

Araştırma Makalesi

İstanbul Havalimanı'nın Çoklu Paralel Pist Konfigürasyonlarının Zaman ve Yakıt Tüketimi Açısından İncelenmesi

Ayşe Güven^{1*} , Fulya Aybek Çetek¹ ¹ Lisansüstü Araştırma Enstitüsü, Hava Trafik Anabilim Dalı, Eskişehir Teknik Üniversitesi

Öz

Gelişen hava trafiği talebiyle birlikte havalimanlarına ihtiyaç her geçen gün atmaktadır. Bu ihtiyacı karşılamak için çoğu zaman mevcut havalimanlarının nasıl daha etkin kullanılabileceği incelenirken, kapasitesinin üzerinde talep olan şehirlerde ise yeni pistler veya havalimanları inşa edilmektedir. Son dönemlerde yeni inşa edilen havalimanlarında ise çoklu paralel pist sistemleri kullanılarak ileride oluşacak yoğun talebi de karşılayacak şekilde tasarlanmaktadır. Çoklu paralel pist sistemlerinde pist konfigürasyonlarının kapasite üzerinde büyük bir etkisi olduğuna dair birçok çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalarda havalimanı işletmecisi açısından bakılarak havalimanı kaynaklarının etkin kullanımı hedeflenmektedir. Bu çalışmada ise havayolu şirketlerinin bakış açısıyla 2018 yılında kullanıma açılan, Airports Council International (ACI) verilerine göre 2021 yılının en işlek havalimanları sıralamasında ilk sırada yer alan İstanbul Havalimanı'nın pist konfigürasyonları havayolu işletmecisinin bakış açısıyla zaman ve yakıt açısından değerlendirilmektedir. Çalışmada İstanbul Havalimanı'na iniş yapan trafiklere ait iniş pisti, uçak tipi ve taksi süreleri bilgileri değerlendirilerek pist konfigürasyonları incelenmiştir. Çalışmanın sonucunda minimum taksi süresi ve yakıt tüketimi sağlayan pist konfigürasyonları belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: çoklu paralel pist, pist konfigürasyonu, İstanbul havalimanı

Analysis of Istanbul Airport's Multiple Parallel Runway Configurations in Terms of Time and Fuel Consumption

Abstract

The need for airports is increasing day by day with growing air traffic demand. In order to meet this need, while examining how the existing airports can be used more effectively, new runways or airports are built in cities with a demand above their capacity. In recent years, newly built airports are designed to meet the intense demand that will occur in the future by using multiple parallel runway systems. There are many studies that show that runway configurations have a large impact on capacity in multiple parallel runway systems. In this study, the runway configurations of Istanbul Airport, which ranks first in the list of the busiest airports in 2021 according to the Airports Council International (ACI) data, which was opened in 2018 from the perspective of the airline companies, are evaluated in terms of time and fuel from the perspective of the airline operator. In the study, the runway configurations were examined by evaluating the landing runway, aircraft type and taxi times information of the traffic landing at Istanbul Airport. As a result of the study, runway configurations that provide minimum taxi time and fuel consumption were determined.

Keywords: multiple parallel runway, runway configuration, Istanbul airport

* İletişim / Contact: Ayşe Güven, Lisansüstü Araştırma Enstitüsü, Hava Trafik Anabilim Dalı, Eskişehir Teknik Üniversitesi, Eskişehir Türkiye. E-Posta / E-mail: ayse.guven.91@gmail.com.

Gönderildiği tarihi / Date submitted: 14.03.2022, Kabul edildiği tarih / Date accepted: 23.05.2022

Alıntı / Citation: Güven, A. ve Aybek Çetek F. (2022). İstanbul Havalimanı'nın çoklu paralel pist konfigürasyonlarının zaman ve yakıt tüketimi açısından incelenmesi. *Trafik ve Ulaşım Araştırmaları Dergisi*, 5(2), 130–141. doi:10.38002/tuad.1087428



İstanbul Havalimanı'nın Çoklu Paralel Pist Konfigürasyonlarının Zaman ve Yakıt Tüketimi Açısından İncelenmesi

Gelişen küresellelikle birlikte hava taşımacılığına olan talep her geçen gün artmaktadır. Bu artan talebi karşılamak için kaynakların etkin kullanımı sağlanarak var olan havalimanlarının kapasitesi genişletilebilmektedir, yetmediği durumlarda birçok yeni havalimanı inşa edilmektedir. Ülkemizde bunun en yakın tarihli örneği artan hava trafiğine yetersiz kalan İstanbul Atatürk Havalimanı'nın yerine İstanbul Havalimanı'nın inşa edilmesidir. Tüm havalimanlarında en çok sayıda trafiğe hizmet verebilmek için etkin pist kullanımı önem arz etmektedir (Delsen, 2016). Bu sebeple birçok havalimanı üzerinde yapılan deneysel çalışmalarla desteklenen pist kullanımına ilişkin akademik çalışmalar bulunmaktadır (Ahmed, Alam ve Barlow, 2018; Neitzke ve Guerreiro, 2014). 2018 yılında yapılan çalışmada Chicago Uluslararası Havalimanı'nda iniş ve kalkış trafik taleplerini poisson dağılımı ile modelleyerek en uygun sıralama ve pist konfigürasyonlarını incelenmiştir. Çalışmada en uygun pist konfigürasyonu ile birlikte en iyi iniş trafiği sıralaması da hedeflenmiştir (Ahmed, Alam ve Barlow, 2018). Bir başka çalışmada John F. Kennedy Uluslararası Havalimanı'nın sahip olduğu pist sistemlerinin kapasitesi değerlendirilerek en uygun pist konfigürasyonunu belirlemesi hedeflenmiştir (Neitzke ve Guerreiro, 2014).

Havalimanı işletmecisi açısından bakılarak yapılan çeşitli çalışmalarda mevcut kaynakları daha etkin kullanarak havalimanı kapasitesini arttırmak hedeflenmektedir. Bu çalışmalar çeşitli faktörleri dikkate alarak farklı pist konfigürasyonlarını incelemektedir. Bazı çalışmalarda dikkate alınan faktör yelpazesinde pist geometrisi ve konfigürasyonlarına ek olarak yakıt tüketimi değerleri, hava trafik yönetim kısıtları, meteorolojik kısıtlar, uçak performans farklılıklarına bağlı ayırma kriterleri, gürültü düzeyi, çevresel etkiler incelenmektedir (Abbenhuis, 2021). Hava koşullarının kapasiteyi sınırladığı havalimanlarında hava durumu ve trafik tahminiyle birlikte uygun pist konfigürasyonunun belirlendiği çalışmada Amsterdam Schiphol Havalimanı'nın pist konfigürasyonlarını incelenerek makine öğrenmesi yöntemiyle uçakların sıralamasını ve orta vadede maksimum çıktıyı sağlayan pist konfigürasyonunun tahmini üzerine çalışmıştır (Ahmed, 2018).

Son dönemde inşa edilen havalimanlarında daha fazla kapasite elde etmek amacıyla çoklu paralel pist sistemleri tercih edilmektedir. 2012 yılında yapılan çalışmada paralel pist kullanımının kapasiteyi önemli oranda arttırdığını ve paralel pistlerde seçilen konfigürasyon farklılıklarının kapasite üzerinde önemli etkisi olduğunu, farklı pist sistemlerine sahip havalimanlarını inceleyerek yaptıkları çalışma ile göstermişlerdir (Şahin ve Usanmaz, 2012). Dünya'nın birçok yerinde çoklu paralel pist operasyonları yapılmaktadır.

Bunlardan birkaçı Amsterdam Schiphol Uluslararası Havalimanı (EHAM), Suudi Arabistan Cidde Kral Abdul Aziz Uluslararası Havalimanı (OEJN), Chicago O'hare Uluslararası Havalimanı (KORD), Hartsfield–Jackson Atlanta Uluslararası Havalimanı (KATL), Charlotte Douglas Uluslararası Havalimanı (KCLT), Houston George Bush Kıtalararası Havalimanı (KIAH)'tır. Bu havalimanlarında kaynakların etkin kullanımıyla kapasite artırımını sağlamak için birçok çalışma yapılmıştır.

2019 yılında yapılan çalışmada havalimanı kapasitesi kavramının çok boyutlu bir konu olduğundan ve havalimanı kapasitesinin büyük oranda uygulanan metot ve odaklanılan konuya göre değişkenlik gösterdiğinden bahsedilmiştir. Çalışmada pist sistemlerinin operasyonel kapasite üzerindeki etkisi değerlendirilmiştir. Avrupa’da yer alan beş havalimanı seçilerek kullanılan pist konfigürasyonları ve havalimanı kapasitesi açısından karşılaştırma yapılmıştır (Meson-Mancha, de Lange, Koelle ve Carro, 2019).

2022 yılında yayımlanan çalışmada ise henüz 2006 yılında tasarlanan toplama noktası sisteminin paralel pist operasyonlarında kullanımına örnek olan İstanbul Havalimanı’nda bir araştırma yapılmıştır. Pist ataması ile havalimanı kapasitesinin önemli oranda değişeceği düşünülerek ortaya konulan çalışmada tek ve çok amaçlı programlama modeli kullanarak toplam yakıt tüketimi, toplam uçuş zamanı ve yerdeki gecikmeler de dahil olmak üzere toplam gecikmeyi minimize etmek amaçlanmıştır. İniş ve kalkış trafiklerine farklı pist önerilerinde bulunan modelin İstanbul Havalimanı’na uygulanmasıyla gerçekleştirilen çalışmanın taksidedeki gecikmeler de dahil toplam gecikmeleri %77,5, yakıt tüketimini ise %8,7 azalttığı görülmüştür (Dönmez, Çetek ve Kaya, 2022).

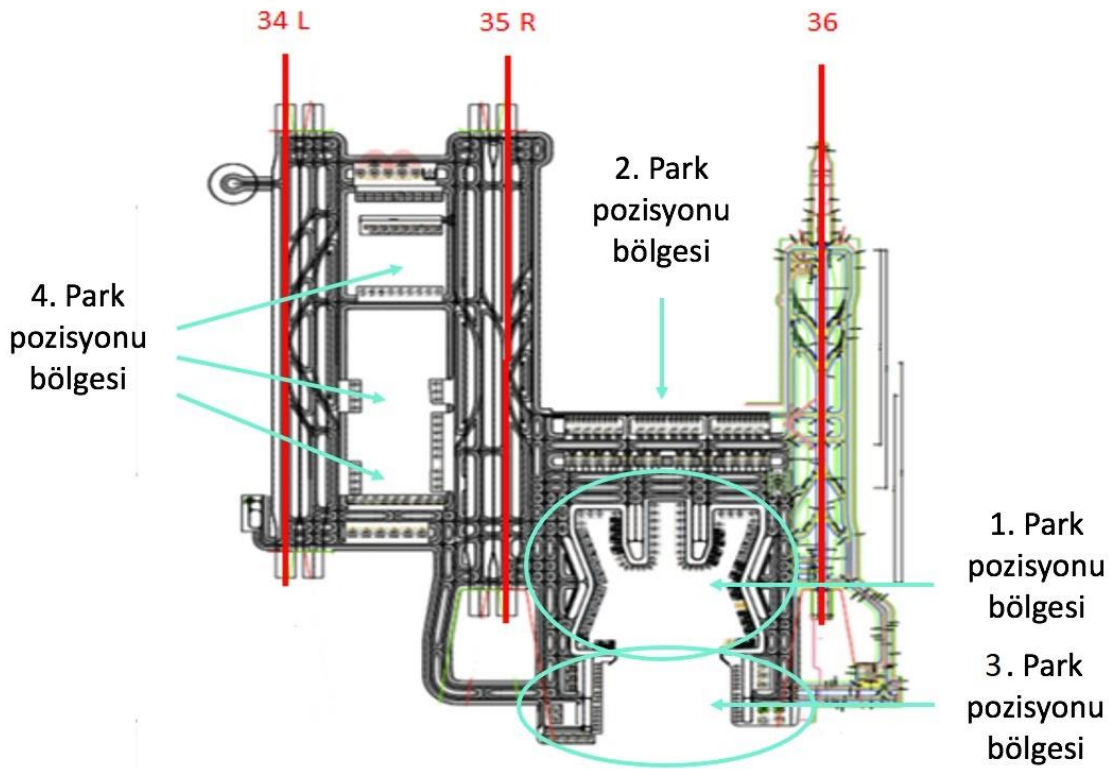
2022 yılında yayımlanan bir başka çalışmada ise veri zarflama analizi kullanılarak 21 büyük havalimanının 2016-2019 yılları arasındaki verileri ile pistlerin operasyonel performansları analiz edilmiş ve değerlendirilmiştir. Çalışmanın amacı farklı pist konfigürasyonlarının etkinliğini pist sayısı, pistin boyutu, havalimanı alanı gibi girdi değerleri ile yıllık uçuş sayısı, yıllık toplam yolcu sayısı gibi çıktı değerlerini baz alarak değerlendirmektir. Sonuçlara göre Londra Heathrow Havalimanı ve Münih Uluslararası Havalimanı belirlenen periyotlar için en etkin havalimanları olduğu görülmüştür. Çalışma farklı tipte pist konfigürasyonlarının performanslarının değerlendirilmesi ve karşılaştırılmasına imkân sağlaması yönünden önem taşımaktadır (Wang, Imperial, Huang ve Dang, 2022).

Havayolu işletmecilerinin operasyonlardaki temel hedefi ticari karını arttırabilmek için yakıt ve zamanı etkin kullanmaktır. Bu çalışmada ise havayolu taşımacılık şirketlerinin kaynaklarının etkin kullanımı üzerine bir inceleme yapılmıştır. Çalışmada İstanbul Havalimanı’nın pist konfigürasyonlarına göre ortalama yakıt tüketimi ve ortalama taksit süreleri incelenerek en uygun iniş konfigürasyonu değerlendirilmiştir. Havayolu işletmecisinin bakış açısı dikkate alınarak yapılan çalışmada, yeni kurulan bir havalimanı olan İstanbul Havalimanı’nın mevcut pistleri üzerinde geliş trafikleriyle en uygun iniş pisti konfigürasyonu incelenmektedir. Kalkış trafiklerinin yoğunluk sebebiyle yerde beklemelerinin olması ve bunun değerlendirmeyi yanlış yönde etkilemesini engellemek için çalışmada kalkış trafikleri ve kalkış pist konfigürasyonlarına yer verilmemektedir. Çalışmada taksit süreleri ve ICAO motor emisyon veri bankasından (ICAO Engine Exhaust Emissions Data Bank, 2014) alınan uçak kategorilerine göre yakıt tüketim değerleri üzerinden karşılaştırma yapılarak geliş trafik bilgileri ile en uygun iniş konfigürasyonu bulunmuştur.

2. İstanbul Havalimanı

21 Haziran 2018’de inşaat süreci tamamlanan İstanbul Havalimanı’na ilk uçak indirilmiştir. 29 Ekim 2018’de Faz 1a aşaması tamamlanarak hizmete açılmıştır. Pandemi sürecinde de devam eden Faz 1b çalışmaları 18 Haziran 2020’de tamamlanarak var olan paralel pistlere paralel bir

adet daha pistin inşasıyla birlikte 3lü paralel pist operasyonlarını sağlayan toplamda 5 adet piste sahip olmuştur. İstanbul Havalimanı'nın Faz 2 aşamasında bu pistlere ilave olarak doğu-batı yönlü bir pist daha inşa edilecektir. Faz 3 aşamasında ise var olan paralel pistlere ek olarak bir adet daha bağımsız paralel pist ve onun yedek pisti inşa edilerek 4lü paralel pist operasyonuna açılacaktır. Faz 4 aşamasında var olan pistlere bir adet daha bağımsız paralel pist ve yedek pisti tamamlanarak 5li bağımsız paralel pist operasyonları uygulanabilecektir. Halihazırda Faz 2 aşamasının inşası devam etmekte olan İstanbul Havalimanı'nda 3lü paralel pist operasyonu uygulanmaktadır. Mevcut paralel pistler rüzgârın yönü ve şiddetine göre kuzey ve güney olmak üzere iki farklı yönlü kullanılmaktadır. Kuzey konfigürasyona göre pist numaraları 34L-34R-35L-35R-36'dır. 34L-34R bağımlı paralel iken diğer tüm pistlerle ise bağımsız paraleldir, 35L-35R bağımlı paralel iken diğer tüm pistlerle ise bağımsız paraleldir (Şekil 1).

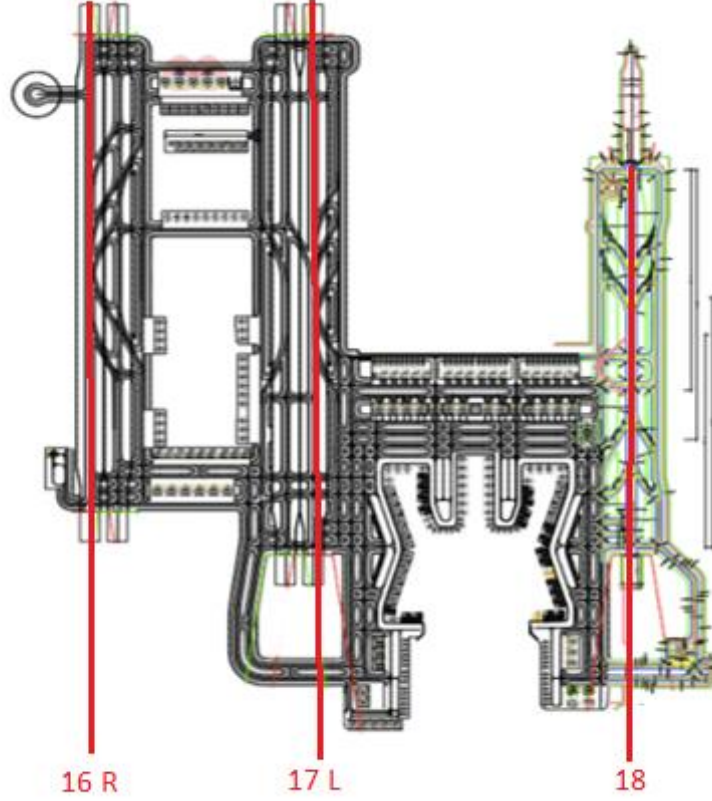


Şekil 1. İstanbul Havalimanı Kuzey Konfigürasyonu (İGA, 2022)

Güney konfigürasyona göre pist numaraları 16R-16L-17R-17L-18'dir. 16R-16L bağımlı paralel iken diğer tüm pistlerle ise bağımsız paraleldir, 17L-17R bağımlı paralel iken diğer tüm pistlerle ise bağımsız paraleldir (Şekil 2).

Bir konfigürasyondaki tüm pistler kullanımda olduğunda operasyonlar pistlerden ikisi iniş ikisi de kalkış için seçilerek dokuz farklı operasyon modunda gerçekleştirilmektedir. Operasyon modu meydan kontrol ünitesi ve yaklaşma kontrol ünitesinin mevcut rüzgâr ve pistin durumuna göre ortak aldığı kararla belirlenmektedir. Bu süreçte meydan kontrol ünitesi öncelikli olarak rüzgârın yönüne göre konfigürasyonun kuzey ya da güney olacağına karar verip yaklaşma kontrol ünitesiyle görüşerek hangi pistlerin iniş, hangi pistlerin kalkış için kullanılacağına karar vermektedir. Her pist için DHMİ Havacılık Bilgi Yayını Türkiye'de (Aeronautical Information Publication-AIP, 2021) belirtilen ayırma değerlerinden kaynaklı saatlik iniş kalkış kapasiteleri

bulunmaktadır. Meydan kontrol ile yaklaşma kontrol ünitesi iniş ve kalkış trafiklerinin yoğunluğunu, pistlerde herhangi bir notam olup olmadığını göz önünde bulundurarak o anki duruma göre iniş kalkış pist ikililerini belirlemektedir.



Şekil 2. İstanbul Havalimanı Güney Konfigürasyonu (İGA,2022)

DHMİ Havacılık Bilgi Yayını Türkiye’den (Aeronautical Information Publication-AIP, 2021) alınan verilere göre kuzey konfigürasyon için kullanılan pistlere göre uygulanması gereken iniş ayırmaları Tablo 1’deki gibidir, güney konfigürasyon için kullanılan pistlere göre uygulanması gereken iniş ayırmaları Tablo 2’deki gibidir.

Tablo 1. Kuzey Konfigürasyon için Gerekli Ayırmalar

İniş Yapılan Pist	Kalkış Yapılan Pist	İniş Ayırmaları
34L-35R	34R-35L	34L: 8 NM 35R: 5 NM
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
34L-36	34R-36	34L: 8 NM 36: 8 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
35R-36	35L-36	35R:5 NM 36: 8 NM

Tablo 2. Güney Konfigürasyon için Gerekli Ayırmalar

İniş Yapılan Pist	Kalkış Yapılan Pist	İniş Ayırmaları
16R-17L	16L-17R	16R: 8 NM 17L: 5 NM
16R-18	16L-17R	16R: 8 NM 18: 4 NM
17L-18	16L-17R	17L: 5 NM 18: 4 NM
16R-17L	16L-18	16R: 8 NM 17L: 4 NM
16R-18	16L-18	16R: 8 NM 18: 8 NM
17L-18	16L-18	17L: 4 NM 18: 8 NM
16R-17L	17R-18	16R: 4 NM 17L: 5 NM
16R-18	17R-18	16R: 4 NM 18: 8 NM
17L-18	17R-18	17L:5 NM 18: 8 NM

DHMI Havacılık Bilgi Yayını Türkiye’den (Aeronautical Information Publication-AIP, 2021) alınan verilere göre havalimanı park pozisyonları dört bölgeden oluşmaktadır. Havalimanında kargo apronu ve karla mücadele apronları dahil olmak üzere toplam 456 adet park yeri bulunmaktadır. İniş trafiklerine seferin iç veya dış hat olması ve kargo uçuşu olup olmadığı dikkate alınarak park pozisyonu ataması yapılmaktadır. Park pozisyonu atamasında öncelikle kargo ve yolcu uçakları olarak ayrılarak kargo uçakları belli bir park pozisyonuna atanmaktadır. Yolcu uçakları ise iç veya dış hat seferi olmasına bağlı olarak park pozisyonuna atanmaktadır. Yolcu uçakları 1. ve 2. park pozisyonu bölgesine, kargo uçakları ise 4.park pozisyonu bölgesine park etmektedir (Şekil 1). Park pozisyonu atamasında iniş yapılan pist dikkate alınmamaktadır. Yaklaşma kontrol ünitesine gelen iniş trafiklerinin pisti atan park pozisyonuna göre değiştirilmek zorunda değildir.

Devlet Hava Meydanları İşletmesi otoritesinden elde edilen verilere göre 2021 yılındaki iniş trafikleri incelendiğinde aylık ortalama 23.342 trafiğe hizmet verilmektedir. Yıllık iniş trafiklerinin %4,9’unu kargo uçakları, %94,55’ini yolcu uçuşları, geriye kalan %0,55’lik kısmı ise genel havacılık uçuşları, devlete ait uçuşlar ve askeri uçuşlardan oluşmaktadır. İnişlerin %28,5’ini iç hat uçuşları oluştururken %71,5’ini dış hat uçuşlar oluşturmaktadır. İstanbul Havalimanı’na aylık ortalama 1150 tane kargo uçağı inerken 21870 tane yolcu uçağı inmektedir. Yıllık bazda yolcu uçuşlarına bakıldığında %29,7’sini iç hat uçuşları oluştururken %70,3’ünü dış hat uçuşları oluşturmaktadır. Yıllık kargo uçuşlarının ise %98’i dış hat uçuşudur. %2’lik kısmı ise yurt içi kargo uçuşlarından oluşmaktadır. Buna göre yolcu ve kargo uçuşları incelendiğinde uçuşların büyük çoğunluğunun uluslararası uçuş olduğu görülmektedir.

3. Analiz ve Sonuçlar

Pandemi döneminde küresel olarak azalan hava trafiği talebi 2021 Eylül ayından itibaren yeniden artış gösterdiği gözlemlenmiştir. Devlet Hava Meydanları İşletmesi’nden elde edilen 2021 yılının Aralık ayının ilk haftası için İstanbul Havalimanına iniş yapan tüm uçakların tipi, iniş pisti, park pozisyonu ve takside geçirdikleri süre bilgileri incelenmiştir. Toplamda 3708 adet iniş verisine ulaşılmıştır. İncelenen iniş trafiklerinin pistlere göre dağılımı Tablo 3’teki gibidir.

Ulaşılan 3708 adet iniş trafiği bilgisi yıl içinde İstanbul Havalimanına gelen uçak tiplerinin tamamını içeren bir kesittir. Covid-19 Pandemisi sonrasında beklenen uçuş talebi sayısına

ulaşma sürecinde uçuş sayıları her geçen gün artmaktadır. Bu süreçte yapılmış olan bu çalışmada geniş zaman aralığı seçildiği takdirde olağanüstü düşük uçuş talebi yanıtıcı olacağından uçuş verileri için en yakın tarihli ve en yoğun dönem seçilmiştir. Bu sebeple çalışmada bir haftalık veri kullanımı uygun görülmüştür. Aralık ayının ilk haftasının seçilmesinin sebebi aynı hafta içinde İstanbul’da hakim olan lodos rüzgarları sebebiyle hem kuzey hem de güney konfigürasyonda inişler yaptırılmasıdır. Dolayısıyla bu dönem seçilerek her iki konfigürasyonu inceleme imkânı sağlanmıştır.

Tablo 3. Trafiklerin İniş Pistine göre Dağılımı

İniş Pisti	İniş Trafiği Sayısı
34L	221
35R	724
36	607
16R	596
17L	905
18	655
Toplam	3708

Bu çalışmada uçakların taksi süreleri düşünülerek hangi operasyon modunun yakıt tüketimi açısından en uygun olacağı geçmiş dönem verilerine göre incelenmiştir. Çalışmada belli durumlarda hava trafiğindeki yoğunluktan kaynaklı uçaklar pist başında ve park pozisyonlarında uzun bekleme yapılmıştır ve asıl amacımız olan hangi pistin park pozisyonları açısından daha az yakıt tüketimi sağlayacağı bilgisine ulaşmamızı engellemesini önlemek için kalkış verileri dikkate alınmamıştır. Bu yüzden çalışmada kuzey konfigürasyon için 34L-35R,34L-36,35R-36 modları ve 34L,35R,36 pistleri için ayrı ayrı; güney konfigürasyon için 16R-17L,16R-18, 17L-18 modları ve 16R,17L,18 pistleri için ayrı ayrı inceleme yapılmıştır.

Havalimanı işletmecisinden elde edilen veriye göre bu dönemde inen uçaklar incelendiğinde 47 farklı uçak tipi havalimanına iniş yapmıştır. Bunlardan Jumbo kategorisinde sadece Airbus A380 modeli inerken ağır kategoride 19 farklı uçak tipi, orta kategoride 26 farklı uçak tipi, hafif kategoride ise bir adet uçak tipinin iniş yaptığı görülmüştür. İnişlerin %55’ini orta kategorideki uçaklar oluşturmaktadır. Elde edilen uçak tipi verilerine göre her bir uçağın taksi boyunca yakıt tüketim miktarlarına ulaşmak için her bir uçak tipine ait kullanılabilecek motor tipleri ve sayıları Eurocontrol verilerinden çekilmiştir (Skybrary, 2021). Elde edilen verilere göre ICAO Motor Emisyon Veri Bankası’ndan (ICAO Engine Exhaust Emissions Data Bank, 2014) her bir uçak tipi için alternatif tüm motor tiplerine göre yakıt tüketimleri listelenmiştir. Farklı motor kullanımları farklı yakıt tüketimine sebep olacağı için iki farklı yakıt tüketimi tablosu oluşturulmuştur. Bu tablolardan biri minimum yakıt tüketen motor tipi tercihi varsayımıyla diğeri de maksimum yakıt tüketen motor tercihi varsayımıyla oluşturulmuştur. İstanbul Havalimanı’nda pist kullanımları için ayırma değerleri de göz önünde bulundurularak yapılan maksimum iniş ve kalkış trafiği değerleri incelemesine göre mevcutta kullanılan pistlerin ikisinin iniş ikisinin kalkış için kullanılması havalimanının maksimum kapasiteye ulaşmasını sağladığı için çalışmada kullanılabilecek pist ikilileri de seçilerek incelenmiştir.

Kuzey konfigürasyonları için 34L-35R,34L-36,35R-36 konfigürasyonlarının, güney konfigürasyonları için 16R-17L,16R-18,17L-18 konfigürasyonlarının kullanıldığı zaman dilimlerinden ayrı tablolar oluşturulmuştur. Java programlama dili kullanılarak oluşturulan yazılımla pistlere göre iniş yapan trafiklerin uçak tipi, ve taksi sürelerinden oluşan veriler ile her bir uçak tipi için maksimum ve minimum yakıt tüketim değerlerine göre her bir pist için ayrı ayrı ve pist ikilileri için ortalama yakıt tüketim değerleri hesaplanmıştır.

3.1. Kuzey Konfigürasyon

İstanbul Havalimanı'nın konumu ve ülkemizin coğrafi yapısı sebebiyle mevsim geçiş dönemleri haricinde iniş pistleri için yoğunluklu olarak kuzey yönlü pist konfigürasyonu tercih edilmektedir. Kuzey konfigürasyonun kullanımı yılın büyük bir kısmını içermektedir. Bu sebeple güney konfigürasyona göre daha büyük önem arz etmektedir.

Kuzey yönlü konfigürasyon için iniş pisti olarak kullanılan 34L, 35L,36 pistleri ve bunun ikili kombinasyonları incelenmiştir. Ayrı ayrı her pist için yakıt tüketimleri incelendiğinde 34L pistinin ortalama taksi süresinin en uzun olduğu ve buna bağlı olarak da ortalama yakıt tüketiminin maksimum ve minimum yakıt tüketimi varsayımlarına göre de en fazla olduğu görülmüştür. İncelemede en az ortalama taksi süresi 35R pistine ait olmakla birlikte 36 pisti ile çok yakın sonuçlar vermiştir. Aynı şekilde 35R ve 36 pistlerinin ortalama yakıt tüketim değerleri de birbirine çok yakın olduğu görülmüştür (Tablo 4).

Tablo 4. Kuzey Konfigürasyon için Minimum ve Maksimum Yakıt Tüketimi Varsayımıyla Her Bir Pist İçin Ortalama Yakıt Tüketimi

Pist	Ortalama Taksi Süresi (Dk)	Minimum Yakıt Tüketimi Varsayımı İçin Taksi Boyunca Harcanan Ortalama Yakıt (L)	Maksimum Yakıt Tüketimi Varsayımı İçin Taksi Boyunca Harcanan Ortalama Yakıt (L)
34L	17,97 Dk	170,43 L	564,56 L
35R	10,20 Dk	99,9 L	291,44 L
36	10,45 Dk	94,5 L	247,35 L

Daha sonra iniş pistlerinin ikili kombinasyonları incelenmiştir. Bu incelemenin sonucunda 35R-36 İniş konfigürasyonunun ortalama yakıt tüketimi açısından minimum ve maksimum yakıt tüketim değerleriyle ayrı ayrı yapılan incelemede de minimum yakıt tüketimi sağladığı görülmüştür. İncelemenin sonucunda ortaya çıkan değerler Tablo 5'teki gibidir.

Tablo 5. Kuzey Konfigürasyon için Minimum ve Maksimum Yakıt Tüketimi Varsayımıyla Ortalama Yakıt Tüketimi

Konfigürasyon	Ortalama Taksi Süresi (Dk)	Minimum Yakıt Tüketimi Varsayımı İçin Taksi Boyunca Harcanan Ortalama Yakıt (L)	Maksimum Yakıt Tüketimi Varsayımı İçin Taksi Boyunca Harcanan Ortalama Yakıt (L)
34L-35R	13,61 Dk	125,7 L	379,52 L
34L-36	13,73 Dk	136,75 L	429,8 L
35R-36	10,18 Dk	97,17 L	273,46 L

Buradan anlaşılmaktadır ki 35R ve 36 pistleri gerek ortalama taksi süreleri gerekse bu pistlere atanan uçak tiplerine göre ortaya çıkan ortalama yakıt tüketim değerleri açısından kuzey yönlü konfigürasyonda en uygun iniş pisti ikilisini oluşturmaktadır. Bu incelemelerde görülmektedir ki 34L pisti gerek taksi süreleri gerekse buna bağlı olarak yakıt tüketimi açısından uygun değildir. Fakat 34L pisti ile 35R pistlerinin arasında kargo apronu bulunmaktadır. Bu sebeple ilerleyen dönemlerde havalimanının genişlemesi ve yeni pistlerin inşasıyla birlikte 34L pistinin sadece kargo uçuşlarına ayrılarak daha etkin bir yer trafiği için planlandığı düşünülebilir.

3.2. Güney Konfigürasyon

İstanbul Havalimanı'nda çoğunlukla mevsim geçiş dönemlerinde esen rüzgarların yönü sebebiyle güney yönlü konfigürasyon kullanılmaktadır. Yıl içinde kuzey konfigürasyona nispeten daha az kullanılmaktadır.

Güney yönlü konfigürasyon için iniş pisti olarak kullanılan 16R, 17L,18 pistleri ve bunun ikili kombinasyonları incelenmiştir. Java programlama dili ile oluşturulan yazılım aracılığıyla her bir konfigürasyon için minimum ve maksimum yakıt tüketimi varsayımına göre konfigürasyonların ortalama yakıt tüketimi hesaplanmıştır.

Ayrı ayrı her pist için yakıt tüketimleri incelendiğinde ise 16R pistinin ortalama taksi süresinin en uzun olduğu ve buna bağlı olarak da ortalama yakıt tüketiminin maksimum ve minimum yakıt tüketimi varsayımlarına göre de en fazla olduğu görülmüştür. İncelemede en az ortalama taksi süresi 18 pistine ait olmakla birlikte 17L pisti ile ortalama taksi süresinin çok yakın sonuçlar verdiği görülmektedir. Aynı şekilde 17L ve 18 pistlerinin ortalama yakıt tüketim değerleri de birbirine çok yakın olduğu görülmüştür (Tablo 6).

Tablo 6. Güney Konfigürasyon için Minimum ve Maksimum Yakıt Tüketimi Varsayımıyla Her Bir Pist İçin Ortalama Yakıt Tüketimi

Pist	Ortalama Taksi Süresi (Dk)	Minimum Yakıt Tüketimi Varsayımı İçin Taksi Boyunca Harcanan Ortalama Yakıt (L)	Maksimum Yakıt Tüketimi Varsayımı İçin Taksi Boyunca Harcanan Ortalama Yakıt (L)
16R	14,73 Dk	137,14 L	443,67 L
17L	8,6 Dk	79,45 L	254,8 L
18	7,95 Dk	69,08 L	228,2 L

Daha sonra iniş pistlerinin ikili kombinasyonları incelenmiştir. Bu incelemenin sonucunda 17L-18 İniş konfigürasyonunun ortalama yakıt tüketimi açısından minimum ve maksimum yakıt tüketim değerleriyle ayrı ayrı yapılan incelemede de minimum yakıt tüketimi sağladığı görülmüştür. İncelemenin sonucunda ortaya çıkan değerler Tablo 7'deki gibidir.

Buradan anlaşılmaktadır ki güney konfigürasyon için 17L ve 18 pistleri gerek ortalama taksi süreleri gerekse bu pistlere atanan uçak tiplerine göre ortaya çıkan ortalama yakıt tüketim değerleri açısından en uygun iniş konfigürasyonunu oluşturmaktadır. Güney konfigürasyonlar incelendiğinde kuzey konfigürasyonda yer alan 34L pistinin durumuna benzer durum 16R pisti için gözlemlenmektedir. Fakat güney konfigürasyonlarda pist sonunun apronlara daha yakın

olması sebebiyle 34L pistinin kullanımında harcanan yakıt tüketimine nispeten 16R pistinin kullanımında daha az yakıt tüketildiği görülmektedir.

Tablo 7. Güney Konfigürasyon için Minimum ve Maksimum Yakıt Tüketimi Varsayımıyla Ortalama Yakıt Tüketimi

Konfigürasyon	Ortalama Taksi Süresi (Dk)	Minimum Yakıt Tüketimi Varsayımı İçin Taksi Boyunca Harcanan Ortalama Yakıt (L)	Maksimum Yakıt Tüketimi Varsayımı İçin Taksi Boyunca Harcanan Ortalama Yakıt (L)
16R-17L	12,08 Dk	110,3 L	314,34 L
16R-18	11,84 Dk	115,3 L	374,1 L
17L-18	8,17 Dk	75,66 L	251,8 L

4. Sonuç ve Tartışma

İstanbul Havalimanı çoklu paralel pistlerinin incelenmesinde kuzey ve güney konfigürasyon için yapılan en uygun iniş konfigürasyonunun belirlenmesi çalışmasında, kuzey konfigürasyon için en uygun iniş pisti ikilisi en düşük ortalama taksi süresi ve en az ortalama yakıt tüketim ortalamasını sağlayan 35R-36 pistleri olarak belirlenmiştir. Güney konfigürasyon içinse en uygun iniş pisti ikilisi en düşük ortalama taksi süresi ve en az ortalama yakıt tüketim ortalamasını sağlayan 17L-18 pistleri olarak belirlenmiştir. Bu noktada görülmektedir ki 34L-16R pistleri havalimanının yerleşim planına göre genel havacılık apronlarına en uzak kısımda yer almaktadır. Bu sebeple taksi süreleri diğer pistlere göre daha uzundur. İstanbul Havalimanı'na ilerleyen aşamalarda inşası planlanan diğer pistlerin tamamlanmasıyla birlikte 34L-16R pistinin kargo apronlarına olan yakınlığı sebebiyle sadece kargo trafikleri için kullanılacağı öngörülmektedir. Bunlara ilave olarak 34L-16R pisti Terkos Gölü'ne en yakın pozisyonda bulunan pisttir. Taşımacılığın ilerlemesiyle birlikte denizyolu taşımacılığı ve havayolu taşımacılığının entegrasyonuna imkân sağlayacağı düşünülmektedir.

Çalışmada oluşturulan minimum ve maksimum yakıt tüketimi varsayımları incelendiğinde maksimum yakıt tüketen motor tercih edildiğinde minimum yakıt tüketen motor tercihi göre üç kat daha fazla yakıt tüketimine sebep olduğu görülmektedir. Bunun uçak motorlarındaki ekipman değişikliklerinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Örneğin Airbus A320 NEO modeli bir uçakta çoklu jet motor kullanılmaktadır fakat kullanılan motor modeli CFM International LEAP ya da Pratt & Whitney PW1000G olarak tercih edilebilmektedir. Bu iki motor tipinin yakıt tüketimleri incelendiğinde birbirine çok yakın değerler olmadığı görülmektedir. Bu sebeple pistlere göre ortalama yakıt tüketimi değerleri maksimum ve minimum yakıt tüketime sebep olan motor tercihiyle ilgili olarak ortalama yakıt tüketimi yaklaşık üç katı bir değer ortaya çıktığı görülmüştür. Bu sonuçtan da anlaşılmaktadır ki şirketlerin uçaklarında kullanmayı tercih ettiği motor tipleri de yakıt tüketim değerlerini önemli ölçüde etkilemektedir.

Kuzey ve güney konfigürasyonlar karşılaştırıldığında güney konfigürasyonda pist terk ediş noktalarının park yerlerine yakınlığından dolayı daha az taksi süresine sebep olduğu ve bu sebeple yaklaşık %20 daha az yakıt tüketimi sağlandığı gözlemlenmiştir. Havalimanın inşaatının planlanması aşamasında rüzgâr yönü ve yıl içerisindeki seyri incelenerek park

pozisyonları daha kuzeyde konumlandırılması yıl içerisindeki pist konfigürasyonları da düşünülerek daha az yakıt tüketimi sağlanabilirdi. Ancak İstanbul Havalimanı bu durum gözetilerek planlanmadığı ve İstanbul'un coğrafi konumu gereği mevsim geçiş dönemleri haricinde yani yılın büyük bir çoğunluğunda kuzey konfigürasyon kullanılması sebebiyle kuzey konfigürasyonun incelenmesi havayolu işletmecileri için daha büyük önem arz etmektedir.

Etik Kurul Onay Beyanı

İlgili çalışmada insan veya hayvan katılımcılardan veri toplanmadığı için etik kurul izni gerekmemektedir.

Kaynakça

- Abbenhuis, A. (2021). Flexible runway scheduling for complex runway systems: A multi-objective optimization for fuel use and noise disturbance at Amsterdam Airport Schiphol, Delft University of Technology (Yayımlanmamış doktora tezi). Delft, Netherlands.
- Ahmed, M. S. (2018). Maximising runway capacity by mid-term prediction of runway configuration and aircraft sequencing using machine learning (Yayımlanmamış doktora tezi). University of New South Wales, Sydney, Australia.
- Ahmed, M. S., Alam, S. ve Barlow, M. (2018). A cooperative co-evolutionary optimisation model for best-fit aircraft sequence and feasible runway configuration in a multi-runway airport. *Aerospace*, 5(3), 85.
- Delsen, J. G. (2016). Flexible arrival & departure runway allocation using mixed-integer linear programming: A Schiphol Airport case study (Yayımlanmamış doktora tezi). Delft University of Technology, Delft, Netherlands.
- Devlet Hava Meydanları İşletmesi, DHMİ. (2021, Kasım). Aeronautical Information Publication (AIP), Havacılık Bilgi Yayını. Ankara, Türkiye.
- Dönmez, K., Çetek, C. ve 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>
- ICAO Engine Exhaust Emissions Data Bank, <https://www.easa.europa.eu/en/domains/environment/icao-aircraft-engine-emissions-databank>
- İGA , “İGA” [Erişim Tarihi: 17-Ocak-2022]. <http://iga.phtools.net/index.html>
- Meson-Mancha, S., de Lange, T., Koelle, R. ve Carro, I. G. O. (2019, Nisan). Assessing the Impact of the Runway System Configuration on Airport Capacity. *Integrated Communications, Navigation and Surveillance Conference (ICNS)* içinde (s.1-9). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICNSURV.2019.8735166>.
- Neitzke, K. W. ve Guerreiro, N. (2014). Exploration of the Theoretical Physical Capacity of the John F. Kennedy International Airport Runway System. In *AIAA Modeling and Simulation Technologies Conference* (s. 0806).
- SKYBRARY, <https://skybrary.aero/aircraft-types>.
- Şahin, Ö. ve 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.
- Wang, C., Imperial, K., Huang, C. ve Dang, T. (2022). Output targeting and runway utilization of major international airports: A comparative analysis using DEA. *Mathematics (Basel)*, 10(4), 551. <https://doi.org/10.3390/math10040551>