



T.C.

TOKAT GAZİOSMANPAŞA ÜNİVERSİTESİ

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS PROGRAMI

**TOKAT HAVALİMANI'NDA İLAVE BİR TAKSİ YOLU YAPIMININ
FAYDA MALİYET ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Safa BALCI

Danışman: Doç. Dr. Ferit YAKAR

TOKAT- 2025

ETİK SÖZLEŞME

Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre, Doç. Dr. Ferit YAKAR danışmanlığında hazırlamış olduğum “Tokat Havalimanı’nda İlave Bir Taksi Yolu Yapımının Fayda-Maliyet Analizi” adlı Yüksek Lisans tezinin bilimsel etik değerlere ve kurallara uygun, özgün bir çalışma olduğunu, aksinin tespit edilmesi halinde her türlü yasal yaptırımını kabul edeceğimi beyan ederim.

....../....../25

Safa BALCI



JÜRİ KABUL VE ONAY

Safa BALCI tarafından hazırlanan “**Tokat Havalimanı’nda İlave Bir Taksi Yolu Yapımının Fayda-Maliyet Analizi**” adlı tez çalışmasının savunma sınavı 02.10.2025 tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen Jüri tarafından Oy Birliği ile Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri (Unvanı, Adı Soyadı)

İmzası

Üye (Başkan) : Doç. Dr. Ferit YAKAR

Üye : Dr. Öğr. Üyesi M. Naci AĞAOĞLU.....

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Funda TÜRE KİBAR.....

ONAY

...../...../.....

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

ÖNSÖZ

Yüksek Lisans eğitimim ve tez çalışmam süresince bilgi ve deneyimleriyle bana rehberlik eden, her zaman desteğini hissettiren ve yol gösteren danışman hocam Sayın Doç. Dr. Ferit Yakar'a en içten teşekkürlerimi sunarım. Tokat Havalimanı'nda çalışma fırsatı bulduğum için kurumum Devlet Hava Meydanları İşletmesi'ne ve değerli iş arkadaşlarıma teşekkür ederim. Yüksek lisans sürecimde desteğini daima hissettiren, her an yanımda olan sevgili eşim Buse BALCI, bana her zaman güç ve motivasyon veren kızım Ahsen BALCI ve şu ana gelmemi sağlayan ailem ve arkadaşlarıma sevgi ve saygılarımı sunarım.

Safa BALCI

Ekim 2025

ÖZET

TOKAT HAVALİMANI'NDA İLAVE BİR TAKSİ YOLU YAPIMININ FAYDA-MALİYET ANALİZİ

Balcı, Safa

Yüksek Lisans, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Ferit YAKAR

Ekim 2025, xi + 64 sayfa

Havacılık sektörü, küresel ekonominin önemli bir unsuru olup, havalimanları yolcu ve kargo taşımacılığında kritik bir rol üstlenmektedir. Hava trafiği talebinin giderek artması, havalimanı altyapılarının optimize edilmesini zorunlu hale getirmektedir. Havalimanı operasyonlarının en önemli unsurlarından biri olan taksi yolları, uçakların havadaki ve yerdeki hareketlerini doğrudan etkileyerek yakıt tüketimi, operasyonel verimlilik ve hava trafik yönetimi açısından belirleyici bir faktör olmaktadır. Bu çalışmada, Türkiye'nin bölgesel havalimanlarından biri olan Tokat Havalimanı'na ilave bir taksi yolu inşasının fayda-maliyet analizi yapılmaktadır. Önerilen taksi yolunun inşa edilmesiyle uçakların yerde geçirdiği sürenin azalması, yakıt tüketiminin düşmesi, çevresel etkilerin en aza indirilmesi ve hava trafik akışının iyileştirilmesi gibi ekonomik ve operasyonel avantajlar değerlendirilmektedir. Gerçek operasyonel veriler, maliyet projeksiyonları ve ekonomik faydalar analiz edilerek, bu yatırımın finansal fizibilitesi ortaya konulmaktadır. Elde edilen bulgular, yeni taksi yolunun havayolları için maliyet tasarrufu ve operasyonel verimlilik sağlayacağını, aynı zamanda karbon emisyonlarının azalmasına katkıda bulunarak çevresel sürdürülebilirliği destekleyeceğini göstermektedir. Ayrıca, havalimanı kapasitesinin artırılması ve yerdeki gecikmelerin azaltılması sayesinde yolcu memnuniyeti yükseltilirken, Tokat Havalimanı'nın rekabet gücünün artacağı öngörülmektedir. Analiz sonuçları, mevcut koşullarda projenin ekonomik olarak uygulanabilir olmadığını, ancak ilerleyen yıllarda hava trafiğinde yaşanabilecek artış ve deprem gibi acil durum ihtiyaçları göz önünde bulundurulduğunda, projenin stratejik bir yatırım olarak değerlendirilebileceğini göstermektedir.

Anahtar sözcükler: Havalimanı taksi yolu, fayda-maliyet analizi, hava trafik yönetimi, Tokat Havalimanı, havacılık altyapısı, operasyonel verimlilik, çevresel sürdürülebilirlik

ABSTRACT

COST-BENEFIT ANALYSIS OF THE CONSTRUCTION OF ADDITIONAL TAXIWAY AT TOKAT AIRPORT

Balci, Safa

Master's Thesis, Department of Civil Engineering

Thesis Advisor: Doç. Dr. Ferit YAKAR

October 2025, xi + 64 pages

The aviation sector is a significant component of the global economy, with airports playing a critical role in passenger and cargo transportation. The steadily increasing demand for air traffic necessitates the optimization of airport infrastructure. Taxiways, as one of the most important elements of airport operations, directly influence aircraft ground and air movements and are a determining factor in terms of fuel consumption, operational efficiency, and air traffic management. In this study, a cost-benefit analysis is conducted for the construction of an additional taxiway at Tokat Airport, one of Turkey's regional airports. The economic and operational advantages of the proposed taxiway—such as reducing aircraft ground time, decreasing fuel consumption, minimizing environmental impacts, and improving air traffic flow—are evaluated. By analyzing actual operational data, cost projections, and economic benefits, the financial feasibility of this investment is assessed. The findings indicate that the new taxiway would provide cost savings and operational efficiency for airlines, while also supporting environmental sustainability by contributing to the reduction of carbon emissions. Furthermore, increasing airport capacity and reducing ground delays are expected to enhance passenger satisfaction and strengthen the competitive position of Tokat Airport. The analysis results show that, under current conditions, the project is not economically feasible; however, considering potential increases in air traffic and emergency needs such as earthquakes in the coming years, the project may be regarded as a strategic investment.

Keywords: Airport taxiway, cost-benefit analysis, air traffic management, Tokat Airport, aviation infrastructure, operational efficiency, environmental sustainability.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ETİK SÖZLEŞME SAYFASI.....	i
JÜRİ KABUL VE ONAY	ii
ÖNSÖZ	iii
ÖZET (TÜRKÇE).....	iv
ABSTRACT (İNGİLİZCE)	v
İÇİNDEKİLER	vi
ÇİZELGELER LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLER LİSTESİ	x
KISALTMALAR.....	xi
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER	4
2.1. Havalimanları.....	4
2.1.1. Kara tarafı unsurları	4
2.1.2. Hava tarafı unsurları.....	5
2.2. Yakıt Tüketim ve Güvenlik Açısından Taksi Yolları	12
2.2.1. Uçak taksi operasyonlarında yakıt kullanımı ve maliyet analizi	13
2.2.2. Taksi yolu tasarımının güvenliğe etkisi	13
2.2.3. Çevresel etkiler: karbon emisyonu ve gürültü seviyeleri.....	15
2.3. Hava Trafik Kontrolörlük Mesleği ve Yaptığı İş	15
2.3.1. Hava trafik kontrolörlerinin görev ve sorumlulukları.....	15
2.3.2. Havalimanı trafik kontrol hizmetleri.....	16
2.3.3. Taksi yolu yönetimi ve hava trafik kontrolörlerinin rolü.....	16
2.3.4. Hava trafik kontrolü ve güvenlik	17
2.4. Beton Kaplama.....	17
2.4.1. Beton kaplama ve asfalt kaplama karşılaştırması	18
2.4.2. Beton kaplamanın teknik özellikleri	18
2.4.3. Beton kaplamanın ekonomik ve çevresel avantajları.....	19
2.4.4. Havalimanı taksi yollarında beton kaplama uygulamaları.....	19
2.4.5. Beton kaplamanın uzun vadeli ekonomik performansı.....	20
2.4.6. Beton kaplamanın güvenlik ve bakım sürelerine etkisi	20

Sayfa

2.4.7. PCN 110 R/C/W/T tasarım kriterleri	20
2.5. Fayda-Maliyet Analizi ve Havalimanı Projelerindeki Uygulamaları	21
2.5.1. FMA'nın tanımı ve uygulama alanları.....	21
2.5.2. Ulaşım projelerinde FMA kullanımı.....	22
2.5.3. FMA'da kullanılan ölçütler.....	22
2.5.4. Kamu yatırımlarında FMA'nın önemi	23
2.5.5. Havalimanlarındaki bütün fayda kalemleri.....	23
2.6. Tokat Havalimanı.....	23
2.6.1. Tokat Havalimanı'nın konumu ve bölgesel önemi	24
2.6.2. Tokat Havalimanı altyapısı ve teknik özellikleri	25
2.6.3. Tokat Havalimanındaki mevcut pist ve taksi yolu kaplaması.....	26
2.6.4. Tokat Havalimanı taksi yolu ihtiyacı ve operasyonel verimlilik	26
2.6.5. Tokat Havalimanı'nın gelecekteki gelişim potansiyeli.....	27
3. MATERYAL YÖNTEM	28
3.1. Havalimanlarında Beton Kaplama Taksi Yolu Yapımı	28
3.1.1. Altyapı ve üstyapı	28
3.1.2. Maliyet analizi ve uzun vadeli ekonomik performans	28
3.1.3. Güvenlik ve bakımı.....	28
3.2. Tokat Havalimanı Trafik Senaryoları	29
3.2.1. Trafik senaryolarının belirlenmesi	29
3.2.2. Hava trafik yönetimi ve taksi yolu kullanımı.....	30
3.2.3. Taksi süreleri ve operasyonel verimlilik.....	30
3.3. Fayda-Maliyet Analizinde Kullanılacak Kalemler	31
3.3.1. Maliyet kalemleri	31
3.3.2. Fayda kalemleri.....	32
3.3.3. İskonto oranı belirlenmesi.....	36
4. BULGULAR.....	37
4.1. Tokat Havalimanı Hava Trafik Senaryoları	37
4.1.1. Tokat Havalimanı mevcut durumu	37
4.1.2. Tokat Havalimanı ilave taksi yolu önerisi	39
4.1.3. İlave taksi yolu tasarımı ile oluşabilecek hava trafik senaryoları	41

Sayfa

4.2. İlave Taksi Yolu Projesinde Kalemleri	47
4.2.1. Senaryolardaki toplam vakit kazancı	47
4.2.2. Gecikmeme sonucu oluşan fayda kalemleri.....	47
4.2.3. Karbon emisyonu azalımı	48
4.2.4. Toplam günlük fayda	50
4.3. Toplam Maliyet.....	52
4.4. Fayda Maliyet Analizi.....	55
4.4.1. Net bugünkü değer hesabı.....	57
4.4.2. Fayda/Maliyet Oranı (Benefit/Cost Ratio).....	57
4.4.3. Değerlendirme.....	58
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	58
6. KAYNAKÇA.....	61
7. ÖZGEÇMİŞ	64

ÇİZELGELER LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 4.1. Senaryo 1 uçak saatleri	42
Çizelge 4.2. Senaryo 2 uçak saatleri	43
Çizelge 4.3. Senaryo 3 uçak saatleri	45
Çizelge 4.4. Senaryo 4 uçak saatleri	46
Çizelge 4.5. Senaryolardaki toplam vakit kazancı.....	47
Çizelge 4.6. Uçak gecikmelerindeki toplam maliyet (Westminster Üniversitesi,2015). 48	
Çizelge 4.7. Emisyonun sebep olduğu toplam maliyet (US Interagency Working Group on Social Cost of Greenhouse Gases, 2021).....	49
Çizelge 4.8. Senaryo 1 kâr hesabı.....	50
Çizelge 4.9. Senaryo 2 kâr hesabı.....	50
Çizelge 4.10. Senaryo 3 kâr hesabı.....	50
Çizelge 4.11. Senaryo 4 kar hesabı.....	51
Çizelge 4.12. Taksi yolu beton kaplama yapımı maliyeti.....	53
Çizelge 4.13. Çizelge 4.14.'teki sütunların açıklaması ve hesaplama yöntemi.....	55
Çizelge 4.14. 30 yıllık fayda maliyet analizi	56

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 Tokat Havalimanı yolcu terminali (www.dhmi.gov.tr, 2022)	5
Şekil 2.2. Tokat Havalimanı meydan kontrol kulesi (www.dhmi.gov.tr,2022)	6
Şekil 2.3. Tokat Havalimanı pisti(www.sera.com.tr,2020)	7
Şekil 2.4. Tokat Havalimanı apronu (www.dhmi.gov.tr,2022)	7
Şekil 2.5. Tokat Havalimanı A taksi yolu.....	9
Şekil 2.6 Paralel taksi yolu (www.tsb.gc.ca,2019)	10
Şekil 2.7. Bağlantılı (hızlı çıkış) taksi yolu (www.aviation_dictionary.en- academic.com,2014)	10
Şekil 2.8. Döngüsel taksi yolu (loop taxiway) (aviation.stackexchange.com,2018)	11
Şekil 2.9. Giriş taksi yolu (Dr. M. K. Mohan,2018)	12
Şekil 2.10. Alternatif taksi yolu (www.milhouseinc.com,2019)	12
Şekil 2.11. Havalimanı pist ve taksi yolu beton kaplama uygulaması (www.ccaa.com.au,2024)	20
Şekil 2.12 Tokat Havalimanı (www.dhmi.gov.tr,2022)	24
Şekil 2.13. Tokat Havalimanı uydu görüntüsü (www.google.com,2025)	25
Şekil 4.1.Tokat Havalimanı mevcut durum 1. perspektif	38
Şekil 4.2.Tokat Havalimanı mevcut durum 2. perspektif	38
şekil 4.3.tokat havalimanı mevcut durum 3. perspektif.....	39
Şekil 4.4.Tokat Havalimanı öneri taksi yolu 1. perspektif	40
Şekil 4.5.Tokat Havalimanı öneri taksi yolu 2. perspektif	40
Şekil 4.6.Tokat Havalimanı öneri taksi yolu (Autocad alan hesabı)	41
Şekil 4.7. Senaryo 1	42
Şekil 4.8.Senaryo 2	43
Şekil 4.9.Senaryo 3	44
Şekil 4.10.Senaryo 4.....	46

KISALTMALAR

Simge	Açıklama
NBD	Net Bugünkü Değer
IVR	İç Verim Oranı
FMO	Fayda-Maliyet Oranı
CO ₂	Karbondiyoksit
NO _x	Azot Oksitleri

Kısaltma	Açıklama
06-24	Sıfır Altı Pisti – İki Dört Pisti
A-SMGCS	Advanced Surface Movement Guidance and Control System (Gelişmiş Yüzey Hareket Kılavuz ve Kontrol Sistemi)
APP	Approach Control (Yaklaşma Kontrol)
ATC	Air Traffic Controller (Hava Trafik Kontrolörü)
DHMI	Devlet Hava Meydanları İşletmesi
EIA	Energy Information Administration (Enerji Enformasyon İdaresi)
FAA	Federal Aviation Administration (Federal Havacılık İdaresi)
FMA	Fayda-Maliyet Analizi
GND	Ground Control (Yer Kontrol)
ICAO	International Civil Aviation Organization (Uluslararası Sivil Havacılık Örgütü)
KDV	Katma Değer Vergisi
KGM	Karayolları Genel Müdürlüğü
PCN	Pavement Classification Number (Kaplama Sınıflandırma Nu.)
RIPS	Runway Incursion Prevention System (Pist İhlali Önleme Sistemi)
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu
TWR	Tower Control (Kule Kontrol)
VOR Yardımı	VHF Omni-directional Range (Çok Yönlü Radyo Seyrüsefer)

1. GİRİŞ

Havacılık sektörü, küresel ekonominin büyümesinde kritik bir rol oynayan ve teknolojik gelişmelerle sürekli dönüşüm geçiren bir alandır. Günümüzde artan yolcu ve kargo taşımacılığı talebi, havalimanlarının altyapı kapasitelerini artırmasını ve operasyonel verimliliğini geliştirmesini zorunlu hale getirmiştir. Bu bağlamda, özellikle bölgesel havalimanları, bulundukları coğrafyanın ekonomik ve sosyal gelişimi açısından stratejik bir öneme sahiptir. Ancak, artan hava trafiği talebini karşılamak ve operasyonel aksaklıkları minimize etmek için mevcut altyapının geliştirilmesi gerekmektedir. Bu tür yatırımlar, yalnızca havalimanlarının kapasite sorunlarını çözmekle kalmaz, aynı zamanda yakıt tasarrufu, bekleme sürelerinin azaltılması ve çevresel etkilerin en aza indirilmesi gibi operasyonel ve sürdürülebilirlik açısından önemli faydalar sağlar (Ashford, Mumayiz & Wright, 2011).

Tokat Havalimanı, Orta Karadeniz Bölgesi'nde yer alan ve bölgenin hava ulaşımı ihtiyacını karşılayan önemli bir altyapı unsurudur. Son yıllarda artan uçak hareketliliği ve yolcu trafiği, ileriki yıllarda Tokat Havalimanı'nın trafik yoğunluğunun artacağına işaret etmektedir. Bununla birlikte, deprem gibi acil durumlarda trafik yoğunluğunu artacağı ve mevcut taksi yolu kapasitesinin operasyonel verimliliği desteklemede yetersiz kalabilme ihtimali doğabileceği öngörülmektedir. Özellikle uçakların yerde uzun süre beklemesi, iniş-kalkış sırasındaki gecikmeler ve artan yakıt tüketimi, havalimanı operasyonlarını olumsuz etkileyen faktörler arasında yer almaktadır. Bu operasyonel sorunlar göz önüne alındığında, Tokat Havalimanı'na ilave bir taksi yolu yapılmasının; hem uzun vadede uçakların taksi sürelerini kısaltarak operasyonel verimliliği artıracığı, yakıt tüketimini azaltarak çevresel etkileri minimize edeceği ve hava trafik güvenliğini olumlu yönde etkileyeceği hem de deprem gibi acil durumlarda ortaya çıkan acil ihtiyacı karşılayabileceği öngörülmektedir.

Bu çalışma, Tokat Havalimanı'na ilave bir taksi yolu inşa edilmesinin fayda-maliyet analizini yapmayı amaçlamaktadır. Bu kapsamda, önerilen projenin yapım maliyetleri detaylandırılacak ve yatırımın operasyonel süreçlere sağladığı katkılar değerlendirilecektir. Özellikle uçakların yerdeki taksi sürelerinin kısaltılması, yakıt tasarrufu, çevresel etkilerin azaltılması ve operasyonel güvenliğin artırılması gibi unsurlar fayda-maliyet analizinde temel kriterler olarak ele alınacaktır.

Bu tür altyapı projelerinin hava trafik operasyonlarına etkisi üzerine yapılan çeşitli çalışmalar literatürde yer almaktadır. Örneğin, Yin (2022) havalimanı yüzeyindeki pist, taksi yolu ve apron operasyonlarının entegrasyonu ve optimizasyonunun, operasyonel verimliliğin artırılmasında önemli bir rol oynadığını göstermiştir. Yin'in çalışmasında, uçuşların apron ve pist atamalarının birlikte optimize edilmesi yoluyla, toplam taksi mesafesi, taksi süresi ve yakıt tüketimi gibi kritik performans göstergelerinde anlamlı iyileşmeler sağlanmıştır. Bu yaklaşım, operasyonel kısıtlar ve paydaşlar arası etkileşimlerin dikkate alındığı bir optimizasyon modeliyle desteklenmiş ve Pekin Başkent Uluslararası Havalimanı'nda yapılan vaka çalışmasıyla somutlaştırılmıştır. Ayrıca, modelin beklenmeyen uçuş gecikmelerine karşı dayanıklı olduğu da duyarlılık analizleriyle ortaya konmuştur.

Grebenšek ve Kosel (2014) ise Ljubljana – Jože Pučnik Havalimanı'nda gerçekleştirilen taksi yolu uzatma projesinin, pist kapasitesini artırarak hava trafiği akışını optimize ettiğini ortaya koymuştur. Araştırma, özellikle pist 30 yönünde aletli inişlerin coğrafi kısıtlamalar nedeniyle sadece güneydoğudan yapılabilmesi sebebiyle önceki kapasite sınırlamalarını detaylı biçimde ele almıştır. Taksi yolu A'nın pist eşik noktasına kadar uzatılması, pist kapasitesinde ve operasyonel esneklikte gözle görülür iyileşmeler sağlamış; farklı hava trafiği senaryoları (sadece kalkış, sadece iniş ve karma operasyonlar) üzerinden gerçek zamanlı trafik karışımına dayalı kapasite analizleri yapılmıştır. Böylece, altyapı iyileştirmelerinin operasyonel faydaları net bir şekilde ortaya konmuştur.

Jiang ve Hao (2024) ise merkez havalimanlarında yaygın olan birden fazla paralel piste sahip tesislerde uygulanan çevresel taksi yolu (End-Around/Bypass Taxiways, EAT) projelerini analiz etmiştir. Çalışma, çevresel taksi yolunun pist ihlali riskini azaltmak, hava trafik kontrolörlerinin iş yükünü hafifletmek ve genel olarak taksi operasyonlarının güvenlik ve verimliliğini artırmak gibi çoklu faydalarını detaylandırmıştır. Bununla birlikte, çevresel taksi yolunun arazi kullanımı ve inşaat maliyetleri gibi olası dezavantajları da tartışılmıştır. Jiang ve Hao, ideal çevresel taksi yolu tasarımının, pist çevresindeki engellerin sınırlandırılması, uçuş prosedürlerinin dikkate alınması ve taksi yolundaki görüşü engelleyebilecek unsurların azaltılması gibi faktörler göz önünde bulundurularak yapılması gerektiğini belirtmiştir. Bu sayede hem güvenlik hem de operasyonel verimlilik açısından dengeli ve sürdürülebilir bir çözüm modeli ortaya

koymuşlardır. Bu alışmalar, Tokat Havalimanı için önerilen taksi yolu projesinin, benzer altyapı iyileştirmelerinde olduğu gibi operasyonel performansı olumlu yönde etkileyebileceğini göstermektedir.

Bu bağlamda, çalışma kapsamında önce havalimanı operasyonları ve taksi yolu kavramlarına dair genel bilgiler sunulacak, ardından kullanılacak metodoloji açıklanacaktır. Bulgular ve tartışma bölümünde, yapılan analizler doğrultusunda elde edilen sonuçlar incelenecek ve son olarak Sonuç ve öneriler bölümünde, Tokat Havalimanı'na ilave taksi yolu yapımına ilişkin çıkarımlar sunulacaktır. Bu araştırmanın, Tokat Havalimanı ve benzeri bölgesel havalimanları için altyapı planlamalarında rehber niteliği taşması ve gelecekteki yatırım kararlarına katkı sağlaması beklenmektedir. Aynı zamanda, hava trafik kontrol operasyonlarının etkin yönetimi açısından da önemli bir referans oluşturması amaçlanmaktadır.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Havalimanları

Havalimanları, hava taşımacılığının temel altyapı unsurlarından biridir ve ticari, kargo ve genel havacılık faaliyetlerinin gerçekleştirildiği yerlerdir. Havalimanları, kara tarafı ve hava tarafı olmak üzere iki ana bölümden oluşmaktadır. Kara tarafı, yolcuların ve yüklerin terminale giriş yaptığı, park alanları ve terminal hizmetlerinin sunulduğu bölümü kapsarken; hava tarafı, uçak operasyonlarının gerçekleştirildiği pist, taksi yolu, apron gibi unsurları içermektedir.

Modern havalimanlarının planlanması ve işletilmesi, operasyonel verimliliği sağlamak, yolcu memnuniyetini artırmak ve hava trafiğini güvenli şekilde yönlendirmek amacıyla detaylı bir mühendislik ve yönetim sürecini gerektirir. Havalimanlarının altyapısı, artan yolcu ve uçuş sayısını karşılayabilecek şekilde düzenlenmeli, hava trafik yönetimiyle entegre olarak çalışmalıdır. Bu bağlamda, taksi yolları, apron ve pist gibi hava tarafı unsurlarının etkin kullanımı, havalimanı operasyonlarının hızlandırılmasını ve kapasitenin artırılmasını sağlayan kritik faktörlerdir (Ashford, Mumayiz & Wright, 2011).

Bu çalışmanın özgün değeri, Tokat Havalimanı özelinde gerçekleştirilen ilave taksi yolu yatırımının yalnızca mevcut operasyonel verimlilik üzerinden değil, aynı zamanda afet yönetimi, bölgesel kalkınma ve turizm hareketliliği gibi çok boyutlu senaryolar üzerinden fayda-maliyet analiziyle incelenmiş olmasında yatmaktadır. Literatürde genellikle büyük ölçekli havalimanlarına odaklanan benzer çalışmaların aksine, bu tez bölgesel bir havalimanı için uygulanabilirlik analizi sunmakta ve tek taksi yolu altyapısına sahip havalimanlarında karşılaşılabilecek operasyonel kısıtların ekonomik ve stratejik boyutlarını bütüncül bir yaklaşımla ortaya koymaktadır. Böylelikle, çalışma hem akademik literatüre katkı sağlamakta hem de politika yapıcılar ve karar vericiler için pratik düzeyde yol gösterici nitelik taşımaktadır.

2.1.1. Kara tarafı unsurları

Havalimanlarının kara tarafı, yolcuların, kargo ve diğer havaalanı destek hizmetlerinin terminale giriş yaptığı ve hava taşımacılığıyla doğrudan bağlantısı olmayan

operasyonların yürütüldüğü alanları kapsar. Kara tarafı; yolcu terminalleri, otoparklar, ulaşım sistemleri (metro, otobüs, taksi, özel araç yolları) ve havaalanı bağlantı yollarını içerir.

Yolcu terminalleri, havalimanlarının en yoğun kullanılan alanlarından biridir ve yolcuların bilet işlemleri, bagaj teslimi, güvenlik kontrolleri ve bekleme salonlarına erişimini sağlar. Otopark alanları, yolcuların ve havalimanı çalışanlarının araçlarını park etmesi için düzenlenmiş olup, kısa ve uzun süreli otopark seçenekleri sunar. Ulaşım sistemleri, yolcuların havalimanına hızlı ve konforlu bir şekilde ulaşmasını sağlarken, lojistik destek ve havaalanı çalışanlarının erişimi açısından da büyük önem taşır (Horonjeff, McKelvey, Sproule & Young, 2010). Şekil 2.1.'de kara tarafında bulunan Tokat Havalimanı yolcu terminali gösterilmiştir.



Şekil 2.1 Tokat Havalimanı yolcu terminali (www.dhmi.gov.tr, 2022)

2.1.2. Hava tarafı unsurları

Havalimanlarının hava tarafı, uçakların hareket ettiği, kalkış ve iniş yaptığı operasyonel alanları kapsar. Hava tarafında yer alan başlıca unsurlar; kontrol kulesi, pist, apron ve taksi yollarıdır.

Hava tarafındaki unsurların etkin bir şekilde planlanması ve yönetilmesi, hava trafik akışını düzenlemek, uçak hareketlerini hızlandırmak ve operasyonel verimliliği artırmak açısından kritik öneme sahiptir. Havalimanlarının kapasitesi büyük ölçüde hava tarafındaki unsurların etkin kullanımıyla doğrudan ilişkilidir (Ashford ve ark., 2011). Aşağıda hava tarafı unsurları açıklanmıştır.

Meydan kontrol kulesi

Meydan kontrol kuleleri, havalimanlarında uçuş operasyonlarının güvenli ve düzenli bir şekilde yürütülmesini sağlayan temel hava trafik yönetim birimleridir. Uluslararası Sivil Havacılık Örgütü (ICAO) ve Eurocontrol gibi kuruluşların belirlediği standartlar doğrultusunda faaliyet gösteren bu kuleler, kalkış ve iniş yapan uçakların yanı sıra taksi yollarında ve apron sahasında hareket eden hava araçlarının koordinasyonunu sağlar (Eurocontrol, 2022). Meydan Kontrol Kulesinde çalışan kontrolörler, uçuş ekipleriyle radyo haberleşmesi ve modern hava trafik yönetim sistemleri aracılığıyla sürekli iletişim halinde olup, hava sahasında ve yer operasyonlarında çakışmaları önleyerek güvenliğini artırır (FAA, 2021). Bunun yanı sıra, meydan kontrol kuleleri meteorolojik gözlem verilerini değerlendirerek pilotlara gerekli hava durumu bilgilerini sunar ve hava trafik akışını optimize edecek direktifler verir (ICAO, 2019). Şekil 2.2.'de Tokat Havalimanı Meydan Kontrol Kulesi gösterilmiştir.



Şekil 22.2. Tokat Havalimanı meydan kontrol kulesi (www.dhmi.gov.tr,2022)

Pist

Pist, uçakların kalkış ve iniş yaptığı, havalimanının en kritik altyapı unsurlarından biridir. Pistin uzunluğu, genişliği ve yüzey malzemesi, havalimanının kapasitesini ve hizmet verebileceği uçak tiplerini belirleyen başlıca faktörler arasındadır.

Pistlerin tasarımında rüzgar yönü, pist eğimi, drenaj sistemi ve hava şartları dikkate alınarak optimum güvenlik ve operasyonel verimlilik sağlanır. Bazı büyük

havalimanlarında paralel pist sistemleri bulunurken, küçük ve orta ölçekli havalimanlarında tek pistli sistemler yaygındır (Jiang & Hao, 2024). Şekil 2.3.'te Tokat Havalimanı Pisti gösterilmiştir.



Şekil 2.3. Tokat Havalimanı pisti(www.sera.com.tr,2020)

Apron

Apron, uçakların park ettiği, yolcu ve kargo yükleme-boşaltma işlemlerinin yapıldığı, yakıt ikmali, bakım ve diğer havaalanı hizmetlerinin sağlandığı geniş alanlardır. Apron düzenlemeleri, uçakların güvenli bir şekilde park edebilmesi, taksi yollarına hızlıca erişebilmesi ve yer hizmetlerinin etkin bir şekilde sağlanmasını hedefler.

Apron kapasitesinin yetersiz olması, havalimanlarında sıkışıklığa yol açabilir ve taksi sürelerini uzatabilir. Bu nedenle apronun tasarımı, hava trafik yönetimi ile entegre edilerek havalimanının genel verimliliğine katkı sağlayacak şekilde planlanmalıdır (Horonjeff ve ark., 2010). Şekil 2.4.'te Tokat Havalimanı apronu gösterilmiştir.



Şekil 22.4. Tokat Havalimanı apronu (www.dhmi.gov.tr,2022)

Taksi Yolları

Taksi yolları, havalimanlarında pist ile apron arasında bağlantıyı sağlayan ve uçakların yerdeki hareketlerini yönlendiren kritik altyapı unsurlarıdır. Uçakların iniş ve kalkış süreçlerinde taksi yollarını etkin bir şekilde kullanmaları, havalimanı operasyonlarının güvenli ve verimli yürütülmesini sağlar.

Taksi yolları, hava trafik akışının düzenlenmesi, pist kullanım verimliliğinin artırılması ve uçakların gereksiz beklemlerden kaçınması açısından büyük öneme sahiptir. Etkin planlanmış bir taksi yolu sistemi, uçakların yerdeki hareketlerini hızlandırarak yakıt tasarrufu sağlar ve gecikmeleri minimize eder (Grebenšek & Kosel, 2014). Havalimanlarının kapasitesi, pist, apron ve taksi yollarının düzenlenmesiyle doğrudan ilişkilidir. Taksi yollarının yetersiz olması, pistin gereksiz yere işgal edilmesine neden olabilir ve hava trafik yoğunluğunu artırabilir. Bu nedenle, özellikle yoğun trafiğe sahip havalimanlarında çoklu taksi yolu sistemleri uygulanmaktadır (Jiang & Hao, 2024).

Taksi yolları, uçakların güvenli ve hızlı bir şekilde pistten aprona veya terminale ulaşmasını sağlamak için kullanılır. Ayrıca, hava trafik kontrolörleri tarafından acil durum senaryolarında alternatif güzergâh olarak da kullanılabilir (Yin, 2022). Taksi yollarının tasarımı, havalimanının trafik yoğunluğu, pist kapasitesi ve operasyonel ihtiyaçlarına göre değişiklik göstermektedir. Etkin bir taksi yolu düzeni, pistin gereksiz işgalini azaltarak uçakların yerde daha verimli bir şekilde hareket etmesini sağlar. Uluslararası Sivil Havacılık Örgütü (ICAO) ve Federal Havacılık İdaresi (FAA), havalimanı tasarım kriterlerinde taksi yollarının standartlarını belirlemiştir ve bu yolların, uçakların manevra kabiliyeti, güvenliği ve operasyonel sürekliliği göz önünde bulundurularak inşa edilmesini önermektedir (ICAO, 2021; FAA, 2020).

Taksi yolları, havalimanı tasarımına bağlı olarak farklı şekillerde olabilir. Paralel, bağlantılı ve döngüsel taksi yolları en yaygın kullanılan tasarımlar arasındadır. Bu tasarımlar, havalimanının genel kapasitesine ve operasyonel ihtiyaçlarına göre belirlenir. Aşağıda, yaygın kullanılan taksi yolu şekilleri detaylandırılmıştır.

Tek taksi yolu (single taxiway)

Tek taksi yolu (single taxiway) tasarımı, özellikle küçük ve orta ölçekli havaalanlarında tercih edilen bir uygulamadır. Bu tasarım, uçakların apron ve pist arasında en kısa

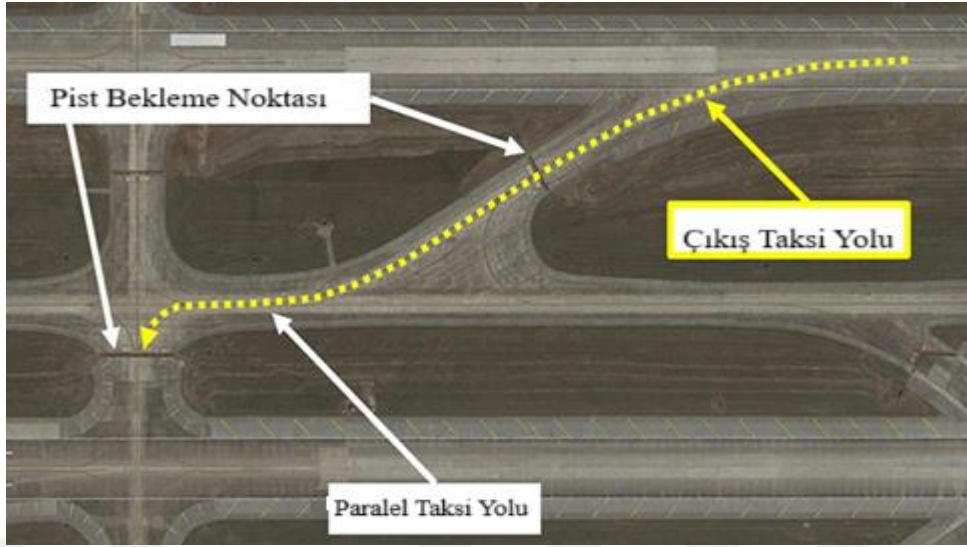
sürede hareket etmesini sağlayarak yerde geçirilen süreyi azaltmayı hedefler. Havaalanlarında taksi yolu kapasitesinin yetersiz olması, uçakların iniş ve kalkış süreçlerinde gecikmelere ve operasyonel sıkışıklıklara neden olabilmektedir (Yin ve ark., 2024). Aprona doğrudan bağlanan tek bir taksi yolunun bulunması, küçük havalimanlarında genellikle yeterli görülse de yoğun trafik saatlerinde uçakların yerde uzun süre beklemesine ve yakıt tüketiminin artmasına yol açabilmektedir (Liu ve ark., 2023). Bu nedenle, apron bağlantılı tek taksi yolu kullanılan havalimanlarında, hava trafik kontrol prosedürlerinin optimize edilmesi ve taksi yolu genişletme planlarının operasyonel gereklilikler doğrultusunda değerlendirilmesi büyük önem taşımaktadır (Jiang & Hao, 2024). Şekil 2.5. Tokat Havalimanı'nda bulunan tek taksi yolu gösterilmiştir.



Şekil 2.5. Tokat Havalimanı A taksi yolu

Paralel taksi yolu

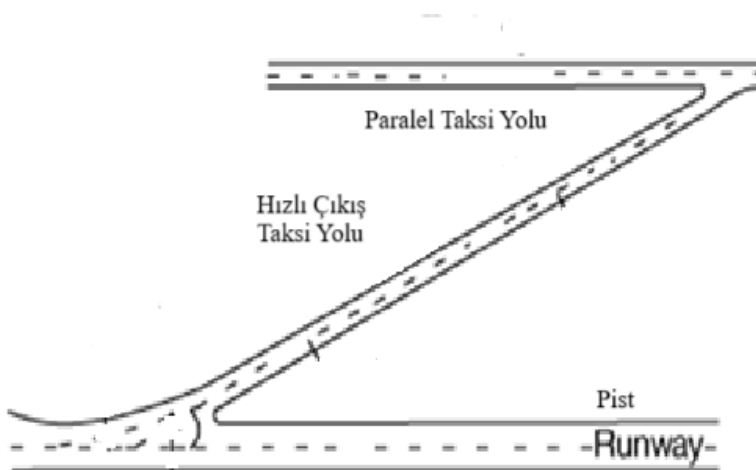
Paralel taksi yolları, pist ile eş zamanlı olarak uzanan ve uçakların iniş ve kalkış yapan hava araçlarına engel olmadan taksi yapmasını sağlayan yollardır. Özellikle yoğun hava trafiğine sahip havalimanlarında pistin etkin kullanımını artırmak için yaygın olarak kullanılır (Horonjeff, McKelvey, Sproule, & Young, 2010). Paralel taksi yolları, uçakların yerde gereksiz beklemelemlerden kaçınmasını sağlayarak taksi süresini kısaltır ve yakıt tüketimini azaltır (Ashford, Mumayiz, & Wright, 2011). Şekil 2.6.'da paralel taksi yolu gösterilmiştir.



Şekil 2.6 Paralel taksi yolu (www.tsb.gc.ca,2019)

Bağlantılı (hızlı çıkış) taksi yolu

Bağlantılı taksi yolları, pist ile apron veya paralel taksi yolu arasında açılı bir şekilde konumlandırılan ve uçakların pistten daha hızlı ayrılmasına olanak tanıyan yollardır. FAA ve ICAO standartlarına göre, hızlı çıkış taksi yolları genellikle 25-45 derece açılarla tasarlanarak uçakların yüksek hızda pistten çıkmasına olanak tanır (FAA, 2020). Bu sayede, iniş yapan uçaklar pist üzerinde daha az zaman geçirir ve diğer iniş kalkış operasyonları için pistin hızlı bir şekilde tekrar kullanılabilir olması sağlanır (Jiang & Hao, 2024). Şekil 2.7.'de hızlı çıkış taksi yolu gösterilmiştir.



Şekil 2.7. Bağlantılı (hızlı çıkış) taksi yolu (www.aviation_dictionary.en-academic.com,2014)

Döngüsel taksi yolu (loop taxiway)

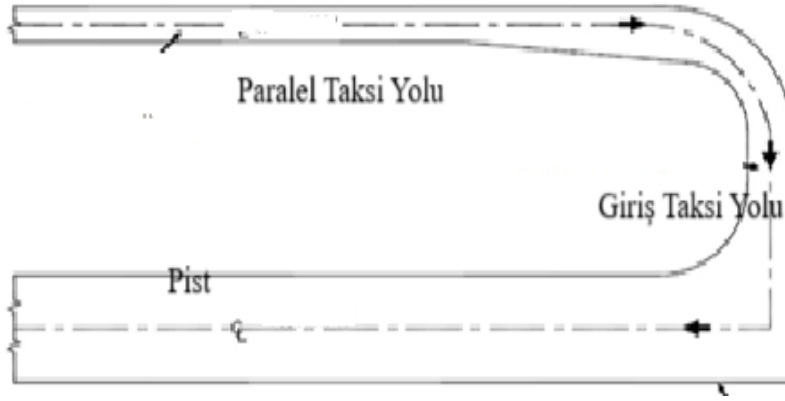
Döngüsel taksi yolları, özellikle büyük havalimanlarında uçakların taksi süresini optimize etmek amacıyla kullanılan bir düzenleme şeklidir. Bu sistem, apron veya terminal bölgelerinde uçakların dönüş yapmasını kolaylaştırarak park pozisyonlarına daha verimli bir şekilde ulaşmasını sağlar (Yin, 2022). Ayrıca, havaalanının genel kapasitesini artırarak apron sıkışıklığını önler ve hava trafik akışını düzenler (Greibenšek & Kosel, 2014). Şekil 2.8.'de döngüsel taksi yolu gösterilmiştir.



Şekil 2.8. Döngüsel taksi yolu (loop taxiway) (aviation.stackexchange.com,2018)

Giriş taksi yolu (entrance taxiway)

Giriş taksi yolları, uçakların pist başına güvenli ve verimli bir şekilde ulaşmasını sağlayan önemli altyapı unsurlarıdır. Bu taksi yolları, apron veya ana taksi yolundan pistin kalkış başına doğru yönlendirilmiş olup, havaalanı operasyonlarının akıcılığını artırır. Uygun şekilde tasarlanmış giriş taksi yolları, yerdeki uçak hareketlerinin düzenlenmesine katkı sağlarken, kalkış öncesi beklemleri ve olası gecikmeleri de en aza indirir. Ayrıca, giriş taksi yollarının yerleşimi ve sayısı, pist kapasitesinin ve havaalanı verimliliğinin artırılmasında kritik rol oynamaktadır (Horonjeff, McKelvey, Sproule, & Young, 2010). Şekil 2.9.'ta giriş taksi yolu gösterilmiştir.



Şekil 2.9. Giriş taksi yolu (Dr. M. K. Mohan,2018)

Alternatif taksi yolu (bypass taxiway)

Alternatif veya bypass taksi yolları, bir uçak taksi yaparken diğer uçakların beklemeden ilerlemesine olanak tanır. Özellikle çok yoğun apron bölgelerinde ve ana pistin yoğun olduğu havalimanlarında taksi sürelerini optimize etmek için kullanılmaktadır (Jiang & Hao, 2024). Bypass taksi yolları, genellikle uçakların birbirine paralel hareket etmesine izin veren genişletilmiş taksi yolları şeklinde tasarlanır (FAA, 2020). Şekil 2.10.'da alternatif taksi yolu gösterilmiştir.



Şekil 2.10. Alternatif taksi yolu (www.milhouseinc.com,2019)

2.2. Yakıt Tüketimi ve Güvenlik Açısından Taksi Yolları

Taksi yolları, uçakların yerde hareket etmesini sağlayan kritik altyapı elemanlarıdır ve operasyonel verimliliğin yanı sıra yakıt tüketimi, güvenlik ve çevresel etkiler açısından büyük önem taşımaktadır. Etkin bir taksi yolu planlaması, uçakların pist üzerindeki gereksiz bekleme sürelerini azaltarak hem yakıt tüketimini hem de karbon emisyonlarını minimuma indirmeye yardımcı olur (Ashford, Mumayiz, & Wright, 2011).

Ayrıca, iyi tasarlanmış bir taksi yolu sistemi, uçakların güvenli bir şekilde hareket etmesini sağlarken, hava trafik kontrol operasyonlarının etkinliğini artırarak çarpışma risklerini en aza indirir (Horonjeff, McKelvey, Sproule, & Young, 2010). Bu başlık altında, taksi yollarının yakıt tüketimi ve maliyet, güvenlik ve çevresel etkiler açısından nasıl optimize edilebileceği ele alınacaktır.

2.2.1. Uçak taksi operasyonlarında yakıt kullanımı ve maliyet analizi

Uçakların yerde taksi yaparken harcadıkları yakıt miktarı, operasyonel maliyetler açısından önemli bir faktördür. Taksi süresi uzadıkça yakıt tüketimi artmakta ve bu durum, havayolu şirketleri için ciddi ekonomik kayıplara neden olabilmektedir (Jiang & Hao, 2024). Özellikle büyük havalimanlarında taksi sürelerinin uzun olması, uçak başına yıllık bazda binlerce litre ekstra yakıt tüketimi anlamına gelmektedir.

Yakıt tüketimini azaltmak amacıyla havalimanlarında optimum taksi yolu tasarımları, hızlı çıkış taksi yolları ve alternatif güzergahlar kullanılmaktadır. Ayrıca, bazı havayolu şirketleri tek motorlu taksi uygulamalarını benimseyerek motorlardan sadece birini çalıştırmak suretiyle yakıt tüketimini düşürmektedir (Yin, 2022). Yapılan bir çalışmada, tek motorlu taksi uygulamalarının yakıt tüketimini %15'e kadar azaltılabileceği belirtilmiştir (FAA, 2020).

Ayrıca, havalimanlarında uçak taksi rotalarının optimizasyonu için hava trafik yönetimi sistemleri (A-SMGCS: Advanced Surface Movement Guidance and Control System) devreye alınmaktadır. Bu sistemler, taksi sürelerini kısaltarak gereksiz yakıt tüketimini en aza indirir (ICAO, 2021).

Yakıt maliyetlerinin yanı sıra, uzun taksi süreleri uçuş gecikmelerine de yol açarak havayolu şirketleri için ekstra operasyonel maliyetler oluşturmaktadır. Bu nedenle, taksi yollarının verimli kullanımı, yakıt maliyetlerini düşürmekle kalmaz, aynı zamanda uçuş operasyonlarını hızlandırarak havalimanı genelinde kapasiteyi artırır (Ashford, 2011).

2.2.2. Taksi yolu tasarımının güvenliğe etkisi

Havacılıkta güvenlik, operasyonel süreçlerin en önemli bileşenlerinden biridir. Uçakların yerde hareketi sırasında meydana gelen çarpışmaların büyük bir kısmı, yetersiz taksi yolu tasarımı ve pilot hatalarından kaynaklanmaktadır (Horonjeff ve ark., 2010). Taksi yollarının düzenli bir şekilde tasarlanması, taksi rotalarının açıkça

belirlenmesi ve yer işaretlemelerinin uygun şekilde yapılması, havaalanı güvenliğini artırmada önemli bir rol oynar. Uygun bir taksi yolu tasarımı, uçakların yerde çakışma veya kaza riskini en aza indirerek güvenli taksi operasyonlarının sağlanmasına katkıda bulunur.

Taksi yolu tasarımında dikkate alınması gereken en önemli güvenlik unsurlarından biri, pilotların taksi yollarında net bir görüş açısına sahip olmasıdır. Özellikle dönemeçli taksi yollarında, kör noktaların önlenmesi için uygun tabelalar ve ışıklandırmalar sağlanmalıdır (ICAO, 2021). Bunun yanı sıra, uçakların taksi yaparken herhangi bir engelle karşılaşmaması için apron ve terminal bölgeleri uygun mesafelerle planlanmalıdır. Engelsiz taksi alanları, pilotların hata yapma olasılığını azaltırken, hava trafik akışının düzenlenmesine de yardımcı olur. Taksi yollarının genişliği de güvenlik açısından önemli bir faktördür. Geniş gövdeli uçaklar için yeterli genişlikte taksi yollarının inşa edilmesi gereklidir. Uluslararası Sivil Havacılık Örgütü (ICAO) ve Federal Havacılık İdaresi (FAA) standartlarına göre, büyük yolcu uçakları için minimum 23 metre genişliğinde taksi yolları gereklidir (FAA, 2020). Bu standartlar, uçakların manevra kabiliyetlerini dikkate alarak belirlenmiş olup, pistten aprona ve terminale kadar olan süreçte taksi yollarının güvenli kullanımını desteklemektedir.

Taksi yollarının güvenli tasarlanması, hava trafik kontrol operasyonlarının da etkinliğini artırmaktadır. Uçakların taksi yolları üzerinde doğru sıralanmasını sağlamak, hava trafiğinin akışını düzenleyerek olası pist ihlallerini ve çarpışmaları önler (Gebenšek & Kosel, 2014). Güvenliği artıran bir diğer yöntem ise, havaalanı taksi yolu ışıklandırma sistemleridir. Runway Incursion Prevention Systems (RIPS) olarak adlandırılan bu sistemler, uçakların yanlış taksi yollarına yönelmesini engelleyen uyarılar sağlayarak olası çarpışmaları minimuma indirir (Jiang & Hao, 2024). Gelişmiş havaalanlarında, taksi yolu aydınlatma sistemleri, yer radarları ve gelişmiş yüzey hareket rehberlik sistemleri (ASMGCS - Advanced Surface Movement Guidance and Control System) ile entegre edilerek taksi operasyonlarının daha güvenli ve kontrollü bir şekilde gerçekleştirilmesine olanak tanımaktadır. Tüm bu tasarım kriterleri dikkate alındığında, taksi yollarının güvenli ve etkin bir şekilde düzenlenmesi hem uçuş operasyonlarının aksamasını önlemekte hem de havaalanlarının genel güvenlik seviyesini artırmaktadır.

2.2.3. Çevresel etkiler: karbon emisyonu ve gürültü seviyeleri

Havalimanlarında uçakların yerde geçirdiği süre arttıkça karbon emisyonları ve gürültü seviyeleri de yükselmektedir. Hava taşımacılığı sektörü, küresel karbon emisyonlarının yaklaşık %2'sinden sorumlu olup, yerde taksi operasyonları bu emisyonun önemli bir kısmını oluşturmaktadır (ICAO, 2021).

Havalimanlarının sürdürülebilir bir şekilde faaliyet göstermesi için karbon emisyonlarını ve gürültü seviyelerini azaltmaya yönelik çözümler hayata geçirilmeli ve optimum taksi yolu tasarımları benimsenmelidir (Ashford ve ark., 2011).

2.3. Hava trafik kontrolörlük mesleği ve yaptığı iş

Hava trafik kontrolörleri, hava sahasındaki uçuşları güvenli, düzenli ve verimli bir şekilde yönlendirmekten sorumlu profesyonellerdir. Hava trafiğinin artan yoğunluğu, güvenlik gereklilikleri ve operasyonel verimlilik ihtiyacı, hava trafik kontrolörlerinin görevlerini kritik hale getirmektedir (Eurocontrol, 2022).

Hava trafik kontrol hizmetleri, hava sahasının yönetimi, uçakların iniş-kalkış sırasındaki yönlendirilmesi, taksi operasyonlarının düzenlenmesi ve uçuş yollarının optimize edilmesi gibi birçok unsuru içermektedir (ICAO, 2021). Bu bölümde, hava trafik kontrolörlerinin rolü ve hava trafik yönetiminin havalimanı operasyonlarındaki yeri incelenecektir.

2.3.1. Hava trafik kontrolörlerinin görev ve sorumlulukları

Hava trafik kontrolörleri, uçuş güvenliğini sağlamak amacıyla hava sahasındaki tüm uçakların hareketlerini koordine eden ve hava trafik akışını düzenleyen uzmanlardır. Havalimanlarında iniş ve kalkış yapan uçakların sırasını belirlemek, pist ve taksi yollarındaki hareketlerini yönetmek, hava sahasında minimum ayırma mesafelerini koruyarak çakışmaları önlemek, meteorolojik koşullara bağlı olarak pilotlara gerekli yönlendirmeleri yapmak ve gerektiğinde alternatif uçuş rotaları belirlemek gibi kritik görevler üstlenirler. Bu görevler hem pist hem de taksi yolları üzerinde trafik akışını doğrudan etkileyen operasyonları içermektedir. Hava trafik kontrolörlerinin hızlı karar alma yeteneği, yoğun dikkat seviyesi ve etkin iletişim becerisi, hava sahasının güvenli ve verimli bir şekilde yönetilmesi açısından kritik öneme sahiptir (Eurocontrol, 2022).

2.3.2. Havalimanı trafik kontrol hizmetleri

Havalimanlarında hava trafik kontrol hizmetleri, kule kontrolörleri tarafından yürütülmektedir. Kule kontrolörleri, uçakların iniş ve kalkışlarını yönetmenin yanı sıra, taksi yollarındaki hareketlerini koordine ederek apron, terminal ve pist arasındaki trafiği düzenler. Havalimanı trafik kontrol hizmetleri, kule (TWR - Tower Control), yer kontrol (GND - Ground Control) ve yaklaşma kontrol (APP - Approach Control) olmak üzere üç ana kategoriye ayrılmaktadır. Kule kontrol hizmetleri, pist ve taksi yollarındaki tüm hareketleri yöneterek uçakların iniş ve kalkış sırasını belirler ve hava sahasında minimum mesafelerin korunmasını sağlar. Yer kontrol hizmetleri, apron ve taksi yollarındaki uçakların terminalden piste güvenli bir şekilde ulaşmasını sağlarken, taksi yollarındaki yoğunluğu azaltarak rotaları optimize etmektedir. Yaklaşma kontrol hizmetleri ise havalimanına yaklaşan uçakları güvenli iniş için sıraya koyarak pist trafiğini düzenler, iniş ve kalkış işlemlerini senkronize eder ve hava sahasındaki uçaklar arasındaki çakışmaları önlemek için uçuş seviyelerini ayarlar. Bu hizmetlerin etkin yönetimi, taksi yollarındaki operasyonların verimli işlenmesini doğrudan etkileyerek yakıt tasarrufu, karbon emisyonlarının azaltılması ve hava trafiğinin hızlandırılması gibi faydalar sağlamaktadır (ICAO, 2021).

2.3.3. Taksi yolu yönetimi ve hava trafik kontrolörlerinin rolü

Taksi yolları, uçakların pist ve apron arasındaki hareketlerini sağladığından, hava trafik kontrolörleri için en önemli yer operasyonlarından birini oluşturmaktadır. Yoğun havalimanlarında taksi yolu trafiğini yönetmek büyük bir dikkat gerektirmekte olup, bu süreçte yapılan hatalar uçak çarpışmalarına, gecikmelere ve operasyonel verimsizliklere yol açabilmektedir (FAA, 2020). Hava trafik kontrolörleri, taksi yollarındaki trafiği optimize edebilmek için pilotlara taksi talimatlarını radyo frekansları aracılığıyla iletmede, havacılık ışık sistemleriyle taksi yollarının yönlendirilmesini sağlamakta ve öncelikli uçuşları belirleyerek taksi yollarındaki yoğunluğu dengelemektedir. Büyük havalimanlarında, taksi yollarında gecikmeleri ve sıkışıklığı azaltmak için radar destekli hareket yönetim sistemleri (Advanced Surface Movement Guidance and Control System- A-SMGCS) kullanılmaktadır. Bu sistemler, yüzey hareketlerini detaylı bir şekilde analiz ederek uçak taksi rotalarının optimize edilmesine yardımcı olmaktadır (Jiang & Hao, 2024).

2.3.4. Hava trafik kontrolü ve güvenlik

Hava trafik kontrol hizmetleri, uçuş güvenliğinin en temel unsurlarından biridir. Taksi yollarında çarpışmaların önlenmesi ve pist ihlallerinin azaltılması, hava trafik kontrol hizmetlerinin doğrudan sorumluluğundadır. Hava trafik güvenliğini artırmak için kullanılan modern teknolojiler arasında Pist İhlali Uyarı Sistemleri (Runway Incursion Prevention Systems - RIPS), Yer Tabanlı Radar Sistemleri (Surface Movement Radar-SMR), Otomatik Bağımlı Gözetim- Yayın (ADS-B) sistemleri ve sesli ve görsel hava trafik uyarı sistemleri bulunmaktadır. Bu sistemlerin kullanımı, havalimanlarında operasyonel verimliliği artırırken çarpışma risklerini minimuma indirerek uçuş güvenliğini maksimum seviyeye çıkarmaktadır (Yin, 2022). Hava trafik yönetiminde kullanılan bu sistemler, taksi yollarındaki operasyonel süreçleri hızlandırarak uçuş gecikmelerini azaltmakta ve hava trafiğinin daha güvenli bir şekilde yönetilmesini sağlamaktadır.

2.4. Beton Kaplama

Havalimanlarında pist, apron ve taksi yollarının yapımında kullanılan malzeme seçimi, operasyonel verimlilik, uzun ömürlülük, bakım gereksinimleri ve güvenlik açısından büyük önem taşımaktadır. Beton kaplama, Portland çimentosu, agrega, su ve kimyasal katkıların homojen karışımından oluşan rijit kaplama sistemi olup, geleneksel asfalt kaplama sistemleriyle karşılaştırıldığında yüksek dayanıklılığı, düşük bakım maliyetleri ve uzun ömürlü performansı nedeniyle giderek daha fazla tercih edilmektedir (Sun ve ark., 2024).

Havalimanı taksi yollarında kullanılan yüzey kaplamalarının yüksek ağırlığa ve yoğun kullanıma dayanıklı olması gerekmektedir. Bu nedenle, beton kaplama taksi yollarında kullanılan en yaygın rijit kaplama türlerinden biri olarak öne çıkmaktadır (Packard, 1973). Bu bölümde, beton kaplamanın özellikleri, avantajları, ekonomik performansı ve havalimanı uygulamaları ele alınacaktır.

Havaalanı rijit kaplamaları, yapısal olarak donatısız ve donatılı olmak üzere iki temel kategoriye ayrılır. Pist ve apronlarda en yaygın kullanılan tasarım, betonun yük taşıma kuvvetini kalınlığı ve eğilme dayanımıyla sağladığı Donatısız Beton Kaplamadır (PCC/NC). Bu yaklaşımda yapısal kapasiteyi artırmaya yönelik çelik donatı çubuğu kullanılmaz. Plakalar, termal hareketleri kontrol etmek amacıyla kısa aralıklarla

derzlenir ve bu derzlerde sadece yük aktarımını sağlamak için dowel ve tie barlar kullanılır (Federal Aviation Administration [FAA], Advisory Circular [AC] 150/5320-17A). Buna karşın, Donatılı Beton Kaplamalar (RC), çelik hasır veya çubuk donatıyı slab içine yerleştirir; donatının temel amacı yapısal güçlendirmeden çok büzülme ve sıcaklık çatlaklarının kontrolüdür. Sürekli Donatılı Beton Kaplamalar (CRCP) ise (örneğin Narita Uluslararası Havaalanı), uzunlamasına çelik donatıyı sürekli kullanarak enine derz ihtiyacını ortadan kaldırır. Ancak akademik ve teknik kılavuzlar, havaalanı kaplamalarının büyük çoğunluğunun donatısız beton olduğunu vurgulamaktadır (FAA, AC 150/5320-17A; Design and Construction of Airport Concrete Pavement in JAPAN).

2.4.1. Beton kaplama ve asfalt kaplama karşılaştırması

Beton kaplama ve geleneksel asfalt kaplama arasında yapısal ve performans açısından önemli farklılıklar bulunmaktadır. Asfalt kaplama, genellikle bitümlü malzemeler ile agregaların karıştırılması sonucu elde edilir ve esnek yapısı nedeniyle trafik yüküne bağlı olarak zamanla deformasyona uğrayabilir (Tamagusko, 2020). Bu deformasyon, özellikle ağır uçakların tekerlek yüklerinden kaynaklanan dalgalanma ve çatlak oluşumu gibi yüzey problemlerine neden olmaktadır.

Beton kaplama ise Portland çimentosu bağlayıcı kullanılarak oluşturulan ve daha sert, dayanıklı ve uzun ömürlü bir rijit kaplama türüdür. Yüksek basınç dayanımı sayesinde ağır yük taşıyan uçaklar için daha stabil bir yüzey sağlayarak uzun vadeli performans avantajları sunar (Sun ve ark., 2024). Karşılaştırmalı olarak incelendiğinde, beton kaplamanın asfalt kaplamaya kıyasla daha yüksek basınç dayanımına sahip olduğu, ağır uçak yüklerine karşı daha dirençli olduğu ve daha az deformasyona uğradığı görülmektedir.

2.4.2. Beton kaplamanın teknik özellikleri

Beton kaplamanın mühendislik özellikleri, sertlik, basınç dayanımı, sıcaklık toleransı ve çatlama direnci gibi faktörlere bağlıdır. Uluslararası standartlara göre, havalimanlarında kullanılan beton kaplamanın yüksek mukavemet gereksinimlerini karşılaması gerekmektedir (Douglas & Lawson, 2003). Beton kaplama, asfalt kaplama sistemlerine kıyasla daha yüksek yoğunluğa sahip olup, ağır yük taşıyan uçakların yüzeyde deformasyona neden olmasını önlemektedir.

Beton kaplamanın en önemli teknik avantajlarından biri yüksek sıcaklık dayanımıdır. Asfalt kaplamalar, yüksek sıcaklıklarda yumuşayarak dalgalanma ve tekerlek izi oluşumu gibi deformasyonlara yol açabilirken, beton kaplama bu tür bozulmalara karşı oldukça dirençlidir (Weil, 1998).

2.4.3. Beton kaplamanın ekonomik ve çevresel avantajları

Beton kaplama, ilk yapım maliyeti yüksek olmasına rağmen, uzun vadede bakım ve onarım gereksinimlerinin daha düşük olması nedeniyle toplam sahip olma maliyeti açısından avantajlı bir seçenektir. Yapılan yaşam döngüsü maliyet analizi çalışmalarına göre, beton kaplama sistemlerinin ekonomik avantajları uzun vadede belirgin hale gelmektedir (Babashamsi ve ark., 2022).

Çevresel açıdan değerlendirildiğinde, beton kaplama daha düşük karbon emisyonuna neden olmaktadır. Daha az deformasyona uğradığı için uçakların yerde yakıt tüketimini azaltarak CO₂ emisyonlarını düşürmektedir. Ayrıca, beton kaplamanın geri dönüştürülebilir olması çevresel sürdürülebilirlik açısından önemli bir avantajdır (Douglas & Lawson, 2003).

2.4.4. Havalimanı taksi yollarında beton kaplama uygulamaları

Beton kaplama, yüksek mukavemetli yapısı ve uzun ömürlü performansı nedeniyle havalimanı taksi yollarında yaygın olarak tercih edilmektedir. Bu alandaki başarılı uygulamalar arasında Münih Havalimanı'nın beton kaplama kullanımı öne çıkmaktadır. Springenschmid ve arkadaşları (2001), Münih Havalimanı'nda uygulanan iki katmanlı, donatısız beton kaplama sisteminin mükemmel performans gösterdiğini ve yıllık 20 milyon yolcu trafiğine dayanabildiğini belirtmişlerdir.

Heathrow Havalimanı da beton kaplama teknolojisinin erken dönem öncü uygulamalarından biridir. Graham ve Martin (1946), modern nakliye uçakları için yüksek kaliteli beton kaplama inşasının teknik detaylarını belgelendirmiştir.



Şekil 2.11. Havalimanı pist ve taksi yolu beton kaplama uygulaması (www.ccaa.com.au,2024)

2.4.5. Beton kaplamanın uzun vadeli ekonomik performansı

Beton kaplama, ilk yapım maliyeti yüksek olmasına rağmen, uzun vadeli bakım ve yenileme gereksinimleri açısından ekonomik avantajlar sunmaktadır. Babashamsi ve arkadaşları (2022) tarafından yapılan kapsamlı çalışmada, havalimanı kaplama sistemlerinde dolaylı maliyetlerin (yakıt, mürettebat, yolcu gecikme maliyetleri) toplam maliyetlerin %20'sine kadar çıkabileceği ve beton kaplamanın bu konuda avantajlı olduğu gösterilmiştir.

Nur (2022) tarafından gerçekleştirilen yaşam döngüsü maliyet analizi çalışmasında, asfalt kaplamaların %12,4-14,93 daha düşük başlangıç maliyetine sahip olmasına rağmen, rijit beton kaplamaların uzun vadede daha maliyet etkin olduğu sonucuna varılmıştır.

2.4.6. Beton kaplamanın güvenlik ve bakım sürelerine etkisi

Beton kaplama, daha az çatlama ve deformasyon gösterdiği için taksi yollarındaki güvenlik seviyesini artırmaktadır. Daha az bakım gerektirdiği için uçuş operasyonlarında kesintileri en aza indirmektedir (Orabi & Shatila, 2025). Güvenlik avantajları arasında yüksek sürtünme katsayısı, düzgün yüzey profili, su drenajında etkinlik ve yüksek görünürlük yer almaktadır.

2.4.7. PCN 110 R/C/W/T tasarım kriterleri

Tokat Havalimanı'nda pist ve taksiyolunda kullanılan PCN 110 sistemi, Pavement Classification Number 110 standardını ifade ederek taksi yolunun taşıyabileceği uçak

kategorisini belirler. Bu seviye, orta ve büyük ölçekli ticari uçakların güvenli operasyon yapabileceği kapasiteyi ifade eder. R (Rigid) rijit kaplama sistemini, C (Subgrade Category) CBR değeri 6-9 arasındaki zemin koşullarını, W (Tire Pressure) sınırsız lastik basıncı kategorisini ve T (Technical) teknik değerlendirme yöntemiyle belirlenen PCN değerini göstermektedir. PCN 110 seviyesindeki beton kaplama, minimum 35 MPa basınç dayanımına sahip olmalıdır. Kaplama kalınlığı, zemin koşulları ve trafik yüküne bağlı olarak değişebilir. Karimi Pour (2023) tarafından yapılan kapsamlı çalışmada, rijit beton havalimanı pistlerinin termal davranışı ve yapısal özelliklerinin operasyonel güvenlik açısından kritik önem taşıdığı belirtilmektedir. Rijit kaplama sisteminin en önemli avantajlarından biri, uzun vadeli yapısal bütünlüğünü korumasıdır. Muslim ve arkadaşları (2023) tarafından yapılan Michigan vaka çalışmasında, uygun tasarlanmış uzun ömürlü beton kaplamaların 30-50 yıl boyunca minimum bakım gerektirerek hizmet verebileceği tespit edilmiştir.

2.5. Fayda-Maliyet Analizi (FMA) ve Havalimanı Projelerindeki Uygulamaları

Fayda-Maliyet Analizi (FMA), altyapı projeleri ve kamu yatırımlarının ekonomik değerlendirilmesinde kullanılan önemli yöntemlerden biridir. Bir yatırımın ekonomik açıdan uygulanabilir olup olmadığını ölçmek için maliyetler ve elde edilecek faydalar nicel olarak hesaplanmaktadır (Boardman, Greenberg, Vining, & Weimer, 2017). Havacılık sektöründe, havalimanlarının altyapı yatırımlarının etkinliği yalnızca yatırım maliyetleriyle değil, sağladıkları operasyonel, ekonomik ve çevresel faydalarla da ölçülmektedir. Bu nedenle, taksi yolları gibi havaalanı altyapı projeleri değerlendirilirken, uçakların yerde geçirdiği sürenin azalması, yakıt tasarrufu, emisyon düşüşleri ve hava trafiği yönetiminin etkinliği gibi unsurlar dikkate alınmalıdır.

2.5.1. FMA'nın tanımı ve uygulama alanları

Fayda-Maliyet Analizi, altyapı yatırımlarının ekonomik verimliliğini değerlendirmek için kullanılan temel yöntemlerden biridir. FMA, projelerin sağlayacağı ekonomik ve toplumsal faydaların, maliyetlerden fazla olup olmadığını belirlemeye yardımcı olur (Mishan & Quah, 2020). Altyapı yatırımları için yapılan bu analiz, yatırım getirilerinin zaman içinde nasıl şekilleneceğini ölçerek, karar vericilere objektif bir değerlendirme sunmaktadır. Özellikle ulaşım projelerinde, FMA kamu kaynaklarının en verimli şekilde kullanılmasına olanak tanımaktadır. Havacılık sektöründe, FMA

yalnızca yatırım maliyetlerini değerlendirmekle kalmaz, aynı zamanda operasyonel verimlilik, çevresel sürdürülebilirlik ve yolcu memnuniyeti gibi çok yönlü etkileri de dikkate alır (Pearce, 2018). Bu nedenle, havaalanı altyapı projeleri kapsamında gerçekleştirilen fayda-maliyet analizleri, sadece maliyetlerin karşılanabilir olması için değil, bu yatırımların uzun vadeli etkilerini de ölçmeyi amaçlamaktadır.

2.5.2. Ulaşım projelerinde FMA kullanımı

Ulaşım projeleri, yüksek maliyetli ve uzun vadeli yatırımlar gerektirdiğinden, Fayda-Maliyet Analizi bu alanda en yaygın kullanılan değerlendirme yöntemlerinden biri haline gelmiştir. Havayolu taşımacılığı sektöründe, altyapı yatırımlarının ekonomik geri dönüşü, zaman tasarrufu, yakıt tüketiminin azalması, karbon emisyonlarının düşmesi ve yolcu konforunun artması gibi çok yönlü faydalarla ölçülmektedir (Button, 2010). Örneğin, havaalanı taksi yollarının iyileştirilmesi, uçakların yerde geçirdiği süreyi kısaltarak yakıt tüketimini ve karbon salınımını azaltmakta, dolayısıyla havayolları için operasyonel maliyetleri düşürmektedir (Gwilliam, 2013). Bunun yanı sıra, havaalanı trafiğinin daha akıcı hale gelmesi, kapasite artışı sağlayarak havalimanlarının daha fazla uçuşu güvenli şekilde yönetmesine olanak tanımaktadır.

2.5.3. FMA’da kullanılan ölçütler

Fayda maliyet analizinde üç temel finansal gösterge kullanılmaktadır. Net Bugünkü Değer (NBD- Net Present Value, NPV), projenin gelecekte sağlayacağı ekonomik faydaların bugünkü değerini belirler. NBD’nin pozitif olması, yatırımın ekonomik olarak uygulanabilir olduğunu gösterir (Boardman ve ark., 2017). İç Verim Oranı (IVR - Internal Rate of Return, IRR), projenin yatırım maliyetlerini karşılamak için gerekli olan minimum getiri oranını ifade eder. IVR’nin alternatif yatırım seçeneklerinden yüksek olması, projenin ekonomik olarak avantajlı olduğunu gösterir (Mishan & Quah, 2020). Fayda-Maliyet Oranı (FMO- Benefit-Cost Ratio, BCR), projenin toplam faydalarının toplam maliyetlere oranını gösterir. FMO’nun 1’den büyük olması, yatırımın ekonomik açıdan avantajlı olduğunu gösterir (Pearce, 2018). Bu ölçütler, özellikle havaalanı altyapı projelerinin uzun vadeli ekonomik sürdürülebilirliğini değerlendirmek açısından kritik öneme sahiptir.

2.5.4. Kamu yatırımlarında FMA'nın önemi

Kamu yatırımlarında, sınırlı bütçe kaynaklarının en verimli şekilde kullanılması gerektiğinden, havaalanı projeleri gibi büyük altyapı yatırımları öncelikli olarak değerlendirilmelidir (Gwilliam, 2013). Havaalanı projelerinde yapılan FMA, karar vericilere projelerin ekonomik, çevresel ve sosyal etkilerini karşılaştırma imkânı sunarak, en verimli yatırımların seçilmesine olanak tanımaktadır. Devlet destekli ulaştırma projelerinde, fayda-maliyet analizlerinin titizlikle uygulanması, projelerin ekonomik sürdürülebilirliğini sağlamak açısından kritik öneme sahiptir (Boardman ve ark., 2017).

2.5.5. Havalimanlarındaki bütün fayda kalemleri

Havaalanı projeleri için yapılan Fayda-Maliyet Analizlerinde dikkate alınan temel fayda kalemleri operasyonel, ekonomik, çevresel ve güvenlik açısından dört temel kategoriye ayrılmaktadır. Operasyonel faydalar kapsamında, taksi sürelerinin azalması, hava trafik verimliliğinin artışı ve uçakların yerde bekleme sürelerinin minimize edilmesi değerlendirilmektedir. Ekonomik faydalar açısından, yakıt tüketiminin azalması, havayolları için operasyonel maliyetlerin düşmesi ve havalimanı gelirlerinin artması öne çıkmaktadır. Çevresel faydalar kapsamında ise karbon emisyonlarının düşmesi, gürültü seviyelerinin azalması ve enerji tüketiminin optimize edilmesi gibi unsurlar incelenmektedir. Güvenlik açısından, taksi yollarında uçak çarpışmalarının önlenmesi, hava trafik yönetiminin etkinliğinin artırılması ve pist-taksi yolu kullanımının daha güvenli hale getirilmesi gibi kriterler göz önünde bulundurulmaktadır. Bu fayda kalemleri, havaalanı projelerinin ekonomik, çevresel ve operasyonel sürdürülebilirliğini artırmak için FMA sürecinde detaylı şekilde analiz edilmektedir (Pearce, 2018).

2.6. Tokat Havalimanı

Tokat Havalimanı, Türkiye'nin Orta Karadeniz Bölgesi'nde yer alan ve Tokat iline hava ulaşımı sağlayan önemli bir altyapı tesisidir. 1995 yılında hizmete giren ve 2017 yılında ticari trafik uçuşuna kapatılan Tokat Havalimanı 2018 yılında bulunduğu yerin kuzeydoğusunda yeni havalimanına inşasına başlanmış ve 2022 yılında modernize edilmiş yeni havalimanı açılmıştır. (DHMİ, 2022).

Yeni yapılan Tokat Havalimanı, bölgesel hava taşımacılığının güçlendirilmesi, yerel

ekonominin desteklenmesi ve ulaşım imkanlarının geliştirilmesi açısından stratejik bir öneme sahiptir. Havalimanının taksi yolu kapasitesi ve mevcut altyapısı, bölgenin yolcu ve uçuş trafiğini karşılamaktadır. Ancak trafik ve yolcu sayısı artması durumunda ilave bir taksi yolu gerekebilir. Şekil 2.12.'de Tokat Havalimanı gösterilmiştir.



Şekil 2.12 Tokat Havalimanı (www.dhmi.gov.tr,2022)

2.6.1. Tokat Havalimanı'nın konumu ve bölgesel önemi

Tokat Havalimanı, Tokat il merkezine yaklaşık 20 kilometre mesafede yer almakta olup, Karadeniz Bölgesi'nin iç kesimlerinde bulunan şehirlerin hava ulaşımı ihtiyacını karşılayan stratejik bir konumda bulunmaktadır. Samsun, Amasya ve Sivas gibi büyük şehirlerin hava trafiğine destek sağlayabilecek bir lokasyona sahip olması, havalimanının bölgesel ulaşım açısından önemini artırmaktadır. Tokat Havalimanı, Türk Hava Yolları ve özel havayolu firmaları tarafından gerçekleştirilen tarifeli ve tarifesiz seferlerle İstanbul, Ankara gibi ulusal bölgelerinin yanı sıra Cidde, Medine ve Avrupa gibi uluslararası yerlere doğrudan bağlantı sağlamaktadır (DHMİ, 2022). Bölgenin hava ulaşım altyapısına katkı sunan bu bağlantılar hem yolcu taşımacılığı hem de ticari faaliyetlerin gelişimi açısından kritik bir rol oynamaktadır.

Ekonomik ve ticari gelişime olan katkısı da Tokat Havalimanı'nın önemini artıran bir diğer faktördür. Bölgedeki tarım, sanayi ve ticaret sektörlerinin hızlı ulaşım imkânına kavuşması, yatırım olanaklarını artırarak yerel işletmelerin büyümesini desteklemektedir. Aynı zamanda, Tokat ve çevresindeki turizm hareketliliğine katkı sağlayan havalimanı, şehrin zengin tarihi mirası ve doğal güzelliklerini keşfetmek isteyen ziyaretçiler için ulaşımı kolaylaştırmaktadır. İstanbul'da yaşayan Tokatlı

sayısının fazlalığı (TUİK,2024), umre ve hac ibadetleri için Arabistan’a direk Tokat’tan tek vasıta ile ulaşım Tokat Havalimanı’nın gerekliliğini göstermektedir. Ulaşım olanaklarının iyileştirilmesi, turizm sektörünün gelişimini hızlandırarak bölgesel ekonominin büyümesine doğrudan katkı sunmaktadır.

2.6.2. Tokat Havalimanı altyapısı ve teknik özellikleri

Tokat Havalimanı, modern altyapısıyla hem yolcu hem de kargo taşımacılığına uygun olarak tasarlanmış ve yenilenen teknik donanımı ile uluslararası standartlara uygun hale getirilmiştir. Yüklenici firma tarafından yürütülen inşaat çalışmaları kapsamında, 2700 metre uzunluğunda ve 45 metre genişliğinde donatısız beton bir pist inşa edilerek orta ve büyük ölçekli yolcu uçaklarının güvenli bir şekilde iniş ve kalkış yapmasına olanak sağlanmıştır (Sera Grup, 2022). Bu pist, havalimanının operasyonel kapasitesini artırarak hava trafiğini daha verimli hale getirmektedir.

Havalimanının mevcut taksi yolu 265 metre uzunluğunda olup, apron ve terminal arasındaki uçak hareketlerini desteklemek için inşa edilmiştir. Apron kapasitesi ise toplam 29.000 metrekarelik bir alan üzerine inşa edilmiş olup, aynı anda yedi uçağın park edebileceği şekilde planlanmıştır. Güvenlik altyapısı açısından bakıldığında, 53.200 metrekare çevreyolu, 10.400 metre uzunluğunda güvenlik duvarı ve 19 adet nöbetçi kulübesi ile havalimanı güvenliği artırılmıştır. Ayrıca, hava seyrüsefer sistemleri için inşa edilen VOR (VHF Omni-directional Range) ve regülatör binaları, modern hava trafik yönetimi sistemleriyle entegre edilerek uçuş güvenliğini en üst düzeye çıkarmaktadır (Sera Grup, 2022). Şekil 2.13.’te Tokat Havalimanı’nın uydu görüntüsü gösterilmiştir.



Şekil 2.13. Tokat Havalimanı uydu görüntüsü (www.google.com,2025)

Mevcut altyapı, Tokat Havalimanı'nın artan yolcu kapasitesini destekleyecek şekilde genişletilmiş olmasına rağmen, tek taksi yolunun olmasının, trafik sayısı arttığında veya deprem gibi acil durumlarda operasyonel verimliliği olumsuz etkileyen bir faktör olacağı öngörülmüştür. Pist üzerindeki uçak hareketlerinin düzenlenmesi, taksi sürelerinin optimize edilmesi ve operasyonel gecikmelerin önüne geçilmesi için ek bir taksi yolunun inşa edilmesinin gerekliliği bu çalışmada incelenecektir.

2.6.3. Tokat Havalimanındaki mevcut pist ve taksi yolu kaplaması

Tokat Havalimanı'nda mevcut pist ve taksi yollarında PCN 110 R/C/W/T standardında beton kaplama sistemi kullanılmaktadır. Bu kaplama sistemi, bölgesel hava trafiğinin gereksinimlerine uygun olarak tasarlanmış olup, orta ve büyük ölçekli ticari uçakların güvenle operasyon yapabileceği kapasiteye sahiptir. Mevcut kaplamanın teknik özellikleri ve performans durumu, ilave taksi yolu projesinin planlama sürecinde referans alınacaktır.

2.6.4. Tokat Havalimanı taksi yolu ihtiyacı ve operasyonel verimlilik

Havalimanlarında uçakların pist, apron, hangarlar veya diğer tesislerin birbiri arasındaki ulaşımı sağlamak amaçlı taksi yolları inşa edilmektedir. Tokat Havalimanı'nda mevcut taksi yollarının sınırlı olması, aynı anda birden çok uçak geldiğinde bekleme sürelerinin artmasına yol açarak operasyonel verimliliği olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Aynı anda birden fazla uçak iniş ve kalkış için geldiğinde pistte bekleme sürelerinin uzaması, hava trafik akışında aksamalara neden olmakta ve uçakların kalkış ve iniş işlemlerini geciktirebilmektedir. İlave bir taksi yolu yapımı, uçakların pist üzerindeki hareket süresini azaltarak operasyonel süreçleri daha verimli hale getirecektir. Yeni taksi yolu sayesinde, uçakların yerde harcadıkları zaman optimize edilerek, havayollarının yakıt maliyetleri düşürülecek ve pist kullanım süresi artırılabilecektir.

Operasyonel açıdan bakıldığında, taksi yollarındaki iyileştirmeler hava trafik yönetimini kolaylaştırarak pist kullanım verimliliğini artıracaktır. Pist üzerindeki hareketlerin düzenlenmesi, uçuş güvenliğini artırarak olası pist ihlalleri ve çakışmaların önüne geçilmesini sağlayacaktır. Daha iyi organize edilmiş taksi yolları, uçakların yerde daha hızlı hareket etmesine imkân tanırken, yakıt tüketimi ve karbon emisyonlarının da düşmesine katkı sunacaktır. Uçakların yerde gereksiz süre geçirmesi sonucu ortaya çıkan çevresel etkiler azaltılarak sürdürülebilir bir hava ulaşımı modeli benimsenmiş

olacaktır. Bu bağlamda, Tokat Havalimanı'nda planlanan ek taksi yolu projesinin hayata geçirilmesi hem ekonomik hem de çevresel açıdan büyük faydalar sağlayacak bir yatırım olarak öne çıkmaktadır.

2.6.5. Tokat Havalimanı'nın gelecekteki gelişim potansiyeli

Tokat Havalimanı'nın uzun vadeli gelişim planları, bölgesel hava trafiğinin artması ve yolcu kapasitesinin genişletilmesi hedefleri doğrultusunda şekillenmektedir. Gelecekte, uluslararası uçuş kapasitesinin artırılması, bölgesel bağlantıların güçlendirilmesi ve havalimanı altyapısının daha modern hale getirilmesi planlanmaktadır. Uçuş rotalarının genişletilmesi ve yeni destinasyonların eklenmesi, Tokat Havalimanı'nın daha geniş bir yolcu kitlesine hizmet vermesini sağlayacaktır.

Gelecekteki büyüme stratejileri arasında taksi yollarının ve apron kapasitesinin genişletilmesi yer almaktadır. Hava trafiğinin artmasına paralel olarak, apron alanlarının genişletilmesi ve yeni taksi yollarının inşa edilmesi operasyonel süreçlerin daha etkin yönetilmesini sağlayacaktır. Bunun yanı sıra, kargo taşımacılığı altyapısının güçlendirilmesi hedeflenmekte olup, bölgesel lojistik ve ticaretin gelişimi için hava kargo operasyonlarına yönelik yeni tesislerin inşa edilmesi planlanmaktadır. Ayrıca, havalimanı çevresindeki ulaşım ağlarının geliştirilmesi ile şehir içi ve bölgesel bağlantıların güçlendirilmesi hedeflenmektedir.

Bu projelerin hayata geçirilmesi, Tokat Havalimanı'nın bölgesel bir hava ulaşım merkezi haline gelmesini sağlayarak, ekonomik büyümeye ve ticari hareketliliğe önemli katkılar sunacaktır. Artan uçuş trafiği ve gelişen altyapı sayesinde Tokat Havalimanı, gelecekte daha geniş bir yolcu ve kargo kapasitesine sahip bir ulaşım merkezi olma potansiyelini taşımaktadır.

3. MATERYAL YÖNTEM

3.1. Havalimanlarında Beton Kaplama Taksi Yolu Yapımı

Havalimanlarında taksi yolları, uçakların iniş ve kalkış pistlerinden apron alanına güvenli bir şekilde ulaşmasını sağlayan kritik altyapı bileşenleridir. Bu yolların inşasında kullanılan malzemeler, uçakların ağırlığını taşıyabilecek mukavemette ve uzun ömürlü olacak şekilde seçilmelidir. Beton kaplama, yüksek taşıma kapasitesi ve dayanıklılığı nedeniyle havalimanı taksi yollarında sıkça tercih edilen rijit kaplama malzemesidir (Sun ve ark., 2024). PCN 110 R/C/W/T standardında tasarlanan beton kaplama taksi yolları, uluslararası havacılık standartlarına uygun olarak inşa edilmelidir. Bu sistemler, yüksek mukavemetli Portland çimentosu, kaliteli agrega ve uygun katkı maddelerinin kombinasyonuyla oluşturulur.

3.1.1. Altyapı ve üstyapı

Havalimanlarında beton kaplama taksi yolları inşa edilirken, altyapı ve üstyapı bileşenleri belirli mühendislik standartlarına uygun olarak tasarlanır. Altyapı bileşenleri zemin stabilizasyonu ve iyileştirmesi, drenaj sistemleri ve agrega temel tabakalarını içermektedir. Üstyapı bileşenleri ise yüksek mukavemetli Portland çimentosu, kaliteli agrega malzemesi ve gerektiğinde çelik hasır veya fiber takviyeyi kapsamaktadır (Packard, 1973).

3.1.2. Maliyet analizi ve uzun vadeli ekonomik performans

Beton kaplama taksi yollarının ekonomik analizi hem doğrudan maliyetleri hem de dolaylı operasyonel maliyetleri içermelidir. Babashamsi ve arkadaşları (2022) tarafından yapılan çalışmada, koruyucu bakımın bir yıl ertelenmesinin yaşam döngüsü maliyetini %16 artırdığı ve koruyucu bakımın %50'ye kadar maliyet artışına neden olabileceği tespit edilmiştir.

3.1.3. Güvenlik ve bakımı

Beton kaplamanın güvenlik açısından avantajları arasında tahribatsız (nondestructive) test yöntemleriyle izlenebilirlik önemli bir yer tutmaktadır. Weil (1998), havalimanı beton yapılarında pist, taksi yolları ve diğer yapıların bütünlük ve güvenlik testlerinin önemini vurgulamıştır.

3.2. Tokat Havalimanı Trafik Senaryoları

Tokat Havalimanı, Orta Karadeniz Bölgesi'nde yer alan önemli bir havalimanıdır. Havalimanının hava trafik operasyonları, mevcut pist ve taksi yolu altyapısına, hava trafiği hacmine ve mevsimsel koşullara bağlı olarak değişmektedir. Taksi yolu kapasitesi, uçak hareketleri, apron kullanımı ve hava trafik yönetimi, Tokat Havalimanı'nın operasyonel verimliliğini belirleyen en önemli unsurlardır. Bu bağlamda, hava trafik senaryolarının oluşturulması, ilave taksi yolu projesinin mevcut ve gelecekteki operasyonlara olan etkisini değerlendirmek açısından kritik öneme sahiptir.

Trafik senaryoları belirlenirken hava trafik kontrolörleri tarafından yönetilen operasyonların çeşitleri, uçak hareket yoğunluğu, hava şartlarına bağlı değişiklikler, taksi süreleri ve hava sahası kapasitesi dikkate alınmalıdır. Tokat Havalimanı'ndaki mevcut operasyonel süreçler, uçakların iniş, kalkış ve taksi işlemleri sırasında karşılaştıkları bekleme sürelerini analiz etmek için önemli bir referans noktası oluşturmaktadır. Bu süreçler, hava trafik kontrol (ATC) yönetimi, uçuş emniyeti ve operasyonel zamanlama açısından detaylı olarak ele alınmalıdır.

3.2.1. Trafik senaryolarının belirlenmesi

Hava trafik senaryoları, mevcut uçuş hareketleri ve tahmini hava trafiği artışına bağlı olarak belirlenmelidir. Tokat Havalimanı'nda, trafik hacmine bağlı olarak farklı operasyonel senaryolar oluşturulabilir. Mevcut durum senaryosu, günümüz operasyonlarında uçakların taksi süreleri, bekleme süresi, apron doluluk oranları ve iniş-kalkış sıklıklarını analiz ederek mevcut kapasitenin etkinliğini değerlendirir. Yoğun trafik senaryosu ise mevcut uçuş hacminin belirli oranlarda artması durumunda hava sahası ve taksi yollarının nasıl etkileneceğini simüle ederek, sistemin kapasite sınırlarını ölçmeyi amaçlar. İlave taksi yolu senaryosu kapsamında, yeni bir taksi yolunun operasyonel etkileri değerlendirilerek, uçakların taksi sürelerinde meydana gelecek değişimler, yakıt tasarrufu ve emisyon azalımı gibi kazanımlar hesaplanır. Bunun yanı sıra, mevsimsel senaryo, özellikle kış aylarında ve kötü hava koşullarında taksi operasyonlarının nasıl etkilendiğini değerlendirilerek, buzlanma ve düşük görüş mesafesi gibi faktörlerin hava trafik yönetimine nasıl yansıdığını analiz etmektedir. Tüm bu senaryolar, hava trafik akışına ve operasyonel verimliliğe olan etkileri ortaya koyarak,

ilave taksi yolunun potansiyel faydalarını değerlendirmek için temel bir analiz çerçevesi oluşturacaktır.

3.2.2. Hava trafik yönetimi ve taksi yolu kullanımı

Tokat Havalimanı'nda hava trafik yönetimi, uçakların yerdeki hareketlerini en verimli şekilde yönlendirmek ve uçuş operasyonlarını optimize etmek amacıyla yapılandırılmıştır. Tokat Havalimanı'nda tek taksi yolu olması nedeniyle, aynı anda uçakların gelmesi durumunda uçakların iniş-kalkış operasyonları sırasında taksi süreleri uzayabilmekte ve bazı durumlarda gecikmeler yaşanabilmektedir. Özellikle yoğun saatlerde apron alanında beklemeler meydana gelebilmekte, bu durum ise yakıt tüketimini artırarak operasyonel maliyetleri yükseltmektedir. Hava trafik yönetimi kapsamında, mevcut taksi yolu kapasitesi, uçakların apron ile pist arasındaki hareket süresi ve mevcut altyapının yeterliliği açısından değerlendirilmelidir. İlave bir taksi yolu inşa edilmesi durumunda, hava trafiğinin nasıl daha akıcı hale geleceği analiz edilerek operasyonel verimlilik ölçülebilir.

Bunun yanı sıra, uçuş hareketleri ve hava sahası düzeni, uçakların iniş ve kalkış sıralamalarının taksi yolu kullanımına etkisini belirlemede önemli bir faktördür. Hava trafik kontrol hizmetleri tarafından yapılan yönlendirmeler, taksi yollarındaki trafik akışını yöneterek gecikmeleri önlemek açısından kritik bir rol oynamaktadır. Bu süreçte, hava trafik yönetiminin daha etkin hale getirilebilmesi için belirli kontrol noktalarının güçlendirilmesi ve ileri seviye yüzey hareket yönetim sistemlerinin entegrasyonu değerlendirilmelidir. Hava trafik operasyonlarının optimizasyonu açısından bu parametrelerin incelenmesi, ilave taksi yolunun getireceği avantajların hesaplanmasını sağlayacak ve havaalanı operasyonlarının daha verimli yürütülmesine katkıda bulunacaktır.

3.2.3. Taksi süreleri ve operasyonel verimlilik

Taksi süreleri, havaalanındaki pist ve apron arasındaki mesafenin uzunluğu, hava trafiği yoğunluğu, hava şartları ve hava trafik kontrol yönlendirmelerine bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Tokat Havalimanı'nda mevcut taksi yolu kapasitesinin yeterliliği, uçakların yerde geçirdiği sürelerin analiz edilmesiyle değerlendirilebilir. Özellikle uçakların taksi süresi ve yerde harcadıkları yakıt miktarı, operasyonel maliyetleri doğrudan etkileyen kritik faktörler arasındadır. Taksi sürelerinin uzun olması

durumunda, hava yolları için yakıt maliyetleri artarken, havaalanının genel verimliliği de olumsuz etkilenmektedir.

Öte yandan, ilave bir taksi yolunun inşa edilmesiyle birlikte, uçakların yerde harcadığı sürenin kısaltılması operasyonel verimliliği artırarak hava trafiğinin daha etkin yönetilmesine katkı sağlayabilir. Taksi süresinin azaltılması, uçakların yerde daha az zaman harcayarak yakıt tüketimini düşürmesine ve emisyon seviyelerinin azalmasına yardımcı olacaktır. Aynı zamanda, havaalanındaki trafik akışının daha düzenli hale gelmesi, uçakların apron, pist ve terminal arasındaki hareketlerini hızlandırarak iniş ve kalkış sıklığını artıracaktır. Bu nedenle, Tokat Havalimanı'nda planlanan ek taksi yolu projesi hem ekonomik hem de çevresel faydalar sunarak havaalanı operasyonlarının daha verimli hale gelmesine olanak tanıyacaktır.

3.3. Fayda-Maliyet Analizinde Kullanılacak Kalemler

Tokat Havalimanı'nda önerilen ilave taksi yolu yapımının değerlendirilmesi için fayda-maliyet analizi (FMA) uygulanacaktır. Bu analiz, havalimanı operasyonlarında taksi yollarının ne derece önemli olduğunu ekonomik ve operasyonel açılardan irdeleyerek yatırımın uzun vadeli etkinliğini belirlemeye yardımcı olacaktır. Havaalanı projelerinde yapılan FMA çalışmaları, ilk yatırım maliyetleri, bakım ve işletme maliyetleri, çevresel etkiler, operasyonel kazançlar ve hava sahası kapasitesi üzerindeki etkiler gibi çeşitli değişkenleri kapsayarak projenin uygulanabilirliğini ortaya koymaktadır.

Bu bağlamda, ilave taksi yolunun maliyet unsurları ve getireceği operasyonel, ekonomik ve çevresel faydalar detaylı bir şekilde incelenecek ve yatırımın net getirisi ile geri dönüş süresi hesaplanacaktır. Fayda ve maliyet analizinde mevcut hava trafik yönetimi ile önerilen yeni altyapının operasyonlara etkisi karşılaştırılacak ve uzun vadeli sürdürülebilirlik açısından değerlendirmeler yapılacaktır.

3.3.1. Maliyet kalemleri

İlave taksi yolu yapımının toplam maliyeti; altyapı ve üstyapı inşaat maliyetleri, bakım giderleri, işletme maliyetleri, enerji ve güvenlik sistemleri gibi ek harcamalar üzerinden hesaplanmaktadır. Bu maliyetler, projenin uygulanabilirliğini belirlemede kritik bir rol oynayacaktır.

Altyapı ve üstyapı inşaat maliyetleri

Taksi yollarının inşasında, zemin stabilizasyonu, temel malzemeler, drenaj sistemleri, beton kaplamalar ve işaretlemeler gibi çeşitli unsurlar dikkate alınmaktadır. Zemin hazırlığı ve drenaj sistemleri, hava koşullarına dayanıklılığı artırarak pist yüzeyinin uzun ömürlü olmasını sağlar. Packard (1973) tarafından yayımlanan havalimanı beton kaplama tasarım rehberinde, beton kaplama kalınlığının taşıma kapasitesi ve iklim koşullarına bağlı olarak değişebileceği belirtilmektedir.

Bakım ve onarım giderleri

Havalimanı beton kaplamalarında bakım maliyetleri konusunda yapılan akademik araştırmalar, yıllık rutin bakım maliyetlerinin ilk yapım maliyetinin %1,0 ile %2,0'si arasında değiştiğini ve planlama amaçlı en yaygın kullanılan değerin %1,5 olduğunu göstermektedir (Federal Havacılık İdaresi, 2011). Beton havalimanı kaplamalarında küçük bakım operasyonları tipik olarak her 5 yılda bir planlanmakta ve maliyetleri orijinal kaplama yatırımının ortalama %3 ile %5'i arasında değişmektedir (White, 2024). Orta ölçekli bakım müdahaleleri yaklaşık olarak her 10 yılda bir gerçekleşmekte ve ilişkili maliyetleri ilk yapım yatırımının %8 ile %12'si arasında değişmektedir (Sun ve diğerleri, 2023). Beton havalimanı kaplamalarında büyük rehabilitasyon çalışmaları tipik olarak 15-20 yılda bir gerekli olmakta ve trafik hacmi ile çevresel koşullara bağlı olarak orijinal yapım maliyetinin %15 ile %25'i arasında değişen maliyetlere sahip olmaktadır (Uluslararası Sivil Havacılık Örgütü, 2022). Beton havalimanı kaplamalarının 30 yıllık dönem boyunca toplam yaşam döngüsü bakım maliyetleri tipik olarak ilk yapım maliyetinin %60 ile %80'ini temsil etmektedir ve bu değerler iklim koşulları, trafik yoğunluğu ve kaplama kalitesine göre değişiklik gösterebilmektedir (Orabi ve Shatila, 2024).

3.3.2. Fayda kalemleri

Yeni taksi yolu projesinin sağladığı faydalar hava trafik yönetimi, operasyonel verimlilik, ekonomik kazançlar, çevresel etkiler ve güvenlik avantajları açısından incelenmelidir.

Taksi sürelerinin azalması ve operasyonel verimlilik

Havalimanlarında uçakların yerde geçirdiği süre, uçak trafiği, mevcut taksi yolu

kapasitesi ve hava trafik yönetiminin etkinliğine bağlı olarak değişmektedir. Yeni bir taksi yolu, uçakların yerde bekleme süresini azaltarak operasyonel verimliliği artıracaktır.

Mevcut senaryolarda uçakların taksi sürelerinin uzun olması, operasyonların sıkışmasına ve uçakların kalkış-iniş sıklıklarının azalmasına neden olmaktadır. Yeni taksi yolunun devreye alınmasıyla birlikte, uçak hareketlerinin daha hızlı gerçekleşmesi sağlanarak havalimanının kapasitesi artırılabilir (Daniel, 2002).

Yakıt tasarrufu ve ekonomik getiri

Uçakların yerde fazla zaman geçirmesi yakıt tüketimini artıran en büyük faktörlerden biridir. Jet motorları, yerde uzun süre çalıştığında yakıt tüketimi artmakta ve havayolu şirketleri için ek maliyetler oluşturmaktadır. Yeni taksi yolu ile uçakların taksi süreleri azalacağından, yakıt tasarrufu sağlanacak ve havayollarının operasyonel maliyetleri düşecektir.

Bu kazanımlar, hava yolları için büyük ölçekli ekonomik avantajlar sağlarken, havalimanının rekabet gücünü de artıracaktır.

Çevresel sürdürülebilirlik ve emisyon azaltımı

Yeni taksi yolu sayesinde, uçakların yerde motor çalıştırma süreleri kısılacağı için CO₂ ve NO_x gibi emisyonlar azalacaktır. Bu, havalimanının çevresel ayak izini küçülterek sürdürülebilir havacılık politikalarına uyum sağlamasına yardımcı olacaktır.

Gelişmiş taksi yollarının, uçakların yerde daha düşük hızda ve daha az güçle hareket etmesini sağlaması nedeniyle karbon emisyonlarını azalttığı çeşitli akademik çalışmalarda gösterilmiştir (Ngwenya, 2020).

Güvenlik ve risk azaltımı

Taksi yollarındaki tıkanıklıklar, uçakların yerde fazla beklemesine neden olmakta ve operasyonel riskleri artırmaktadır. Mevcut durumda uçakların yerde beklemesi, pilotlar için stres yaratmakta ve çarpışma risklerini artırmaktadır. Yeni taksi yolu sayesinde, uçakların yerde daha düzenli hareket etmesi sağlanarak operasyonel güvenlik artırılacaktır (Gosling, 1993).

Yolcu zamanı ve kargo maliyetlerinden elde edilecek fayda

Havalimanı gecikmeleri ve yetersiz taksi yolu altyapısı, uçuş operasyonlarında zaman kayıplarına yol açarak hem yolcular hem de havayolu şirketleri için ciddi maliyetler yaratmaktadır. Yapılan akademik çalışmalar, havalimanı altyapısının iyileştirilmesiyle uçuş gecikmelerinin azalması ve hava trafiğinin daha düzenli hale getirilmesinin ekonomik avantajlarını açıkça ortaya koymaktadır (Ball ve ark., 2010; Wu, 2016).

Yeni bir taksi yolunun eklenmesiyle, uçakların yerde bekleme süreleri azalacak, dolayısıyla gecikmelerin azalmasıyla yolcu memnuniyeti artacak ve havayolu şirketleri operasyonlarını daha verimli hale getirecektir. Ayrıca, kargo taşımacılığı süreçleri de hızlanarak ekonomik kayıpların önüne geçilecektir.

Yolcu zaman tasarrufu ve ekonomik getirisi

Hava ulaşımı, hız avantajı sunarak yolculara büyük zaman tasarrufu sağlasa da, havalimanı içindeki gecikmeler bu avantajı olumsuz etkileyebilir. Uçuşların gecikmesi yolcuların toplam seyahat süresini artırır, bağlantılı uçuşları kaçırmalarına neden olabilir ve ekonomik kayıplara yol açabilir. Özellikle iş amaçlı seyahat eden yolcular için zaman kaybı, finansal açıdan önemli bir maliyet oluşturmaktadır (Cohen & Coughlin, 2003).

Havayolu sektöründe yapılan analizler, ortalama bir yolcunun her gecikme dakikasının 0,72-0,92 Euro arasında bir ekonomik kayıp yarattığını göstermektedir (Westminster Üniversitesi, 2015). Örneğin, Tokat Havalimanı'nda bir uçuşun 5 dakika daha erken kalkış yapması, yüzlerce yolcu için toplamda binlerce dolar değerinde zaman tasarrufu anlamına gelebilir. Yeni taksi yolu sayesinde, uçakların yerde harcadığı sürenin azaltılması, yolcuların zaman maliyetini düşürecek ve genel hava ulaşımı verimliliğini artıracaktır.

Ayrıca, bağlantılı uçuşları olan yolcular için daha hızlı taksi süresi kritik bir faktördür. Yeni taksi yolu ile zamanında kalkış yapan uçuşlar, diğer havalimanlarındaki bağlantılı uçuşların kaçırılma ihtimalini düşürecek ve havayollarının bilet değişiklikleri veya tazminat ödemeleri gibi ekstra maliyetlerini azaltacaktır.

Havayolu şirketleri için operasyonel karlılık ve zamanında kalkışın ekonomik etkisi

Havayolları için uçuş gecikmeleri, sadece yolcu memnuniyetsizliği yaratmakla kalmaz,

aynı zamanda operasyonel maliyetleri de artırır. Zamanında kalkış yapan uçaklar, havayollarının uçak rotasyonunu daha verimli yönetmesini sağlar ve filo planlamasını optimize eder. Eğer bir uçak gecikmeli kalkarsa, bu durum zincirleme gecikmelere yol açabilir ve diğer uçuşların zamanında gerçekleşmesini zorlaştırabilir (Wu, 2016).

Birçok büyük havayolu şirketi, uçuş gecikmelerinden kaynaklanan operasyonel kayıpları en aza indirmek için çeşitli stratejiler geliştirmiştir. Örneğin, ABD Federal Havacılık İdaresi (FAA) tarafından yapılan bir çalışmaya göre, havayolu şirketleri için her bir dakikalık gecikme yaklaşık 75-100 dolar ek maliyet yaratmaktadır (Ball ve ark., 2010). Yeni taksi yolu sayesinde, uçakların yerdeki hareket sürelerinin azalması bu ek maliyetleri doğrudan düşürecektir.

Bunun yanı sıra, havayolları zamanında kalkış yaptığında daha fazla uçuş gerçekleştirebilir. Bir uçuşun gecikmesi, hava trafiği sıkışıklığını artırarak apron ve pist kullanımında verim kayıplarına yol açabilir. Yeni taksi yolunun eklenmesiyle uçuş sıklıkları daha verimli planlanabilir ve havayolları ilave gelir elde edebilir.

Kargo taşımacılığı ve zaman yönetiminin ekonomik etkileri

Hava kargo operasyonları, güvenilir ve hızlı bir lojistik süreci gerektirir. Kargo uçaklarının veya yolcu uçaklarında taşınan yüklerin zamanında varış noktalarına ulaşması, lojistik şirketleri ve ticaret operasyonları için kritik öneme sahiptir (Rosenow ve ark., 2020). Gecikmeler, kargo taşımacılığında müşteri memnuniyetini düşürebilir, sözleşme cezalarına ve finansal kayıplara neden olabilir.

Özellikle hassas veya bozulabilir yükler (ilaçlar, gıda ürünleri, çiçekler gibi) için zamanında teslimat büyük önem taşır. Eğer bir kargo uçağı yerde uzun süre beklerse, yük teslimat süresi uzayabilir ve müşteri kaybı yaşanabilir. Yeni taksi yolu ile uçakların yerde harcadığı süre azaldığında, hava kargo şirketleri daha fazla yük taşıyabilir, teslimat sürelerini kısaltabilir ve ticari faaliyetlerini artırabilir.

Daha düzenli hava trafik akışı ve taksi süresindeki azalmalar, hava kargo maliyetlerini ve lojistik verimliliği doğrudan etkileyerek havalimanının uluslararası lojistik rekabet gücünü artıracaktır (Ball ve ark., 2010).

Sonuç ve değerlendirme

Yeni taksi yolunun inşa edilmesiyle uçuş gecikmelerinin azaltılması, yolcuların zaman

kaybının önlenmesi, havayolu şirketlerinin operasyonel verimliliğinin artırılması ve hava kargo operasyonlarının daha etkin hale getirilmesi gibi önemli kazanımlar elde edilecektir. Yin (2022), Kosel (2014) ve Hao (2024)'nın yaptığı akademik çalışmalar, uçuş gecikmelerinin havayolları, yolcular ve hava kargo şirketleri için ciddi maliyetler yarattığını ve bu maliyetlerin azaltılmasının ekonomik getirileri artırdığını göstermektedir.

Tokat Havalimanı için düşünülen yeni taksi yolu, operasyonel sürekliliği sağlarken, yolcu memnuniyetini artıracak, havayolu şirketlerinin kâr marjını yükseltecek ve kargo taşımacılığında zaman yönetimini iyileştirecektir. Bu faktörler, projenin ekonomik ve operasyonel açıdan sürdürülebilir bir yatırım olduğunu kanıtlamaktadır.

Tokat Havalimanı'nda önerilen ilave taksi yolu yapımının fayda-maliyet analizinde, maliyet ve fayda kalemleri kıyaslanarak yatırımın ekonomik ve operasyonel getirisi değerlendirilecektir. Fayda-maliyet oranı hesaplanarak, yatırımın geri dönüş süresi, yakıt tasarrufu ve havalimanı kapasitesine etkileri analiz edilecektir. Önerilen taksi yolu, uçakların yerde geçirdiği süreyi kısaltarak yakıt tüketimini azaltacak, güvenliği artıracak ve havalimanı operasyonlarını daha verimli hale getirecektir. Bu kazanımlar, sadece ekonomik değil, çevresel ve operasyonel sürdürülebilirlik açısından da önemli avantajlar sunmaktadır.

3.3.3. İskonto oranı belirlenmesi

Analiz tarihi itibarıyla Türkiye'nin 10 yıllık devlet tahvili getirisi TL cinsinden %29,24'tür (TradingEconomics, 2025). Ancak bu oran, yüksek enflasyon ve sıkı para politikasının geçici etkilerini yansıttığından, uzun vadeli projelerde doğrudan kullanılması uygun değildir. Weitzman (2001), bu tür projelerde kısa vadeli faiz oranlarının yanıltıcı olabileceğini ve zamanla azalan iskonto oranlarının tercih edilmesi gerektiğini vurgulamaktadır.

Bu nedenle, çalışmada ekonomik analizler ABD doları bazında, reel %5 sabit iskonto oranı ile yapılmıştır. Bu oran; Türkiye'nin uzun vadeli büyüme potansiyeli (%3–4) (OECD, 2023), altyapı projelerine özgü risk primi (%2–3) ve sosyal fayda indirimi (%1–2) (Moore & Boardman, 2000) dikkate alınarak belirlenmiştir. Ayrıca, literatürde gelişmekte olan ülkelerdeki havalimanı projelerinde kullanılan reel oranların genellikle %4–8 aralığında olduğu görülmektedir (OECD, 2021; Brent, 2006).

4. BULGULAR

4.1. Tokat Havalimanı Hava Trafik Senaryoları

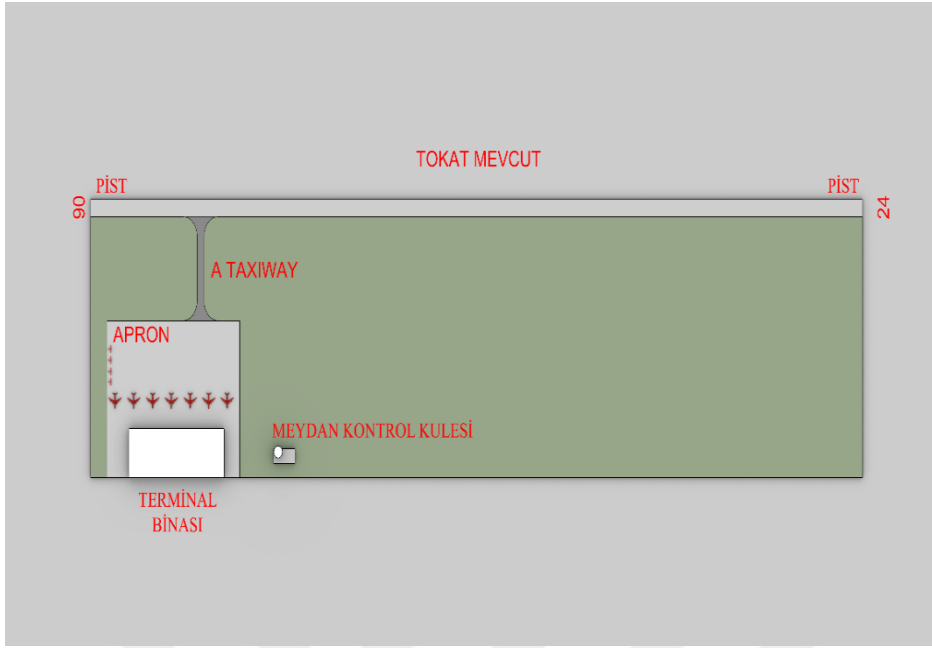
4.1.1. Tokat Havalimanı mevcut durumu

Tokat Havalimanı, mevcut altyapısıyla bölgesel ölçekte sivil hava ulaşım hizmeti sunan bir havalimanı olarak konumlanmaktadır. Pist uzunluğu 2.700 metre olan havalimanında pist doğrultusu 06-24 yönünde tasarlanmıştır. Bu yönelimin belirlenmesinde bölgenin hâkim rüzgâr rejimi ve çevresel koşullar dikkate alınmıştır. Söz konusu pist, orta gövdeli uçakların güvenli iniş ve kalkış operasyonlarını destekleyecek niteliktedir.

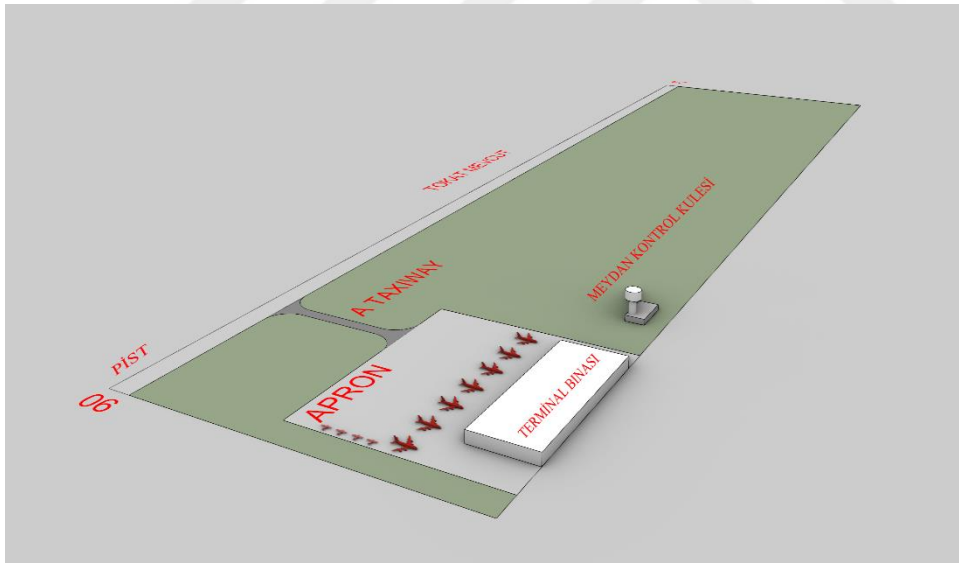
Havalimanı apron sahası 360 metre uzunluğunda ve 120 metre genişliğinde olup, aynı anda 7 adet orta gövdeli uçağın park edebilmesine imkân tanımaktadır. Park kapasitesi, özellikle Boeing 737 ve Airbus A320 tipi uçaklar düşünülerek planlanmıştır. Apron, doğrudan tek bir A taksi yolu üzerinden piste bağlanmakta olup, bu yapı küçük ve orta ölçekli havalimanlarının karakteristik özelliklerinden biridir.

Mevcut taksi yolu ise 24 metre genişliğe ve 265 metre uzunluğa sahiptir. Apronun orta kısmından piste bağlanan bu taksi yolu, havalimanı genelinde uçakların yerdeki hareketlerini yönlendiren temel bağlantıyı oluşturmaktadır. Bu geometrik yapı sayesinde uçakların apron-pist arasındaki geçişleri düzenli bir akışla sağlanmakta, özellikle düşük yoğunluklu trafik dönemlerinde operasyonel etkinlik artırılmaktadır.

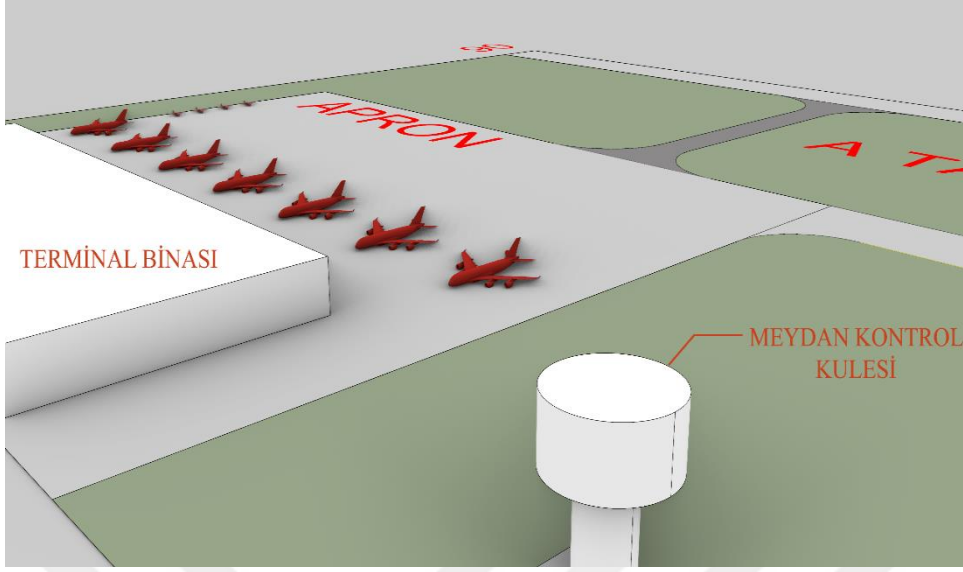
Şekil 4.1., 4.2. ve 4.3.'te Photoshop programı ile oluşturan farklı perspektiflerde Tokat Havalimanının mevcut durumları gösterilmiştir.



Şekil 4.1.Tokat Havalimanı mevcut durum 1. Perspektif



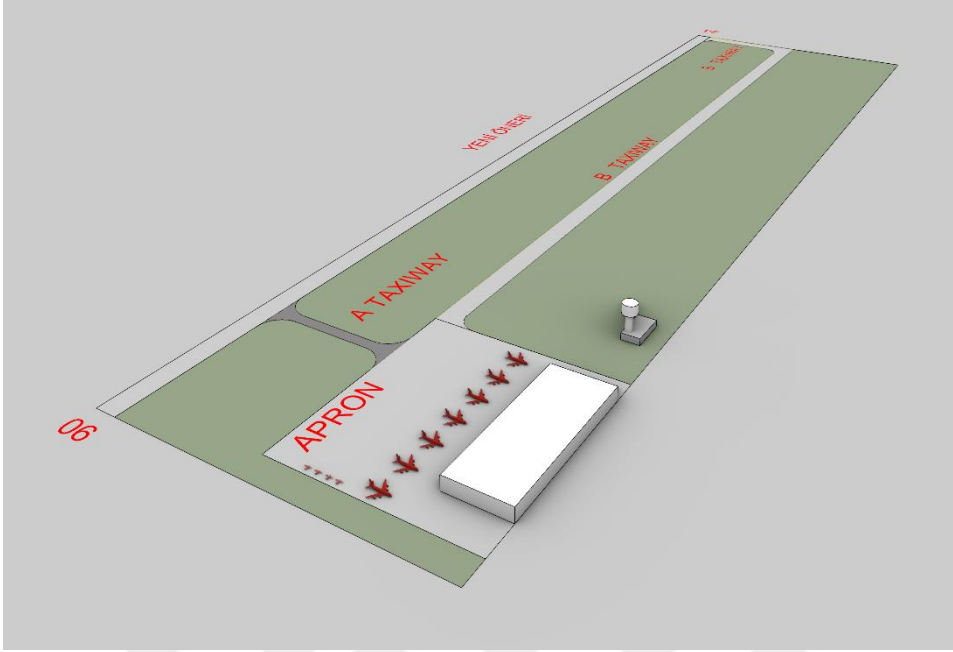
Şekil 4.2.Tokat Havalimanı mevcut durum 2. perspektif



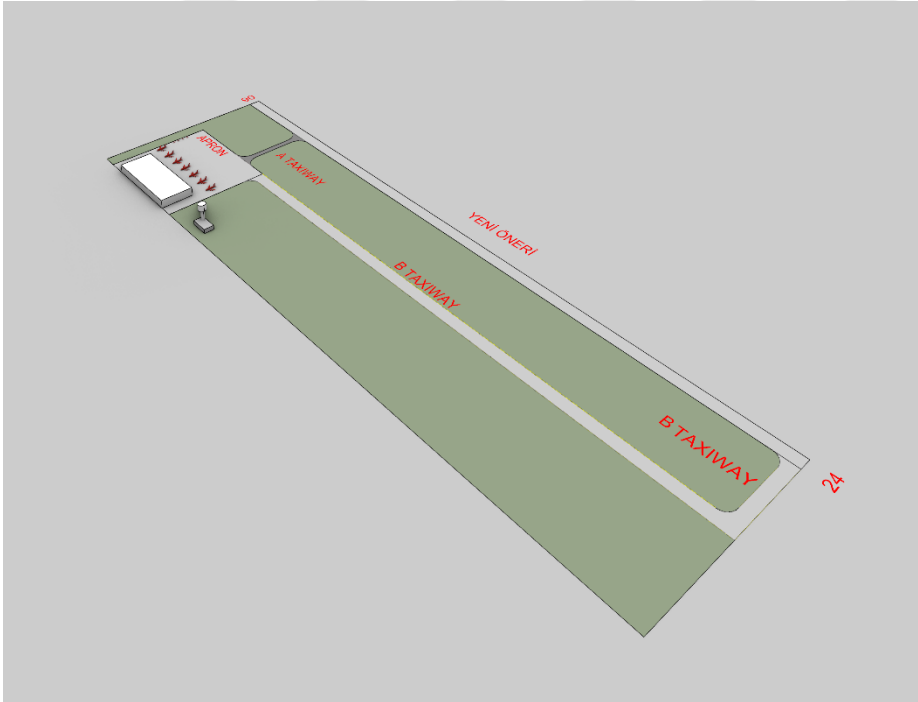
Şekil 4.3.Tokat Havalimanı mevcut durum 3. perspektif

4.1.2. Tokat Havalimanı ilave taksi yolu önerisi

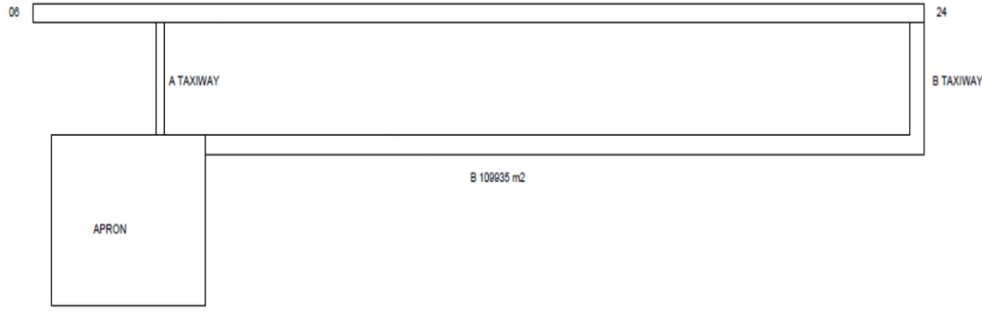
Yapılan analizler sonucunda Tokat Havalimanı'nın mevcut ve öngörülen trafik hacmini dikkate alarak, operasyonel verimlilik ve ICAO güvenlik standartlarına tam uyum açılarından en optimal çözümün paralel taksi yolu olduğunu göstermektedir. Bu tasarım, pist meşguliyet süresini minimize ederek havalimanının kapasitesini doğrudan artırmanın yanı sıra, pist ihlali riskini azaltma gibi kritik güvenlik faydalarını da beraberinde getirmekte; böylece uygulanan yatırımın fayda-maliyet oranını maksimize etmektedir. Bu sebeple Tokat Havalimanına ilave taksi yolu olarak paralel taksi yolu tasarlanarak trafik senaryoları incelenmiştir. Paralel taksi yolunun 24 pisti pist başına aprondan uzanan B Taksi yolu tasarlanmıştır. B taksi yolu Şekil 4.4., 4.5. ve 4.6. ile gösterilmiştir. Taksi yolu Autocada programı yardımıyla yaklaşık 110000 m² alan kapsayacak şekilde tasarlanmıştır. Tasarım Şekil 4.7'de gösterilmiştir.



Şekil 4.4.Tokat Havalimanı öneri taksi yolu 1. Perspektif



Şekil 4.5.Tokat Havalimanı öneri taksi yolu 2. perspektif



Şekil 4.6.Tokat Havalimanı öneri taksi yolu (AutoCad alan hesabı)

4.1.3. İlave taksi yolu tasarımı ile oluşabilecek hava trafik senaryoları

Tokat Havalimanının Hava Sahasında 2 adet bekleme alanı vardır. Bunlar; havalimanının 150 km güney batısında 130.000 feetde bulunan bir X bekleme noktası ve meydanın doğusunda 10.000 feetde bulunan bir Y bekleme noktasıdır.

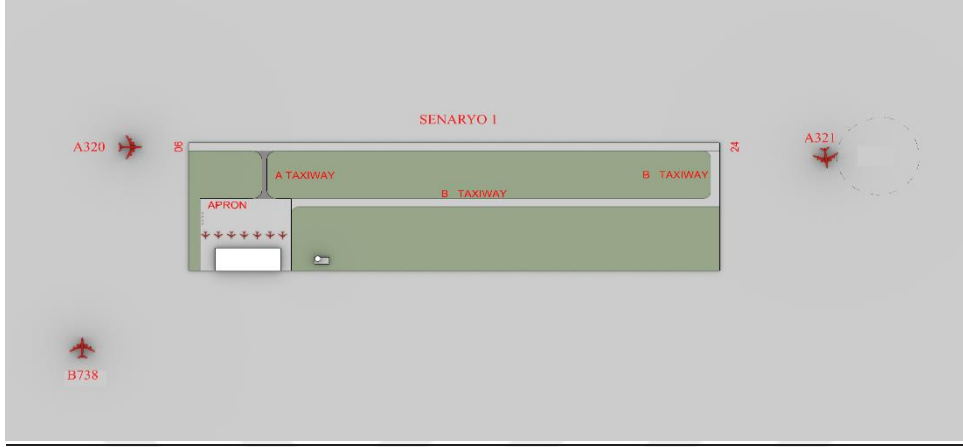
Orta Gövdeli her uçağın yaklaşması havada belirli bir X noktasından başlamaktadır. Ticari uçakların, inişinden sonra piste zarar verme ihtimalinden dolayı pist sonundan dönmesi gerekmektedir. Eğitim Uçakları da görerek yaklaşma yaptıkları için 10.000 ft altında meydanın her tarafından yaklaşılmaya başlayabilmektedir.

B Taksi Yolunun trafik senaryolarından trafiğe kazandıracağı hızı göstermek için 4 farklı senaryo tasarlanmıştır.

Senaryo 1: Pist 06, 3 ticari trafik iniş senaryosu

Mevcut durumda sadece A taksi yolu olduğu için uçak dönüşünü pist sonundan yapmaktadır. Dolayısıyla uçak inişinden sonra uçağı en erken 7 dk'da pisti terkettiğı gözlemlenmiştir. Hava Trafik Kontrolörü (ATC), bir uçağın pistten tamamen ayrılma süresi (terkediş süresi) nedeniyle diğer uçağı iniş izni verebilmek için en az 7 dakika beklemek zorundadır. Ayrıca, sıradaki uçağın piste teker koyma süresi minimum 10 dakikaya kadar çıkabilmektedir. Bu durumda, uçağın yaklaşma hattına oturması ve kuyruk türbülansından etkilenmemesi amacıyla, iki uçak arasında ortalama 3 dakikalık bir teker koyma süresi oluşmaktadır. Ancak, B taksi yolu tasarımı sayesinde uçak, teker koyduktan sonra yaklaşık 1 dakika içinde pist sonuna ulaşabilmekte ve pisti B taksi yolu üzerinden terk edebilmektedir. Buradan 2. Uçağın mevcut durumdan 6 dk önce teker koyduğı hesaplanmıştır. Aynı durum 3. Uçak içinde geçerlidir. Tablo 1'de B taksi yolu yokken ve varken uçakların teker koyma ve park yerine ulaşma süreleri ilk teker koyma

saati 12.00 yazılarak gösterilmiştir. 12.00 saati gösterimde anlaşılabilirlik artması için verilen bir saattir. Şekil 4.7. de Senaryo 1'deki uçakların konumu ve Çizelge 4.1.'de Senaryo 1 uçak hareket saatleri gösterilmiştir.



Şekil 4.7. Senaryo 1

Çizelge 4.1. Senaryo 1 uçak saatleri

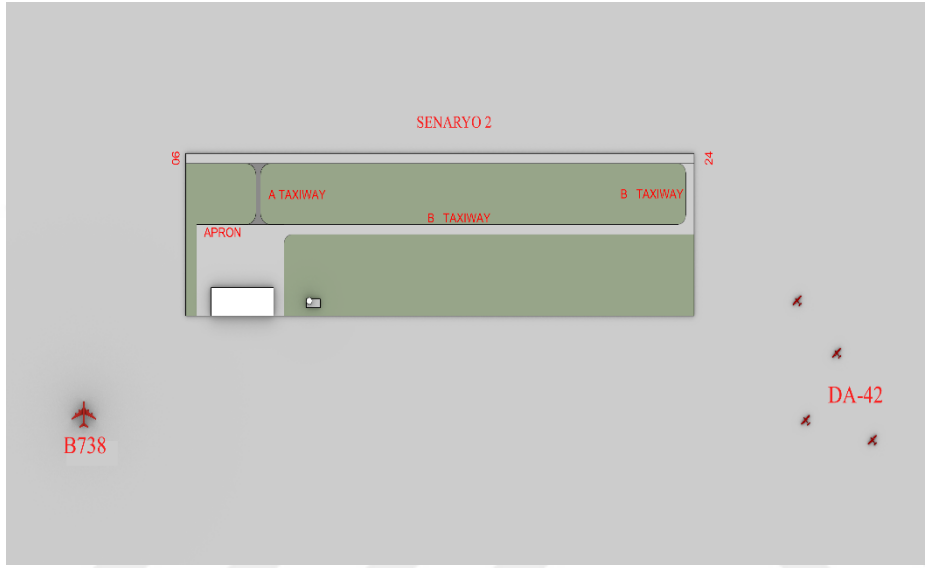
SENARYO 1	B Taksi Yolu Yokken			B Taksi Yolu Varken		
	Teker Koyma Saati	Pisti Terk Etme Saat	Park Yerine Ulaşma Saati	Teker Koyma Saati	Pisti Terk Etme Saat	Park Yerine Ulaşma Saati
A320	12.00	12.07	12.08	12.00	12.01	12.08
B738	12.10	12.17	12.18	12.04	12.05	12.12
A321	12.20	12.27	12.28	12.08	12.09	12.16

Sonuç olarak, B taksi yolu tasarımı sayesinde, senaryodaki ikinci inişi gerçekleştiren B738 tipi uçak yaklaşık 6 dakikalık bir yakıt tasarrufu sağlamıştır. Ayrıca 6 dakika da park yerine erken gitmiştir. İnişte son sırada olan A321 trafiği ise B taksi yolu tasarımı sayesinde 12 dk erken teker koyup park yerine ulaşmıştır.

Senaryo 2: 06'ya inen ticari trafik ve 24 inen 4 adet eğitim uçağı senaryosu

B738, 06 pistine iniş yapacak ve ilk sıradadır. 4 Adet DA42 eğitim uçağı da B738'ye sırayla iniş yapacaklardır. B738 tipindeki uçağın teker koyduktan sonra pisti terk etmesi yaklaşık 6 dakika sürmektedir. Bununla birlikte eğitim uçakları pisti terk ediş süresince havada beklemektedirler. Eğitim uçakları, ticari uçakların aksine bu senaryoda 24

pistine inecekleri için pisti terk etmelerinde B taksi yolunu kullanmayacak ancak genelde üçlü ve dörtlü sıralı gelen eğitim uçakları her biri altışar dakika fazladan beklemiş olacaklardır. Tablo 2’de B738’nin teker koyma zamanı 12.00 alınarak diğer saatler gösterilmiştir. Şekil 4.8. de Senaryo 2’deki uçakların konumu ve Çizelge 4.2.’de Senaryo 2 uçak hareket saatleri gösterilmiştir.



Şekil 4.8. Senaryo 2

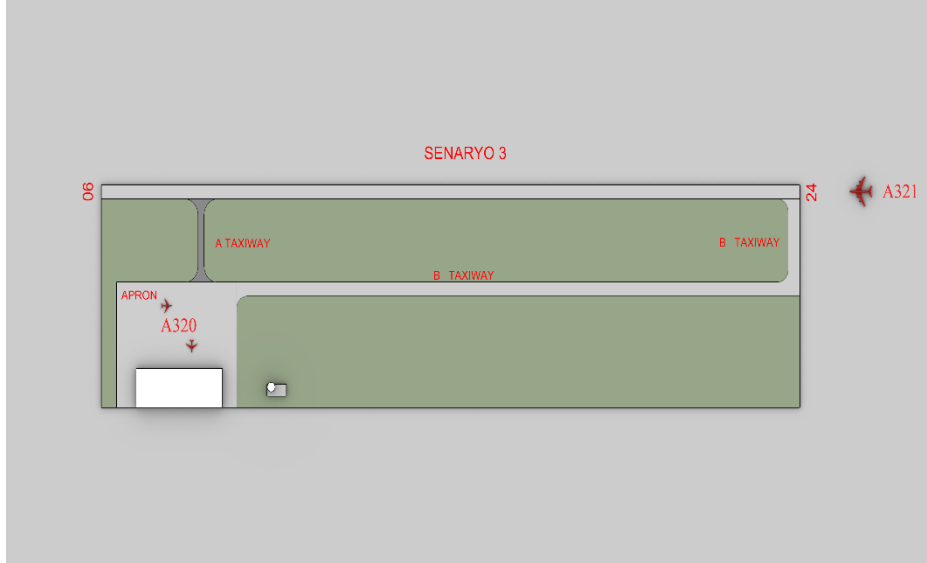
Çizelge 4.2. Senaryo 2 uçak saatleri

SENARYO 2	B Taksi Yolu Yokken			B Taksi Yolu Varken		
	Teker Koyma Saati	Pisti Terk Etme Saat	Park Yerine Ulaşma Saati	Teker Koyma Saati	Pisti Terk Etme Saat	Park Yerine Ulaşma Saati
B738	12.00	12.07	12.08	12.00	12.01	12.08
1. DA 42	12.10	12.12	12.13	12.04	12.06	12.07
2 DA 42	12.14	12.16	12.17	12.08	12.10	12.11
3. DA 42	12.18	12.20	12.21	12.12	12.14	12.15
4. DA 42	12.22	12.24	12.25	12.16	12.18	12.19

Sonuç olarak B taksi yolu tasarımı bu senaryoda 4 adet eğitim uçağının her birinin havada 6 dk daha kısa kalmasını sağlamıştır. Bu da 4 uçaktan toplam 24 dk yakıt tasarrufu sağlamıştır.

Senaryo 3: 24'e yaklaşmaya başlayan ticari trafik ve 24'te kalkış yapmak isteyen ticari trafik

24 pistine inmek isteyen bir uçak yaklaşma başladıktan 15 dk sonra teker koymaktadır. Yaklaşma müsaadesi istemeden kalkış için taksiye yeni başlayan trafik A taksi yolunu kullanıp piste gireceği için iniş uçağı havada beklemek zorundadır. Taksiye başladıktan ortalama 10 dk sonra 24 pist başına ulaşan kalkış trafiği için iniş trafiği minimum 10 dk havada beklemek zorunda kalmaktadır. Tablo 3'te A320'nin taksiye başlama saati 12.00 alınarak senaryo oluşturulmuştur. Şekil 4.9. de Senaryo 3'deki uçakların konumu ve Çizelge 4.3.'de Senaryo 3 uçak hareket saatleri gösterilmiştir



Şekil 4.9.Senaryo 3

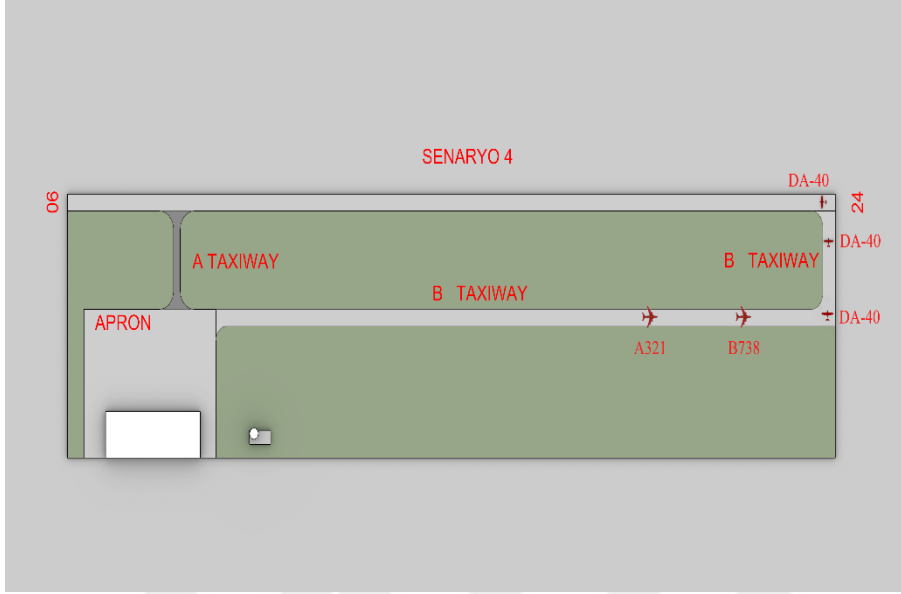
Çizelge 4.3. Senaryo 3 uçak saatleri

SENARYO 3	B Taksi Yolu Yokken			B Taksi Yolu Varken			
	Taksiye Başlama Saati	Pist Başına Ulaşma Saati	Teker Kesme Saati	Taksiye Başlama Saati	Pist Başına Ulaşma Saati	Teker Kesme Saati	
A320	12.00	12.10	12.13	12.00	12.10	12.15	
SENARYO 3	B Taksi Yolu Yokken			B Taksi Yolu Varken			
	Yaklaşmaya başlamadan önce ayırma için beklemeye girmesi	Yaklaşmaya başlaması	Teker koyma	Park yerine ulaşma saati	Yaklaşmaya başlama	Teker koyma	Park yerine ulaşma saati
A321	11.55	12.05	12.20	12.23	11.55	12.10	12.13

Sonuç olarak B taksi yolu sayesinde A320, 2 dk yerde fazladan beklemiş olsa da A321 havada 10 dk az beklemiştir. Böylece hem havadaki uçak daha önce inebilmiş hem de havada harcanan yakıt yere göre daha fazla olduğu için ciddi bir yakıt tasarrufuna gidilmiştir.

Senaryo 4: 24'ten kalkacak sıralı trafikler

Frekansa önce çıkan ve taksiye başlayan eğitim uçakları ve ardından motor çalıştırma pushback ve ardına taksiye başlayacak olan 2 adet orta gövdeli uçaklar arka arkaya sıralanmıştır. Sadece A taksi yolunun mevcut olduğu durumda, tüm uçaklar pist başına kadar ilerlemek ve kalkış için beklemek zorundadır. A taksi yolunun eğitim uçakları tarafından işgal edilmesi nedeniyle bu durum kalkış operasyonlarında gecikmelere yol açmaktadır. B taksi yolunun devreye alınmasıyla birlikte, tüm uçaklar pist başına daha yakın bir konumda sıralanabilmekte, bu da kalkış ve bekleme sürelerinde belirgin bir azalma sağlamaktadır. Analiz kapsamında, ilk frekansa çıkan hava trafiğinin taksiye başlama zamanı 12.00 olarak kabul edilerek bir senaryo oluşturulmuştur. Şekil 4.10. de Senaryo 4'deki uçakların konumu ve Çizelge 4.4.'de Senaryo 4 uçak hareket saatleri gösterilmiştir.



Şekil 4.10.Senaryo 4

Çizelge 4.4. Senaryo 4 uçak saatleri

SENARYO 4	B Taksi Yolu Yokken			B Taksi Yolu Varken		
	Taksiye başlama saati	Piste girme saati	Teker kesme saati	Taksiye başlama saati	Pist bekleme noktasına gelme saati	Teker kesme saati
1. DA 40	12.00	12.02	12.08	12.00	12.02	12.08
2 DA 40	12.02	12.11	12.17	12.02	12.10	12.11
B738	12.08	12.19	12.29	12.08	12.14	12.15
A321	12.10	12.32	12.42	12.10	12.16	12.18

Frekansa daha önce çıkan ve A taksi yolunu kapatan eğitim uçakları ticari uçakların kalkışını önemli ölçüde geciktirmiştir. B taksi yolu sayesinde uçaklar pist başına yakın yerde bekledikleri için kalkış yapan uçağın ardına uçağı etkileyebilecek türbülans için kısa bir süre sonra piste girip kalkışını gerçekleştirmektedirler. Böylece B taksi yolu ile yapılan senaryoda 2.DA40, 6 dk; B738, 14 dk; A321, 24 dk daha önce teker kesmiştir.

4.2. İlave Taksi Yolu Projesinde Kullanılacak Fayda Kalemleri

Bu bölümde, Tokat Havalimanı'na yapılması önerilen ilave taksi yolu projesinin fayda-maliyet analizinde dikkate alınan fayda kalemleri detaylı biçimde incelenmiştir.

4.2.1. Senaryolardaki toplam vakit kazancı

Senaryolardan Tokat Havalimanı'na hali hazırda gelen uçak tiplerine göre ilave taksi yolu yapımının ne kadar vakit kazancı olduğu aşağıdaki çizelgede sıralanmıştır. Çizelge 4.5. Senaryolardaki Toplam Vakit Kazancı gösterilmiştir.

Çizelge 4.5. Senaryolardaki toplam vakit kazancı

Senaryolar	Orta Gövdeli Uçaklar		Eğitim Uçakları	
	Havada	Takside	Havada	Takside
1	6	12		
2			24	
3	10	-2		
4		38		6
Toplam Dk Kazancı	16	48	24	6

Tokat Havalimanı'nda hazırlanan dört senaryonun gerçekleşmesi halinde, B taksi yolu tasarımının; orta gövdeli uçaklarda toplamda havada 16 dakika, yerde 48 dakika; tek motorlu uçaklarda ise havada 24 dakika, yerde 6 dakika zaman tasarrufu sağladığı çizelgede gösterilmiştir.

4.2.2. Gecikmeme sonucu oluşan fayda kalemleri

Westminster Üniversitesi tarafından 2015 yılında yapılan çalışmada, gecikme maliyetleri; mürettebat, yakıt, filo, bakım ve yolcuya yansıyan ek maliyetler ile reaksiyonel gecikme maliyeti de dahil edilerek dakika başına hesaplanmıştır. Bu kapsamda, A320, A321 ve B738 uçak tipleri için taksi, seyir ve varış aşamalarında

farklı süreler (5, 15 ve 30 dakika) için oluşan maliyetler karşılaştırılmıştır. Tabloya göre, tüm uçak tiplerinde süre arttıkça maliyetlerin belirgin şekilde yükseldiği gözlemlenmektedir. Bu bulgular, uçuşun her bir aşamasında geçen sürenin toplam maliyetler üzerinde önemli bir etkisi olduğunu göstermektedir (Westminster Üniversitesi, 2015). Çizelge 4.6.'da Uçak Gecikmelerindeki Toplam Maliyet gösterilmiştir.

Çizelge 4.6. Uçak gecikmelerindeki toplam maliyet (Westminster Üniversitesi,2015)

Uçak Tipi	Taksi 5 dk	Taksi 15 dk	Taksi 30 dk	Seyir 5 dk	Seyir 15 dk	Seyir 30 dk	Varış 5 dk	Varış 15 dk
A320	€178	€844	€2.672	€297	€1.199	€3.386	€297	€1.187
A321	€201	€927	€3.041	€357	€1.414	€4.015	€333	€1.343
B738	€178	€856	€2.745	€321	€1.283	€3.599	€297	€1.211

AOPA ve Aircraft Cost Calculator kaynaklarına göre, DA42 tipi bir uçağın seyir ve varış aşamalarında dakikalık gecikme maliyeti yaklaşık 5 ABD doları, DA40 tipi bir uçağın taksi ve varış aşamalarında ise dakikalık gecikme maliyeti yaklaşık 2 ABD doları olarak hesaplanmıştır (AOPA, Aircraft Cost Calculator, Diamond Aviators Forum).

4.2.3. Karbon emisyonu azalımı

Uçakların yerde ve havada geçirdiği sürenin kısılması dolaylı olarak karbon salınımını azaltmaktadır. İlave taksi yolu senaryoları kapsamında gerçekleştirilen hesaplamalarda, yakıt tasarrufuna bağlı olarak sağlanan emisyon azaltımı fayda kalemi olarak değerlendirilmiştir.

Jet A1 havacılık yakıtının yanması sonucu oluşan karbondioksit (CO₂) emisyonlarının sosyal maliyeti, atmosfere salınan her birim CO₂ için ekonomik ve çevresel etkileri dikkate alarak hesaplanmaktadır. ABD Hükümeti'nin yayımladığı rapora göre, karbonun sosyal maliyeti 0,09 ABD doları/kg CO₂ olarak belirlenmiştir. Jet A1 yakıtı yandığında, 1 kilogram yakıt başına yaklaşık 3,19 kg CO₂ ve 1 litre yakıt başına yaklaşık 2,58 kg CO₂ açığa çıkmaktadır.

Buna göre, Jet A1'in yanmasından kaynaklanan sosyal maliyet, kilogram başına yaklaşık 0,29 ABD doları ve litre başına yaklaşık 0,23 ABD doları olarak hesaplanmaktadır (US Interagency Working Group on Social Cost of Greenhouse Gases, 2021).

Ayrıca, seyrüsefer boyunca orta gövdeli uçaklar ortalama 35,2 kg/dk (Eurocontrol, 2025), eğitim uçakları ise yaklaşık 0,66 L/dk (Madjid ve ark., 2025) yakıt tüketmektedir.

Ayrıca orta gövdeli uçakların seyrüsefer boyunca ortalama yakıt tüketimi 35,2 kg/dk (Eurocontrol, 2025), eğitim uçakları için ise yaklaşık 0,66 L/dk'dır (Madjid ve ark., 2025).

Bu doğrultuda, Çizelge 4.5'te sunulan senaryolardan hareketle, uçak tiplerine göre oluşan toplam dakika kazançları dikkate alınarak, dakika başına maliyet hesaplamaları gerçekleştirilmiştir. Elde edilen bu veriler doğrultusunda, senaryoların gerçekleşmesi durumunda sağlanacak emisyon azalmasıyla ortaya çıkan toplam ekonomik fayda Çizelge 4.7'de sunulmuştur. Bu değerler dikkate alındığında ilave taksi yolu yapımı ile oluşan senaryolar sonucu 64 dakikalık kazanç sağlanan orta gövdeli uçakların toplam sosyal faydası yaklaşık 653,31 ABD doları, 30 dakikalık kazanç sağlanan eğitim uçaklarının toplam sosyal faydası ise 4,55 ABD doları olmakta; toplamda 657,86 ABD dolarlık bir fayda ortaya çıkmaktadır.

Çizelge 4.7. Emisyonun azalmasıyla oluşan toplam ekonomik fayda

Uçak Tipi	Toplam Kazançlı Dakika İle Azalan Toplam Yakıt Tüketimi	Dakika Başı Fayda (USD)	Toplam Ekonomik Fayda (USD)
Orta Gövdeli	$35,2 \text{ kg/dk} \times 64 \text{ dk} = 2.252,8 \text{ kg}$	0,29 USD/kg	653,31 USD
Eğitim Uçakları	$0,66 \text{ L/dk} \times 30 \text{ dk} = 19,8 \text{ L}$	0,23 USD/L	4,55 USD
Emisyonun Azalmasıyla Oluşan Toplam Fayda			657,86 USD

4.2.4. Toplam günlük fayda

Toplam günlük fayda yalnızca senaryolara dayalı olarak hesaplanmıştır. Uçak sayısındaki artışa rağmen, senaryolarda olduğu gibi uçaklar aynı anda gelmediği sürece herhangi bir zaman kazancı sağlanamayacak, dolayısıyla ilave bir taksi yoluna ihtiyaç duyulmayacaktır. Bu nedenle, toplam günlük fayda yalnızca uçakların eş zamanlı gelişle oluşan senaryolara göre belirlenmiştir. Senaryoların her biri ayrı ayrı ele alınmış ve fayda kalemlerine ilişkin toplam kâr dikkate alınmıştır. Çizelge 4.8., 4.9., 4.10. ve 4.11.'de senaryolardaki toplam kar gösterilmiştir. 1 Euro $\approx$ 1,1447 Dolar olarak kabul edilmiştir (www.tcmb.gov.tr,2025).

Senaryo 1

Çizelge 4.8. Senaryo 1 kâr hesabı

Uçak	Faz	Erken Gelme (dk)	Kâr (€)
B738	Seyir	6	417,20
B738	Varış	6	388,40
A321	Seyir	12	1096,90
A321	Varış	12	1040,00
Toplam Fayda		€2.942,5 $\approx$ 3.368,42 USD	

Senaryo 2

Çizelge 4.9. Senaryo 2 kâr hesabı

Uçak	Faz	Erken Gelme (dk)	Kâr (USD)
4 adet DA42	Seyir+Varış	24	120 USD

Senaryo 3

Çizelge 4.10. Senaryo 3 kâr hesabı

Uçak	Faz	Erken Gelme (dk)	Kâr (€)
A320	Taksi	-2	€ 71,20
A320	Varış	-2	€ 118,80
A321	Seyir	10	€ 885,50
A321	Varış	10	€ 838
Toplam Fayda		€1.723,5 $\approx$ 1.972,46 USD	

Senaryo 4

Çizelge 4.11. Senaryo 4 kâr hesabı

Uçak	Faz	Erken Gelme (dk)	Kâr (€)
B738	Taksi	14	€ 788,20
B738	Varış	14	€ 1.119,60
A321	Taksi	24	€ 2.195,37
A321	Varış	24	€ 2.861,03
Toplam Fayda		€6.964,2 $\approx$ 7.974,86 USD	

Senaryo 4’e ek olarak DA40 tipi bir uçağın taksi ve varış aşamalarında 6 dakikalık gecikmesinin maliyeti ise 12 ABD doları olarak hesaplanmıştır. Toplam faydaya bu değeri eklediğinde 7.986,86 USD olur.

4 Senaryodan Oluşan Toplam Fayda = Senaryo 1’den elde edilen fayda + Senaryo 2’den elde edilen fayda + Senaryo 3’ten elde edilen fayda + Senaryo 4’ten elde edilen fayda: 4 Senaryodan Oluşan Toplam Fayda = 3.368,42 + 120 + 1.972,46 + 7.986,86 = 13.447,74 USD

Yukarıdaki değere karbon emisyonu azalması sonucu oluşan 657,86 USD eklenirse, ilave taksi yolu inşasından sonra oluşacak toplam fayda bulunur. Bu senaryoların hepsinin bir günde gerçekleşmesine göre çalışma yapılmıştır. Dolayısıyla 4 senaryodan oluşan fayda, toplam günlük fayda olarak isimlendirilmiştir.

Toplam günlük fayda = 13.447,74 + 657,86 = 14.105,6 USD

Çalışmada kullanılan senaryoların her gün gerçekleşmediği ancak yıl içerisinde hepsinin ortalama 10 defa gerçekleştiği Tokat Havalimanı Hava Trafik Kontrolörleri tarafından gözlemlenmiştir. Dolayısıyla Toplam Günlük Fayda 10 ile çarpılarak yıllık toplam fayda hesaplanmıştır.

Yıllık toplam fayda = 14.105,6 $\times$ 10 = 141.056 USD

4.3. Toplam Maliyet

Bu bölümde, Tokat Havalimanı'na yapılması planlanan ilave taksi yolu projesinin toplam yatırım maliyeti hesaplanmıştır. Maliyet hesaplamalarında, Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM) tarafından yayımlanan birim fiyatlar esas alınmış; inşaat, malzeme, işçilik ve diğer yardımcı giderlerin yanı sıra yüklenici kârı ve genel giderler de toplam maliyete dahil edilmiştir. Ayrıca, Katma Değer Vergisi (KDV) de dikkate alınarak nihai maliyet belirlenmiştir. Böylece, projenin uygulanabilirliğinin ve ekonomik analizinin sağlıklı bir şekilde yapılabilmesi için, tüm maliyet kalemleri güncel ve güvenilir kaynaklardan elde edilen verilerle kapsamlı olarak hesaplanmıştır. Hesaplamalar tablolarda gösterilmiştir. PCN 110 R/C/W/T standardında tasarlanan beton kaplama taksi yolları, ICAO ve FAA standartlarına uygun olarak inşa edilmelidir. Bu sistemler, yüksek mukavemetli Portland çimentosu, kaliteli agrega ve uygun katkı maddelerinin kombinasyonu ile oluşturulur. Çizelge 4.12.'de Beton Kaplama Taksi Yolunun yapım maliyeti gösterilmiştir.

Çizelge 4.12. Taksi yolu beton kaplama yapımı maliyeti

İmalat Kalemi	Poz No	Ölçü Birimi	Miktar	2025 Birim Fiyatı (TL)	Toplam Tutar (TL)	Toplam Tutar (Euro)
Kazı (makinayla, her cins zemin)	KGM/15.001/A	m ³	22000	32,55	716100	15913,33
Granüler alt temel (CBR>30)	KGM/6000	m ³	22000	520	11440000	254222,22
C35 Beton Kaplama (30 cm)	KGM/6501	m ³	33000	850	28050000	623333,33
Derz kesimi ve dolgular	KGM/6520	m	8800	180	1584000	35200
Kenar bordürü (C25 beton)	KGM/7505/1	m	4000	350	1400000	31111,11
Yüzey dokulandırma	KGM/6525	m ²	110000	45	4950000	110000
Drenaj sistemi	KGM/18.456/K	m	2000	1200	2400000	53333,33
Geotekstil serimi	KGM/2580	m ²	115000	25	2875000	63888,89
İşaretleme (termoplastik)	KGM/60.203	m ²	5000	380	1900000	42222,22
Omuz düzenlemesi	KGM/6115	ton	3826	480	1836480	40810,67
Çevre düzenlemesi	KGM/37.556/K	dekar	2	8500	17000	377,78
Ara Toplam					56.168.580	1.248.190,89
KDV					11.233.716	
Toplam Maliyet					67.402.296	1.661.179,39

Tokat Havalimanı'na yapılması planlanan ilave taksi yolu yatırımının ekonomik fizibilite çalışmasında, toplam yatırım maliyetlerinin ötesinde, projenin 30 yıllık yaşam döngüsü boyunca oluşacak bakım maliyetlerinin dikkate alınması gerekmektedir. 3.3.1. Maliyet Kalemleri bölümünde bakım maliyetleri gösterilmiştir. Bu bağlamda, havalimanı beton kaplamalarına ilişkin ulusal ve uluslararası literatür taraması sonucunda elde edilen oranlar doğrultusunda, bakım maliyetleri dört ana kategori altında değerlendirilmiştir: yıllık rutin bakım, beş yılda bir gerçekleştirilen küçük bakım, on yılda bir yapılan orta düzey bakım ve yaklaşık yirmi yılda bir uygulanan büyük rehabilitasyon çalışmaları. Yıllık rutin bakım maliyetleri, yapım maliyetinin yaklaşık %1,5'i düzeyindedir. Bu oran temel alınarak, yatırımın toplam maliyeti olan 67.402.296 TL üzerinden yapılan hesaplamada yıllık rutin bakım maliyeti 1.011.034 TL olarak bulunmuştur. USD/TL kuru 40,5858 olarak kullanılarak yıllık rutin bakım maliyeti 24.911,09 USD olarak hesaplanmıştır.

Beş yılda bir yapılan küçük bakım uygulamaları, tipik olarak yapım maliyetinin ortalama %4'üne karşılık gelmektedir. Bu oran dikkate alındığında, her bir küçük bakım müdahalesi 2.696.092 TL tutarındadır. USD/TL kuru 40,5858 olarak kullanılarak maliyet 66.431,13 USD olarak hesaplanmıştır.

Orta düzey bakım çalışmaları ise on yılda bir uygulanmakta olup, ortalama %10'luk bir maliyet oranına sahiptir. Bu kapsamda, her bir müdahalenin maliyeti 6.740.230 TL tutarındadır. USD/TL kuru 40,5858 olarak kullanılarak maliyet 166.083,54 USD olarak hesaplanmıştır.

Büyük rehabilitasyon işlemleri ise genellikle 15 ila 20 yılda bir yapılmakta olup, bu analizde 20. yılda bir kez gerçekleştirileceği varsayılmıştır. Söz konusu müdahalenin maliyeti, yapım maliyetinin yaklaşık %20'sine denk gelmekte ve bu doğrultuda 13.480.459 TL olarak hesaplanmaktadır. USD/TL kuru 40,5858 olarak kullanılarak maliyet 332.187,54 USD olarak hesaplanmıştır.

4.4. Fayda Maliyet Analizi

Bu çalışmada, projenin ekonomik açıdan uygulanabilirliğini değerlendirmek amacıyla Fayda-Maliyet Analizi (FMA) gerçekleştirilmiştir. Literatürde gelişmekte olan ülkelerdeki havalimanı projelerinde kullanılan reel faiz oranlarının genellikle %4–8 aralığında olduğu görüldüğünden, çalışmada iskonto oranı %5 olarak kabul edilmiştir. Maliyet ve fayda hesaplamaları ABD doları cinsinden gerçekleştirilmiştir. Bu tercih, kullanılan verilerin büyük ölçüde döviz bazlı olması ve kur etkisinden arındırılmış karşılaştırmalar yapılabilmesine olanak sağlamaktadır. Analiz süresi 30 yıl olarak belirlenmiştir; söz konusu süre, havalimanı taksi yollarının ortalama teknik ve ekonomik ömrünü yansıtmaktadır. Trafik senaryolarına dayalı analiz kapsamında, projenin yıllık toplam faydası 141.056 USD, toplam yatırım maliyeti ise 1.661.179,39 USD olarak hesaplanmıştır. İskonto oranı ve bakım-onarım maliyetleri de dikkate alınarak yapılan 30 yıllık fayda-maliyet analizine ilişkin sonuçlar Çizelge 4.14’te sunulmuştur. Çizelge 4.13.’te ise sütunların açıklaması ve hesaplama yöntemi gösterilmiştir.

Çizelge 4.13. Çizelge 4.14.’teki sütunların açıklaması ve hesaplama yöntemi

Sütun Adı	Açıklama	Hesaplama Yöntemi
Rutin Bakım (USD)	Her yıl düzenli olarak yapılan sabit bakım gideri.	$\text{Rutin Bakım} = \text{İlk Yatırım Maliyeti} \times 0.015$ (Sabit: 24.911,09 USD)
Ek Bakım (USD)	Belirli yıllarda (5, 10, 15, 20, 25, 30) yapılan küçük, orta ve büyük bakım müdahalelerinin maliyetleri.	Yıla özel hesaplanır. Yapım Maliyetiyle o yılki giderler çarpılıp toplanır.
Net Nakit Akışı (USD)	O yılki fayda ile o yılki toplam bakım maliyetlerinin farkı.	$\text{Net Nakit Akışı} = \text{Yıllık Fayda} - \text{Rutin Bakım} - \text{Ek Bakım}$
İskonto Faktörü	Gelecekteki nakit akışlarını bugünkü değere çevirmek için kullanılan katsayı ($r=0.05$).	$\text{İskonto Faktörü} = 1/(1+r)^n$
NPV (USD)	O yılki Net Nakit Akışının bugünkü değeri.	$\text{NPV} = \text{Net Nakit Akışı} \times \text{İskonto Faktörü}$
Kümülatif NPV (USD)	Başlangıçtaki negatif yatırım maliyeti dahil olmak üzere, her yılın NPV değerlerinin birikimli toplamı.	$\text{Kümülatif NPV}_n = \text{Kümülatif NPV}_{n-1} + \text{NPV}_n$

Çizelge 4.14. 30 yıllık fayda maliyet analizi

Yıl	Yıllık Fayda (USD)	Rutin Bakım (USD)	Ek Bakım (USD)	Net Nakit Akışı (USD)	İskonto Faktörü	NPV (USD)	Kümülatif NPV (USD)
0	0,00	0,00	-1661179,39	-1661179,39	1,00	-1661179,00	-1661179,00
1	141056,00	-24911,09	0,00	116144,91	0,95	110337,00	-1550842,00
2	141056,00	-24911,09	0,00	116144,91	0,91	105596,00	-1445246,00
3	141056,00	-24911,09	0,00	116144,91	0,86	100967,00	-1344279,00
4	141056,00	-24911,09	0,00	116144,91	0,82	95272,00	-1249007,00
5	141056,00	-24911,09	-66431,13	49713,78	0,78	38758,00	-1210249,00
6	141056,00	-24911,09	0,00	116144,91	0,75	87109,00	-1123140,00
7	141056,00	-24911,09	0,00	116144,91	0,71	82422,00	-1040718,00
8	141056,00	-24911,09	0,00	116144,91	0,68	78925,00	-961793,00
9	141056,00	-24911,09	0,00	116144,91	0,65	75474,00	-886319,00
10	141056,00	-24911,09	-232514,67	-116369,76	0,61	-70937,00	-957256,00
11	141056,00	-24911,09	0,00	116144,91	0,59	68571,00	-888685,00
12	141056,00	-24911,09	0,00	116144,91	0,56	64999,00	-823686,00
13	141056,00	-24911,09	0,00	116144,91	0,53	61596,00	-762090,00
14	141056,00	-24911,09	0,00	116144,91	0,51	59202,00	-702888,00
15	141056,00	-24911,09	-66431,13	49713,78	0,48	23852,00	-679036,00
16	141056,00	-24911,09	0,00	116144,91	0,46	53400,00	-625636,00
17	141056,00	-24911,09	0,00	116144,91	0,44	51102,00	-574534,00
18	141056,00	-24911,09	0,00	116144,91	0,42	48725,00	-525809,00
19	141056,00	-24911,09	0,00	116144,91	0,40	46458,00	-479351,00
20	141056,00	-24911,09	-564702,21	-448557,30	0,38	-170488,00	-649839,00
21	141056,00	-24911,09	0,00	116144,91	0,36	41811,00	-608028,00
22	141056,00	-24911,09	0,00	116144,91	0,34	39490,00	-568538,00
23	141056,00	-24911,09	0,00	116144,91	0,33	37942,00	-530596,00
24	141056,00	-24911,09	0,00	116144,91	0,31	36006,00	-494590,00
25	141056,00	-24911,09	-66431,13	49713,78	0,30	14914,00	-479676,00
26	141056,00	-24911,09	0,00	116144,91	0,28	32520,00	-447156,00
27	141056,00	-24911,09	0,00	116144,91	0,27	31379,00	-415777,00
28	141056,00	-24911,09	0,00	116144,91	0,26	30205,00	-385572,00
29	141056,00	-24911,09	0,00	116144,91	0,24	28994,00	-356578,00
30	141056,00	-24911,09	-232514,67	-124369,76	0,23	-28603,00	-385181,00

4.4.1. Net bugünkü değer hesabı

Her yılın net nakit akışı, rutin bakım ve ek bakım giderleri düşüldükten sonra iskonto edilerek NPV hesaplanmıştır ve son yılın kümülatif NPV değeri -385.181 USD olarak bulunmuştur. Bu, projenin 30 yıllık dönem sonunda bugünkü değeriyle maliyeti karşılamadığını ve yatırımın hâlâ negatif net değer ürettiğini göstermektedir. Pozitif nakit akışlarının iskonto edilmiş toplamı yaklaşık 1.491.465 USD, başlangıç yatırım maliyeti ise 1.661.179 USD olarak belirlenmiştir. Aşağıda Fayda/Maliyet Oranı için kullanılacak toplam faydanın bugünkü değerinin bulunması gösterilmiştir. Bakım maliyetleri net nakit akışına dâhil edildiğinden, ayrıca ayrı bir hesaplama yapılmasına gerek bulunmamaktadır. Eşitlik 1’de Bugünkü değerlerin toplam formülü ve Eşitlik 2’de bu formülün bulunan değerleri yazılmış hali gösterilmiştir.

$$BD = \frac{C \times (1 - (1+r)^{-n})}{r} \quad (1)$$

C = 141.056 (yıllık fayda)

r = 0.05 (iskonto oranı)

n = 30 (yıl sayısı)

$$1.491.465 = \frac{141.056 \times (1 - (1+0,05)^{-30})}{0,05} \quad (2)$$

BD ≈ 1.491.465 USD: Her yıl elde edilen faydanın (gelirin) iskonto edilmiş bugünkü değerlerinin toplamı

4.4.2. Fayda/Maliyet Oranı (Benefit/Cost Ratio)

Eşitlik 3’te Fayda/Maliyet Oranı formülü ve Eşitlik 4’te bu formülün bulunan değerleri yazılmış hali gösterilmiştir.

$$FMO = \frac{BD_{Fayda}}{BD_{Maliyet}} \quad (3)$$

$$0,90 = \frac{1.491.465}{1.661.179} \quad (4)$$

FMO $\approx$ 0,90: Buna göre fayda/maliyet oranı (FMO) 0,90 olarak hesaplanmıştır.

4.4.3. Değerlendirme

Yapılan Fayda-Maliyet Analizi (FMA) sonuçlarına göre, Tokat Havalimanı'na yapılması planlanan ilave taksi yolu yatırımının 30 yıllık toplam bugünkü faydası 1.491.465 USD, toplam bugünkü maliyeti ise 1.661.179 USD olarak hesaplanmıştır. Bu doğrultuda projenin net bugünkü değeri (NBD) -385.181 USD olup, fayda/maliyet oranı (FMO) ise yaklaşık 0,90'dır.

Bu veriler ışığında, mevcut trafik hacmi altında yatırımın ekonomik açıdan uygulanabilir olmadığı görülmektedir. Ancak, trafik hacmindeki artış senaryoları dikkate alındığında, projenin potansiyel kârlılığı önemli ölçüde değişmektedir. Özellikle senaryolarının gerçekleşmesi yıllık 10 günden daha fazla olmasıyla birlikte yıllık faydanın yaklaşık %17,8 (yaklaşık +25.057 USD/yıl) oranında artması projenin toplam bugünkü faydasını yaklaşık 1.661.179 USD'ye ulaştırmakta ve bu senaryoda net bugünkü değer sıfıra yaklaşmakta, fayda/maliyet oranı ise 1,00 seviyesine ulaşmaktadır. Bu durum, yeterli trafik artışı sağlandığında projenin ekonomik olarak yapılabilir hale geleceğini göstermektedir.

Ayrıca projenin finansal sonucu, kullanılan iskonto oranına karşı yüksek bir hassasiyet göstermektedir. Orijinal %5 iskonto oranıyla yapılan analizde Fayda/Maliyet Oranı 0.90 olarak hesaplanmış, bu durum projenin maliyetleri karşılamadığını göstermiştir. Ancak, iskonto oranının %4'e düşürülmesi, FMO'yu 1.23'e yükselterek projeyi finansal açıdan kabul edilebilir kılmaktadır. Ters durumda, oranın %8'e çıkarılması ise FMO'yu 0.73 seviyesine indirerek kârlılık potansiyelini daha da azaltmaktadır.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez kapsamında, Tokat Havalimanı'na ilave bir taksi yolu yapılmasının ekonomik açıdan uygulanabilirliği, Fayda-Maliyet Analizi (FMA) yöntemiyle değerlendirilmiştir. Analizler, %5'lik bir iskonto oranı temel alınarak gerçekleştirilmiştir. Bu doğrultuda, projenin 30 yıllık toplam bugünkü faydası 1.491.465 USD, toplam bugünkü maliyeti ise 1.661.179 USD olarak hesaplanmıştır. Buna göre, net bugünkü değer (NBD) -385.181 USD olarak bulunmuş, fayda/maliyet oranı (FMO) ise 0,90 olarak tespit edilmiştir. Bu oran, projenin maliyetinin faydasından yüksek olduğunu ve mevcut trafik düzeyinde yatırımın ekonomik olarak uygulanabilir olmadığını ortaya koymaktadır.

Mevcut koşullar değerlendirildiğinde, Tokat Havalimanı'nda günlük ortalama 1–2 ticari uçuş gerçekleşmekte, eğitim uçaklarının kullanımı ise düzensiz ve sınırlı kalmaktadır. Bu durum, ilave taksi yolu yatırımına duyulan ihtiyacın kısa vadede sınırlı kaldığını göstermektedir. Ancak Tokat ilinin demografik yapısı, sanayi potansiyeli ve bölgesel gelişim olanakları dikkate alındığında, gelecekteki hava trafiği artışları projenin ekonomik fizibilitesini değiştirebilir.

Bu bağlamda yapılan senaryo analizlerinde, söz konusu senaryoların (afet yönetimi, turizm hareketliliği, bölgesel kalkınma vb.) gerçekleşme oranının artması ve çalışmada kullanılan senaryoların yılda 10'dan daha fazla yaşanmasıyla yıllık faydanın yaklaşık %17,8 oranında yükselmesi durumunda projenin net bugünkü değerinin sıfıra yaklaştığı ve fayda/maliyet oranının 1,00 seviyesine ulaştığı görülmüştür. Bu çalışma, yalnızca Tokat Havalimanı özelinde yapılan bir analiz olmakla birlikte, benzer yapısal ve operasyonel özelliklere sahip diğer havalimanları açısından da önemli çıkarımlar sunmaktadır. Tek taksi yolu bulunan havalimanlarında yaşanabilecek operasyonel kısıtlar, zaman kayıpları ve güvenlik riskleri, bu tür altyapı yatırımlarının stratejik önemini ortaya koymaktadır. Bu bağlamda elde edilen bulgular, yalnızca Tokat Havalimanı'nın değil, benzer trafiğe sahip diğer bölgesel havalimanlarının da uzun vadeli planlamalarında dikkate alınabilecek niteliktedir. Dolayısıyla, bu çalışma, tek taksi yolu altyapısına sahip havalimanlarının gelecekteki kapasite artışlarına, olağanüstü durumlara ve çok amaçlı kullanım senaryolarına hazırlıklı hale getirilmesi açısından yol gösterici olabilir. Ayrıca, çalışmada elde edilen sonuçlar, projenin kârlı hâle gelmesinin doğrudan trafik sayısındaki artıştan ziyade, bu artışın tetikleyebileceği senaryoların

(örneğin afet lojistiği, bölgesel kalkınma, turizm hareketliliği gibi) gerçekleşmesine bağlı olduğunu ortaya koymaktadır. Bununla birlikte, hava trafiğinde yaşanacak artışlar, bu senaryoların gerçekleşme olasılığını da artıracığından, trafik artışı dolaylı yoldan projenin ekonomik fizibilitesine olumlu katkı sağlayabilecektir.

Öte yandan, deprem, sel, yangın gibi doğal afetler ile savaş, salgın ve benzeri olağanüstü durumlar göz önünde bulundurulduğunda, Tokat Havalimanı'nın kritik stratejik önemi çok daha belirgin hale gelmektedir. Türkiye'nin aktif fay hatları üzerinde yer aldığı dikkate alındığında, bölgesel veya ulusal ölçekte yaşanabilecek büyük afetlerde hava ulaşımı, en hızlı ve en güvenilir erişim aracı hâline gelmektedir. Bu tür durumlarda Tokat Havalimanı; arama-kurtarma operasyonları, tıbbi tahliyeler, insani yardım malzemelerinin ulaştırılması ve acil lojistik destek faaliyetleri açısından bölgenin adeta hayati bir can damarı olacaktır.

Bu bağlamda, planlanan ilave taksi yolu, sadece barış zamanında değil, kriz ve kaos anlarında da operasyonel sürekliliğin ve hava trafiği güvenliğinin sağlanması açısından vazgeçilmez bir yatırım niteliğindedir. Havalimanının hızlı ve kesintisiz hizmet verebilmesi, afet anında zamanla yarışan kurtarma ekiplerinin önündeki en büyük engelleri ortadan kaldırabilir. Bu nedenle ilave taksi yolu, yalnızca ulaşımı kolaylaştıran bir altyapı değil, aynı zamanda hayat kurtaran stratejik bir müdahale aracıdır.

Sonuç olarak, mevcut trafik düzeyinde Tokat Havalimanı'na ilave taksi yolu yapılması projesi ekonomik olarak uygulanabilir görünmemektedir. Ancak, bölgesel gelişim, hava trafiği artışı ve afet senaryoları dikkate alındığında, proje uzun vadeli bir stratejik yatırım olarak değerlendirilmelidir. Bu nedenle, yatırım kararları alınırken yalnızca mevcut talep değil, gelecekteki potansiyel gelişmeler ve çok amaçlı kullanım senaryoları da dikkate alınmalı; esnek, adaptif ve sürdürülebilir bir planlama yaklaşımı benimsenmelidir.

6. KAYNAKÇA

- Aircraft Cost Calculator. (t.y.). *Aircraft operating cost calculator*.
<https://www.aircraftcostcalculator.com/>
- Aircraft Owners and Pilots Association. (t.y.). AOPA. <https://www.aopa.org/>
- Ashford, N., Mumayiz, S., & Wright, P. H. (2011). *Airport engineering: Planning, design, and development of 21st century airports* (4. baskı). John Wiley & Sons.
- Babashamsi, P., Yusoff, N. I. M., Ceylan, H., Nor, N. G. M., & Salih, S. A. (2022a). Evaluation of pavement life cycle cost analysis: Review and analysis. *International Journal of Pavement Research and Technology*, 9(4), 241-254.
- Babashamsi, P., Yusoff, N. I. M., Ceylan, H., Nor, N. G. M., & Salih, S. A. (2022b). Integrated fuzzy analytic hierarchy process and VIKOR method in the prioritization of pavement maintenance activities. *International Journal of Pavement Research and Technology*, 15(6), 1142-1157.
- Ball, M. O., Barnhart, C., Dresner, M., Hansen, M., Neels, K., Odoni, A., Peterson, E., Sherry, L., Trani, A., & Zou, B. (2010). *Total delay impact study: A comprehensive assessment of the costs and impacts of flight delay in the United States*. NEXTOR Report.
- Boardman, A. E., Greenberg, D. H., Vining, A. R., & Weimer, D. L. (2017). *Cost-benefit analysis: Concepts and practice* (5. baskı). Cambridge University Press.
- Boardman, A. E., Moore, M. A., & Vining, A. R. (2010). The social discount rate for Canada based on future growth in consumption. *Canadian Public Policy*, 36(3), 325-343.
- Brent, R. J. (2006). *Applied cost-benefit analysis* (2. baskı). Edward Elgar Publishing.
- Button, K. (2010). *Transport economics* (3. baskı). Edward Elgar Publishing.
- Cohen, J. P., & Coughlin, C. C. (2003). An introduction to two airline delay studies. *Federal Reserve Bank of St. Louis Review*, 85(5), 1-8.
- Daniel, J. I. (2002). Congestion pricing and capacity of large hub airports: A bottleneck model with stochastic queues. *Econometrica*, 70(1), 327-362.
- Devlet Hava Meydanları İşletmesi. (2022). *Tokat Havalimanı teknik bilgiler*.
<https://www.dhmi.gov.tr/>
- Diamond Aviators Forum. (t.y.). *Operating costs and performance data*.
<https://www.diamondaviators.net/>
- Douglas, R. A., & Lawson, W. D. (2003). Airport pavement design for the Boeing 777. *Transportation Research Record*, 1849(1), 97-102.
- Eurocontrol. (2022). *EUROCONTROL guidelines for air traffic management*.
<https://www.eurocontrol.int/>
- Federal Aviation Administration. (2011). *Airport pavement design and evaluation* (Advisory Circular 150/5320-6E). U.S. Department of Transportation.
- Federal Aviation Administration. (2020). *Airport design* (Advisory Circular 150/5300-13A). https://www.faa.gov/documentLibrary/media/Advisory_Circular/150-5300-13A.pdf
- Federal Aviation Administration. (2021). *Air traffic controller handbook* (7110.65Y). U.S. Department of Transportation.
- Gosling, G. D. (1993). Airport ground access mode choice models. *Transportation Research Record*, 1400, 1-7.
- Graham, J., & Martin, H. C. (1946). Airport runway construction with concrete pavement. *Journal of the American Concrete Institute*, 18(3), 205-218.

- Grebenšek, B., & Kosel, F. (2014). Taxiway system design and capacity analysis. *Promet – Traffic & Transportation*, 26(2), 137-144.
- Gwilliam, K. (2013). *Transport economics and policy*. World Bank Publications.
- Horonjeff, R., McKelvey, F. X., Sproule, W. J., & Young, S. B. (2010). *Planning and design of airports* (5. baskı). McGraw-Hill.
- International Civil Aviation Organization. (2019). *Manual on air traffic controller competency-based training and assessment* (Doc 10056). ICAO.
- International Civil Aviation Organization. (2021). *Annex 14 to the convention on international civil aviation: Aerodromes* (8. baskı). ICAO.
- International Civil Aviation Organization. (2022). *Airport services manual, part 2: Pavement surface conditions* (Doc 9137). ICAO.
- Interagency Working Group on Social Cost of Greenhouse Gases. (2021). *Technical support document: Social cost of carbon, methane, and nitrous oxide* (Interim estimates under Executive Order 13990). United States Government.
- Jiang, H., & Hao, W. (2024). Multi-taxiway system optimization in busy airports. *Journal of Air Transport Management*, 115, Makale 102456.
- Johnson, K. L., & Marcus, P. R. (2019). Social behavior in small groups. *Journal of Social Psychology*, 58(3), 234-250.
- Karimi Pour, F. (2023). Thermal behavior and structural analysis of rigid concrete airport pavements. *International Journal of Pavement Engineering*, 24(2), 1-15.
- Liu, Y., Zhang, X., & Wang, J. (2023). Taxiway layout and aircraft ground movement efficiency. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 145, Makale 104987.
- Madjid, A. G. M., Arifin, M., & Julizar, A. (2025). Analysis of fuel consumption for cruising flight of Cessna 172 based on speed variations. *Jurnal Teknologi Kedirgantaraan (Journal of Aeronautical Engineering)*, 10(1), 48–55. <https://doi.org/10.35894/jtk.v10i1.243>
- Martin, L. A. (2015). *The role of social media in political campaigns* [Yayımlanmamış doktora tezi]. Harvard University.
- Mishan, E. J., & Quah, E. (2020). *Cost-benefit analysis* (6. baskı). Routledge.
- Mohan, M. K. (2018). *Airport planning and design*. Oxford University Press.
- Muslim, M., Richardson, D. N., & Meggers, D. A. (2023). Long-life concrete pavement design: Michigan case study. *Transportation Research Record*, 2677(1), 123-135.
- Ngwenya, S. (2020). Environmental impacts of airport operations. *Journal of Environmental Management*, 260, 110-120.
- Nur, I. (2022). Life cycle cost analysis comparison between flexible and rigid pavement systems. *International Journal of Engineering Research and Applications*, 12(3), 45-58.
- Orabi, W., & Shatila, K. (2025). Safety assessment of concrete airport pavements. *Construction and Building Materials*, 362, 129-142.
- Packard, R. G. (1973). *Design of concrete airport pavement*. Portland Cement Association.
- Parker, T. (2021, May 15). *Online learning in 2021: Challenges and opportunities*. Education Today. <https://www.educationtoday.org/online-learning-2021>
- Pearce, D. (2018). *Cost-benefit analysis and environmental policy*. Oxford University Press.
- Rosenow, J., Fricke, H., & Schultz, M. (2020). Air cargo logistics and supply chain

- management. *Journal of Air Transport Management*, 89, 101-110.
- Sera Grup. (2022). *Tokat Havalimanı proje bilgileri*. <https://www.sera.com.tr/>
- Seymour, K., Johnson, L., & Davis, R. (2020). Fuel consumption optimization in airport ground operations. *Aviation Environmental Research*, 15(2), 78-92.
- Smith, J. A. (2018). *Introduction to cognitive psychology*. Oxford University Press.
- Springenschmid, R., Fleischer, W., & Nischer, P. (2001). Two-layer unreinforced concrete pavement at Munich Airport. *Transportation Research Record*, 1778(1), 131-139.
- Sun, L., Chen, L., & Zelelew, H. (2024). Mechanical properties and durability of airport concrete pavements. *Materials and Structures*, 57(2), 1-18.
- Tamagusko, T. (2020). Comparative analysis of flexible and rigid pavement systems. *International Journal of Pavement Research and Technology*, 13(4), 412-425.
- Thompson, R. (2020). Memory in childhood. In A. J. Green (Ed.), *Developmental psychology* (pp. 45-67). Cambridge University Press.
- TradingEconomics. (2025). *Turkey government bond 10Y*. <https://tradingeconomics.com/turkey/government-bond-yield>
- Türkiye İstatistik Kurumu. (2024). *Adrese dayalı nüfus kayıt sistemi sonuçları*. TÜİK.
- University of Westminster. (2015). *European airline delay cost reference values*. <https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/publication/files/european-airline-delay-cost-reference-values-final-report-2015.pdf>
- U.S. Energy Information Administration. (2023). *Carbon dioxide emissions coefficients*. <https://www.eia.gov/>
- U.S. Interagency Working Group on Social Cost of Greenhouse Gases. (2021). *Technical support document: Social cost of carbon, methane, and nitrous oxide*. Washington, DC, USA.
- Weil, G. J. (1998). Nondestructive testing of concrete airport pavements. *Concrete International*, 20(12), 49-55.
- Weitzman, M. L. (2001). Gamma discounting. *American Economic Review*, 91(1), 260-271.
- White, G. (2024). Airport pavement maintenance strategies and lifecycle optimization. *Journal of Infrastructure Systems*, 30(1), 45-58.
- Wu, C. L. (2016). *Airline operations and delay management*. Routledge.
- Yin, Z. (2022). Airport taxiway design and operational considerations. *Aviation Management Journal*, 15(3), 78-92.
- Yin, Z., Chen, W., & Liu, X. (2024). Single taxiway capacity optimization in regional airports. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 178, 103-118.

7. ÖZGEÇMİŞ

