,7%	121	26,9%
35R	144	32,0%	138	30,7%
36	205	45,6%	153	34,0%

Tablo 4.16. Senaryo 6 pist kullanımları

Temel senaryo			Önerilen senaryo	
Pist	Pist kullanım sıklığı	Pist kullanım yüzdesi	Pist kullanım sıklığı	Pist kullanım yüzdesi
34L	7	1,5%	28	5,9%
34R	2	0,4%	0	0,0%
35L	95	20,1%	134	28,4%
35R	147	31,1%	88	18,6%
36	221	46,8%	222	47,0%

Tablo 4.17. Senaryo 7 pist kullanımları

Temel senaryo			Önerilen senaryo	
Pist	Pist kullanım sıklığı	Pist kullanım yüzdesi	Pist kullanım sıklığı	Pist kullanım yüzdesi
34L	8	1,8%	60	13,3%
34R	2	0,4%	0	0,0%
35L	87	19,3%	128	28,4%
35R	137	30,4%	48	10,6%
36	217	48,1%	215	47,7%

Tablo 4.18. Senaryo 8 pist kullanımları

Temel senaryo			Önerilen senaryo	
Pist	Pist kullanım sıklığı	Pist kullanım yüzdesi	Pist kullanım sıklığı	Pist kullanım yüzdesi
34L	5	1,1%	50	10,5%
34R	4	0,8%	0	0,0%
35L	105	22,2%	160	33,8%
35R	152	32,1%	132	27,8%
36	208	43,9%	132	27,8%

İniş ve kalkış uçaklarının toplam yakıt tüketimleri ve her senaryodaki toplam yakıt tüketimi değerleri Tablo 4.19.'da verilmiştir. Önerilen model tüm senaryolarda toplam yakıt tüketimini azaltmıştır. İniş trafiklerinin toplam yakıt tüketimindeki iyileştirme kalkış trafiklerinin toplam yakıt tüketimindeki iyileştirmelere göre nispeten daha fazla olduğu görülmektedir. Sunulan model ile %6,6 ile %14,4 arasında iyileşme sunduğu görülmektedir. En yüksek iyileşmenin %14,4 ile 1. senaryoda gerçekleştiği tabloda görülmektedir.

Tablo 4.19. *Senaryolardaki toplam yakıt tüketimleri*

Senaryo		İniş toplam yakıt (kg)	Kalkış toplam yakıt (kg)	Toplam yakıt (kg)
1	T.S.	71409,2	96937,9	168347,2
	Ö.S.	59600,1	84509,7	144109,8
	İ.O. (%)	16,5	12,8	14,4
2	T.S.	84159,2	77891,9	162051,0
	Ö.S.	74531,8	76896,7	151428,6
	İ.O. (%)	11,4	1,3	6,6
3	T.S.	67950,6	81959,3	149909,9
	Ö.S.	57337,2	80982,7	138320,0
	İ.O. (%)	15,6	1,2	7,7
4	T.S.	70367,4	88964,6	159332,0
	Ö.S.	57068,4	87598,7	144667,1
	İ.O. (%)	18,9	1,5	9,2
5	T.S.	79618,5	76657,4	156275,9
	Ö.S.	68860,6	73744,1	142604,7
	İ.O. (%)	13,5	3,8	8,7
6	T.S.	74352,2	87977,9	162330,1
	Ö.S.	66546,5	84935,6	151482,1
	İ.O. (%)	10,5	3,5	6,7
7	T.S.	82775,8	86192,1	168967,9
	Ö.S.	67731,3	82058,9	149790,1
	İ.O. (%)	18,2	4,8	11,3
8	T.S.	70083,7	91181,1	161264,8
	Ö.S.	60170,6	85230,1	145400,7
	İ.O. (%)	14,1	6,5	9,8

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada çoklu paralel pist operasyonlarında pist atama probleminin çözümü için karma tam sayılı doğrusal programlama modeli önerilmiştir. Modelde yer hareketlerinde harcanan toplam yakıt tüketiminin en küçüklemesi hedeflenmiştir. Modelin geçerliliğinin test edilmesi için İstanbul Havalimanı'nın gerçek trafik verileri incelenerek havalimanını kullanan uçak tipleri ve her bir park pozisyonundan her bir piste ortalama taksi süreleri belirlenmiştir. Belirlenen uçak tiplerinin yakıt tüketimlerini hesaplamak için her bir uçak tipinde kullanılabilecek motor tipleri ve onların yakıt tüketim değerleri incelenerek listelenmiştir.

Daha önce yapılan çalışmalardan farklı olarak gerçeğe uygun bir şekilde havalimanında hizmet verilen tüm uçak tipleri ve yakıt tüketimleri ayrıntılı olarak incelendiği çalışmada daha önce herhangi bir çalışmada yer almayan İstanbul Havalimanı'nın yer hareketlerindeki yakıt tüketimin en küçüklenmesi amaç olarak belirlenmiştir.

Atanan kapıları sabit tutup yeniden pist ataması yapılarak uçakların taksi ve bekleme süresinde harcadığı toplam yakıt miktarını en küçüklemeyi hedefleyen tam sayılı doğrusal programlama modelinin geçerliliği İstanbul Havalimanı verileriyle oluşturulan senaryolarla test edilmiştir. İstanbul Havalimanı'na ait 8 günlük trafik verisinin 6 saatlik kısımları alınarak uygulanan senaryolar gerçekte uygulanan ile karşılaştırılarak ortaya konulan iyileştirmeler değerlendirilmiştir.

Deneyisel sonuçlar incelendiğinde önerilen model ile incelenen 8 senaryoda toplam yakıt tüketiminde temel senaryoya göre en az %6,6 en fazla %14,4 iyileşme sunulmuştur. Toplam yakıt tüketiminde en fazla iyileşmenin görüldüğü durumda iniş trafiklerinin toplam yakıtının %16,5 kalkışların toplam yakıtının %12,8 azaltıldığı görülmektedir.

Pist atama önerisi sunan modelin pistlere atama oranları incelendiğinde iniş trafiklerini 34L pistine, kalkış trafiklerini 35L pistine atayarak bu pistlerin kullanımını artırma yönünde atama yaptığı, 34R pistine atama yapmayarak bu pistin kullanımını ortadan kaldırdığı görülmüştür.

Pist ataması problemine sunulan çözümlerde park pozisyonuna yakın piste atama yaparak yakıt tüketimini azaltılmaya çalışılmaktadır. Çözümü kolay olmayan pist ataması hava trafik kontrolörü tarafından mevcut iş yükü arasında çözülmesi zor bir problemidir. Bu sebeple hava trafik kontrolörünün pist ataması konusunda karar vermesinde yardımcı olacak mekanizmalara ihtiyaç duyulmaktadır. Sunulan bu model ile gerçek hayatta

ihtiyaç duyulan durumu ele almak istenmiştir. Uygulamada böyle bir karar destek mekanizması bulunmamaktadır. Böyle bir karar destek mekanizmasının kullanımı yaklaşma kontrolörünün karar verme sürecini hızlandıracağı, kule kontrolörünün sorumlu olduğu yer hareketlerinin daha verimli olması sonucu iş yükünü azaltması, havayolu işletmecisi açısından daha az maliyet sağlaması, çevre açısından daha az kirliliğe sebep olması açısından çok önemlidir.

Çalışmadan anlaşılmaktadır ki pist ataması uçakların toplam yakıt tüketimini önemli ölçüde etkilemektedir. Kapıları değiştirilmeden pistlerinin değiştirilmesi bile bu denli fark yaratıyorsa sistemli bir şekilde kapı ve pist atamasının yakıt tüketimi üzerinde önemli etkiler yaratabileceği düşünülmektedir. Çalışma yaklaşma kontrol ve yol kontrolle birleştirilerek daha kapsamlı hale getirilebilir. Çalışmada yakıt tüketiminin azaltmasının çevresel etkisi incelenmemiştir fakat azaltılan yakıt tüketimi çevreye yayılan egzoz emisyonunu ve karbon ayak izini azaltacağı ortadadır. Pist atamasının çevresel etkileri daha sonraki çalışmalarda incelenebilir.

KAYNAKÇA

- [1] EUROCONTROL (2018), European Aviation In 2040 Challenges Of Growth Annex1 Flight Forecast to 2040, Bruksel
- [2] Delsen, J. G. (2016). Flexible Arrival & Departure Runway Allocation Using Mixed-Integer Linear Programming: A Schiphol Airport Case Study. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Delft: Delft Teknoloji Üniversitesi.
- [3] Idris, H., Delcaire, B., Anagnostakis, I., Hall, W., Pujet, N., Feron, E., ... & Odoni, A. (1998). Identification of flow constraint and control points in departure operations at airport systems. In Guidance, Navigation, and Control Conference and Exhibit (p. 4291).
- [4] Airports Council International and International Air Transport Association. 1996. Airports Capacity Demand Management 3rd ed. Geneva: Airports Council International:International Air Transport Association.
- [5] Bazargan M, Fleming K, Subramanian P (2002) A simulation study to investigate runway capacity using TAAM. In: Proceeding of the 34th winter simulation conference (WSC'02), San Diego, CA, USA
- [6] Ikli, S., Mancel, C., Mongeau, M., Olive, X., & Rachelson, E. (2021). The aircraft runway scheduling problem: A survey. *Computers & Operations Research*, 132, 105336. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2021.105336>
- [7] Isaacson DR, Davis TJ, Robinson JE (1997) Knowledge-based runway assignment for arrival aircraft in the terminal area. In: Proceedings of AIAA guidance, navigation, and control conference, New Orleans, LA, USA
- [8] Hong, Y., Cho, N., Kim, Y., & Choi, B. (2017). Multiobjective optimization for aircraft arrival sequencing and scheduling. *Journal of Air Transportation* (Reston, Va.), 25(4), 115-122. <https://doi.org/10.2514/1.D0085>
- [9] Liang, M., Delahaye, D., & Marechal, P. (2018). Conflict-free arrival and departure trajectory planning for parallel runway with advanced point-merge system. *Transportation Research. Part C, Emerging Technologies*, 95(October 2018), 207-227. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2018.07.006>
- [10] Cecen, R. K. (2021). Multi-objective TMA management optimization using the point merge system. *Aircraft Engineering*, 93(1), 15-24. <https://doi.org/10.1108/AEAT-09-2019-0181>
- [11] Cecen, R. K., Saraç, T., & Çetek, C. (2022). Emission and Flight Time Optimization Model for Aircraft Landing Problem. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*.
- [12] Ma, J., Delahaye, D., Sbihi, M., Scala, P., & Mujica Mota, M. A. (2019). Integrated optimization of terminal maneuvering area and airport at the macroscopic level. *Transportation Research. Part C, Emerging Technologies*, 98(January 2019), 338-357. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2018.12.006>

- [13] Cecen, R. K., Cetek, C. and Kaya, O. (2020). Aircraft sequencing and scheduling in TMAs under wind direction uncertainties. *The Aeronautical Journal*, 124(1282), 1896–1912. doi:10.1017/aer.2020.68
- [14] Ghoniem, A., Sherali, H. D., & Baik, H. (2014). Enhanced models for a mixed arrival-departure aircraft sequencing problem. *INFORMS Journal on Computing*, 26(3), 514-530. <https://doi.org/10.1287/ijoc.2013.0581>
- [15] Al-Salem, A., Farhadi, F., Kharbeche, M., & Ghoniem, A. (2012). Multiple-runway aircraft sequencing problems using mixed-integer programming. In *IIE Annual Conference. Proceedings* (p. 1). Institute of Industrial and Systems Engineers (IISE).
- [16] Bolat, A. (1999). Assigning arriving flights at an airport to the available gates. *The Journal of the Operational Research Society*, 50(1), 23-34. <https://doi.org/10.1057/palgrave.jors.2600655>
- [17] Yan, S., & Huo, C. (2001). Optimization of multiple objective gate assignments. *Transportation Research. Part A, Policy and Practice*, 35(5), 413-432. [https://doi.org/10.1016/S0965-8564\(99\)00065-8](https://doi.org/10.1016/S0965-8564(99)00065-8)
- [18] Tang, C., Yan, S., & Hou, Y. (2010). A gate reassignment framework for real time flight delays. *4or*, 8(3), 299-318. <https://doi.org/10.1007/s10288-009-0112-1>
- [19] Prem Kumar, V., and Bierlaire, M. (2014), Multi-objective airport gate assignment problem in planning and operations, *J. Adv. Transp.*, 59, 902– 926, doi: 10.1002/atr.1235
- [20] Hidayatno, A., Armand, O. M., & Gede Arya, S. D. (2015). Designing Gate Assignment Model to Find the Optimum Airport Gate Assignment Order. *Jurnal Teknik Industri*, 17(1), 1-6. <https://doi.org/10.9744/jti.17.1.1-6>
- [21] Chao, C., Tang, C., & Hsiao, Y. (2020). Planned gate and runway assignments considering carbon emissions and costs. *International Journal of Sustainable Transportation*, 14(8), 643-655. <https://doi.org/10.1080/15568318.2019.1597225>
- [22] Karsu, Ö., Azizoglu, M., & Alanlı, K. (2021). Exact and heuristic solution approaches for the airport gate assignment problem. *Omega (Oxford)*, 103, 102422. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2021.102422>
- [23] Cecen, R. K. (2021). Multi-objective optimization model for airport gate assignment problem. *Aircraft Engineering*, 93(2), 311-318. <https://doi.org/10.1108/AEAT-09-2020-0217>
- [24] She, Y., Zhao, Q., Guo, R., & Yu, X. (2022). A robust strategy to address the airport gate assignment problem considering operators' preferences. *Computers & Industrial Engineering*, 168, 108100. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2022.108100>

- [25] Dönmez, K., Çetek, C., & Kaya, O. (2022). Aircraft sequencing and scheduling in parallel-point merge systems for multiple parallel runways. *Transportation Research Record*, 2676(3), 108-124. <https://doi.org/10.1177/03611981211049410>
- [26] Dönmez, K. (2022). Paralel toplama noktası sistemine sahip çok pistli havalimanlarında pist çizelgeleme problemi için çok amaçlı stokastik programlama modeli. Yayınlanmamış Doktora Tezi. Eskişehir: Eskişehir Teknik Üniversitesi.
- [27] Guépet, J., Briant, O., Gayon, J., & Acuna-Agost, R. (2017). Integration of aircraft ground movements and runway operations. *Transportation Research. Part E, Logistics and Transportation Review*, 104, 131-149. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2017.05.002>
- [28] Rodríguez-Sanz, Á., Arnaldo Valdes, Rosa Maria M, Pérez-Castán, J. A., López Cózar, P., & Comendador, V. F. G. (2022). Tactical runway scheduling for demand and delay management. *Aircraft Engineering and Aerospace Technology*, 94(1), 2-13. <https://doi.org/10.1108/AEAT-12-2020-0314>
- [29] Salehipour, A. (2020). An algorithm for single- and multiple-runway aircraft landing problem. *Mathematics and Computers in Simulation*, 175, 179-191. <https://doi.org/10.1016/j.matcom.2019.10.006>
- [30] Sölveling, G., Solak, S., Clarke, J. B., & Johnson, E. L. (2011). Scheduling of runway operations for reduced environmental impact. *Transportation Research. Part D, Transport and Environment*, 16(2), 110-120. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2010.09.004>
- [31] Lieder, A., & Stolletz, R. (2016). Scheduling aircraft take-offs and landings on interdependent and heterogeneous runways. *Transportation Research. Part E, Logistics and Transportation Review*, 88, 167-188. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2016.01.015>
- [32] Ng, K. K. H., Lee, C. K. M., Zhang, S. Z., & Keung, K. L. (2022). The impact of heterogeneous arrival and departure rates of flights on runway configuration optimization. *Transportation Letters*, 14(3), 215-226. <https://doi.org/10.1080/19427867.2020.1852496>
- [33] Clare, G. L., & Richards, A. G. (2011). Optimization of taxiway routing and runway scheduling. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 12(4), 1000-1013. <https://doi.org/10.1109/TITS.2011.2131650>
- [34] Weiszer, M., Chen, J., Stewart, P., & Zhang, X. (2018). Preference-based evolutionary algorithm for airport surface operations. *Transportation Research. Part C, Emerging Technologies*, 91, 296-316. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2018.04.008>
- [35] Fritzsche, M., Günther, T., & Fricke, H. (2010). Potential of Dynamic Aircraft to Runway Allocation for Parallel Runways. In 4th International Conference on Research in Air Transportation.

- [36] Şahin, Ö., & Usanmaz, Ö. (2012). The evaluation of aircraft operations at airports having different numbers and configurations of runways. *Journal of Aeronautics and Space Technologies*, 5(4), 15-24.
- [37] DHMI (2022), Annual Report 2021, Ankara Turkey
- [38] Güven, A., & Çetek, F. A. İstanbul Havalimanı'nın Çoklu Paralel Pist Konfigürasyonlarının Zaman ve Yakıt Tüketimi Açısından İncelenmesi. *Trafik ve Ulaşım Araştırmaları Dergisi*, 5(2), 130-141.
- [39] Devlet Hava Meydanları İşletmesi, DHMİ. (2021, Kasım). Aeronautical Information Publication (AIP), Havacılık Bilgi Yayını. Ankara, Türkiye.
- [40] ICAO (2022) DOC 4444, Air Traffic Management, Montreal

http-1: <https://www.easa.europa.eu/en/domains/environment/icao-aircraft-engine-emissions-databank> (Erişim tarihi 20.12.2021)

http-2: <https://www.aci-europe.org/44-industry-data/40-airport-traffic.html> (Erişim tarihi 10.12.2022)

http-3: <https://skybrary.aero/aircraft-types> (Erişim tarihi 20.12.2021)

http-4: <https://www.siatm.com/wp-content/uploads/2019/02/aman-1.pdf> (Erişim tarihi 01.11.2022)

http-5: <https://www.igairport.aero/tr/iga-hakkinda/zaman-yolculugu> (Erişim tarihi 02.10.2022)

http-6: <http://iga.phtools.net/insaat-asamalar.html> (Erişim tarihi 02.10.2022)

EKLER

EK-1: Uçak tiplerine göre yakıt tüketim değerleri

	UÇAK TİPİ	UÇAK TİPİ KISALTMASI	YAKIT TÜKETİMİ KG/SN
J	AIRBUS A-380	A380	0,261
H	AIRBUS A-300-600	A306	0,205
	AIRBUS A-300	A30B	0,163
	AIRBUS A-310	A310	0,188
	AIRBUS A-330-200	A332	0,270
	AIRBUS A330-300	A333	0,227
	AIRBUS A-340-300	A343	0,115
	AIRBUS A-340-600	A346	0,230
	AIRBUS A350-900	A359	0,291
	AIRBUS A350-900	A359	0,291
	AIRBUS A-380-800	A388	0,244
	BOEING 747-400	B744	0,260
	BOEING 767-200ER	B762	0,210
	BOEING 767-300ER	B763	0,260
	BOEING 777-200LR ve 777-F	B77L	0,380
	BOEING 777-300ER	B77W	0,380
	BOEING 787-8 Dreamliner	B788	0,226
	BOEING 787-9 Dreamliner	B789	0,243
	BOEING 787-10 Dreamliner	B78X	0,249
	ILYUSHIN IL-76	IL76	0,210

EK-1 Devam: Uçak tiplerine göre yakıt tüketim değerleri

	UÇAK TİPİ	UÇAK TİPİ KISALTMASI	YAKIT TÜKETİMİ KG/SN
M	AIRBUS A-320 NEO	A20N	0,088
	AIRBUS A-321 NEO	A21N	0,096
	AIRBUS A-318	A318	0,092
	AIRBUS A-319	A319	0,133
	AIRBUS A-320	A320	0,104
	AIRBUS A-321	A321	0,145
	ATR ATR-72-600	AT76	0,070
	BOEING 737 MAX 8	B38M	0,098
	BOEING 737 MAX 9	B39M	0,098
	BOEING 737-300	B733	0,114
	BOEING 737-400	B734	0,124
	BOEING 737-500	B735	0,114
	BOEING 737-700	B737	0,094
	B737-800	B738	0,108
	BOEING 737-900	B739	0,108
	BEECH 400 Beechjet	BE40	0,030
	BOMBARDIER Regional Jet CRJ-2	CRJ2	0,049
	BOMBARDIER Regional Jet CRJ-9	CRJ9	0,064
	EMBRAER ERJ 190-100	E190	0,087
	EMBRAER ERJ 190-200	E195	0,087
	DASSAULT Falcon 7X	FA7X	0,045
	BOMBARDIER Global 5000	GL5T	0,089
	BOMBARDIER Global Express	GLEX	0,083
	GULFSTREAM AEROSPACE G6	GLF6	0,085
	LEARJET Learjet 60	LJ60	0,042
	SUKHOI Superjet 100-95	SU95	0,097
L	CESSNA 550 Citation 2	C550	0,026

ÖZGEÇMİŞ

ORCID NO: 0000 0001 6899 3561

Ad Soyad : Ayşe GÜVEN

Yabancı Dil : İngilizce

E-Posta :

Eğitim ve Mesleki Geçmişi:

- 2016, Hava Trafik Kontrolörü, Devlet Hava Meydanları İşletmesi, Atatürk Havalimanı, Yaklaşma Kontrol Ünitesi
- 2014, Gazi Üniversitesi, Mimarlık Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Yayınları ve/veya Bilimsel/Sanatsal Faaliyetleri:

- Güven, A. ve Çetek, F. A. (2022). İstanbul Havalimanı'nın Çoklu Paralel Pist Konfigürasyonlarının Zaman ve Yakıt Tüketimi Açısından İncelenmesi. Trafik ve Ulaşım Araştırmaları Dergisi, 5(2), 130-141.

Mesleki Birlik/Dernek/Kuruluş Üyelikleri:

- 2016, Türkiye Hava Trafik Kontrolörleri Derneği, İstanbul