



TÜRKİYE İÇİN İKİNCİL MERKEZ HAVALİMANI YER SEÇİMİ

Ecem YAZICI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TRAFİK PLANLAMASI VE UYGULAMASI ANA BİLİM DALI

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

HAZİRAN 2021

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Ecem YAZICI

15/06/2021

TÜRKİYE İÇİN İKİNCİL MERKEZ HAVALİMANI YER SEÇİMİ
(Yüksek Lisans Tezi)

Ecem YAZICI

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Haziran 2021

ÖZET

Hava ulaşım sistemi, havalimanlarının düğümler ve uçuş güzergâhlarının bağlantılar olarak temsil edildiği bir ağ görünümündedir. Havalimanlarının diğer havalimanlarına sağladıkları bağlantıların derecesi havayolu taşımacılığında bağlanabilirlik olarak tanımlanmaktadır. Havayolu taşımacılığı sektöründeki serbestleşme sonrası artan rekabet ortamıyla birlikte havalimanlarının bağlanabilirlikleri giderek daha fazla önem kazanan bir konu haline gelmektedir. Türkiye'nin Asya ve Avrupa kıtaları arasında köprü oluşturan avantajlı coğrafi konumunun etkisi ve Türkiye'de faaliyet gösteren havayolu işletmelerinin ağ yapılarına uyguladıkları topla ve dağıt sistemi sayesinde İstanbul kenti büyük bir aktarma noktası konumuna gelmiştir. Ancak havayolu ulaşımına artan talep, nüfus artışı, turizm ve ticaret hacmi, havalimanlarının kapasite kısıtları ile mevcut ve yapımı devam eden ulaşım altyapısı yatırımları düşünüldüğünde Türkiye'de çok merkezli bir ağ yapısının oluşturulması ile havayolu taşımacılığında bağlanabilirliğin artacağı ve yerel pazarın daha çok gelişeceği değerlendirilmektedir. Bu çalışmada, Türkiye'de çok merkezli havayolu taşımacılığı modelinin geliştirilmesine katkı sağlanması amacıyla; havayolu taşımacılığında merkez üs yer seçimi problemi hakkında literatür çalışması yapılmış ve havalimanlarının bağlanabilirliğini etkileyen unsurlar göz önünde bulundurularak ülke şartlarına uygun merkez üs yer seçimi modeli geliştirilmiştir. Model çözümü için GAMS yazılımı kullanılmıştır. Hızlı tren erişilebilirliği, yeşil havalimanı uygulamaları ve Covid-19 pandemisinin etkilerinin de ölçülebilmesi amacıyla farklı senaryolar üretilmiş ve çözüm sonuçları değerlendirilmiştir.

Bilim Kodu : 91124

Anahtar Kelimeler : Merkez havalimanı, merkez yer seçimi problemi, topla ve dağıt ağ yapısı, havayolu taşımacılığında bağlanabilirlik, havalimanı bağlanabilirliği

Sayfa Adedi : 245

Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Seda HATİPOĞLU

SECONDARY HUB AIRPORT LOCATION SELECTION FOR TURKEY

(M. Sc. Thesis)

Ecem YAZICI

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

June 2021

ABSTRACT

The air transportation system looks like a network in which airports are represented as nodes and flight routes as links. The degree of connections between airports are defined as air connectivity. Airport connectivity is becoming an increasingly important issue with the increasing competition environment after liberalization in the air transport sector. Thanks to Turkey's advantageous geographical location that forms a bridge between the Asian and European continents, and the hub and spoke system applied to the network structures of the airline companies operating in Turkey, the city of Istanbul has become a major transfer point. However, considering the increasing demand for air transportation, population growth, tourism and trade volume, capacity constraints of airports and existing and ongoing transportation infrastructure investments, it is evaluated that the air connectivity will increase and the local market will develop more with the establishment of a multi-hub network structure in Turkey. In this study, in order to contribute to the development of a multi-hub air transportation model in Turkey; A literature study has been conducted on the hub location problem in air transportation, and a hub location model has been developed considering the factors affecting the airport connectivity. GAMS software was used for model solution. Different scenarios were produced and solution results were evaluated in order to measure the effects of high speed train accessibility, green airport applications and the Covid-19 pandemic.

Science Code : 91124

Key Words : Hub airport, hub location problem, hub and spoke system, air connectivity, airport connectivity

Page Number : 245

Supervisor : Assist. Prof. Dr. Seda HATİPOĞLU

TEŞEKKÜR

Türkiye için İkincil Merkez Havalimanı Yer Seçimi isimli tez çalışmam boyunca bilgi, tecrübe, yardım ve katkılarıyla destek sağlayan saygıdeğer tez danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Seda HATİPOĞLU'na ve manevi destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan aileme ve sevdiklerime teşekkürlerimi sunarım.



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ	x
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xii
1. GİRİŞ.....	1
2. HAVAYOLU TAŞIMACILIĞINDA BAĞLANABİLİRLİK VE MERKEZ HAVALİMANI KAVRAMI	3
2.1. Havayolu Taşımacılığında Bağlanabilirlik Kavramı.....	4
2.1.1. Doğrudan bağlanabilirlik.....	5
2.1.2. Dolaylı bağlanabilirlik.....	5
2.1.3. Havalimanı bağlanabilirliği	5
2.1.4. Merkez bağlanabilirliği	6
2.2. Havayolu Taşımacılığında Bağlanabilirliğini Etkileyen Unsurlar	6
2.2.1. Ekonomi	6
2.2.2. Turizm	7
2.2.3. Altyapı.....	7
2.2.4. Diğer ulaşım modları.....	8
2.2.5. Coğrafya	9
2.2.6. Nüfus ve sosyo-ekonomik gelişim	9
2.3. Havayolu Uçuş Ağında Topla ve Dağıt Sistemi ve Merkez Havalimanları....	9
2.3.1. Çok merkezli hava ulaşım ağı	10

	Sayfa
2.4. Sürdürülebilir Ulaşım Ağı	11
2.5. COVID-19'un Havayolu Taşımacılığında Bağlanabilirlik Üzerindeki Etkileri	12
3. TÜRKİYE'DE HAVAYOLU TAŞIMACILIĞI	15
3.1. Türkiye'deki Havalimanlarının Bağlanabilirliklerinin Değerlendirilmesi	16
3.2. Diğer Ulaşım Modlarındaki Çalışmalar	18
3.3. Yeşil Havalimanı Uygulamaları	19
4. MERKEZ ÜS YER SEÇİM PROBLEMİ.....	21
4.1. Modeller	27
4.1.1. Tek merkezli yer seçim problemi (O'Kelly 1987)	27
4.1.2. Tek atamalı merkez üs yer seçim problemi (O'Kelly 1987, Daskin 1995)	27
4.1.3. Çok atamalı merkez üs yer seçimi problemi (Campbell 1991)	28
4.1.4. Sabit maliyetli merkez üs yer seçimi problemi (O'Kelly 1992)	28
4.1.5. Genişletilmiş sabit maliyetli merkez üs yer seçimi modeli (Campbell 1994)	28
4.1.6. Minimum değer akışı modeli (Campbell 1994)	28
4.1.7. Kapasite sınırlı merkez yer seçim modeli (Campbell 1994)	28
4.1.8. Merkez üs merkezi yer seçim problemi (Campbell 1994)	29
4.1.9. Merkez kaplama problemi (Campbell 1994).....	29
4.1.10. Çok modlu merkez üs yer seçimi problemi	29
4.1.11. Sürdürülebilir merkez üs yer seçimi problemi	30
4.2. Merkez Yer Seçimi Problemi Çözüm Teknikleri	30
5. METODOLOJİ.....	31
5.1. Matematiksel Model Kriterleri	31
5.2. Matematiksel Model	32

	Sayfa
5.3. Çözüm Yaklaşımı	36
5.4. Senaryolar ve Çözüm Sonuçları	36
5.4.1. Senaryo 1	36
5.4.2. Senaryo 2	38
5.4.3. Senaryo 3	40
5.4.4. Senaryo 4	41
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	45
KAYNAKLAR	49
EKLER	55
ÖZGEÇMİŞ	245

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. Türkiye geneli tüm uçak trafiği (DHMI, 2020)	15
Çizelge 3.2. Türkiye'deki havalimanlarının bağlanabilirlik değerleri (ACI EUROPE, 2019)	16
Çizelge 4.1. Havayolu sektöründe merkez üs yer seçimi problemi literatür taraması....	25
Çizelge 5.1. Senaryo çözüm sonuçları	43



ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Benzersiz şehir çitleri ve havayolu taşımacılığı maliyetleri (IATA Economics, 2020)	3
Şekil 2.2. Bağlanabilirlik türleri.....	5
Şekil 2.3. Havayolu taşımacılığında bağlanabilirlik ve ekonomik büyüme	7
Şekil 2.4. Havayolu trafiği (IATA, 2020).....	12
Şekil 3.1. Dolaylı bağlanabilirlik, doğrudan bağlanabilirlik ve havalimanı bağlanabilirliği sıralamaları (ACI EUROPE, 2019).....	17
Şekil 3.2. Merkez bağlanabilirliği sıralaması (ACI EUROPE, 2019)	17
Şekil 4.1. 6 düğüm ve 30 bağlantıyla tamamen bağlı bir ağ yapısı (Hekmatfar ve Pishvae, 2009)	22
Şekil 4.2. 6 düğüm ve 10 bağlantıyla bir topla ve dağıtım ağ yapısı (Hekmatfar ve Pishvae, 2009)	22
Şekil 4.3. Üç merkezli ağ yapısı örneği (Hekmatfar ve Pishvae, 2009)	23
Şekil 5.1. Sosyal, ekonomik ve çevresel sürdürülebilirlik kısıtları.....	32

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler

Açıklamalar

CO₂

Karbondiyoksit

Kısaltmalar

Açıklamalar

ABD

Amerika Birleşik Devletleri

ACI EUROPE

Airports Council International Europe

AP

Australia Post

ARWN

Airport-Railway Network

CAB

Civil Aeronautics Board

DHMI

Devlet Hava Meydanları İşletmesi

GAMS

General Algebraic Modeling System

GSYİH

Gayrisafi Yurtiçi Hasıla

HLP

Hub Location Problem

IATA

International Air Transport Association

ICAO

International Civil Aviation Organization

SHGM

Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü

THY

Türk Hava Yolları

TR

Türkiye

TÜİK

Türkiye İstatistik Kurumu

UAB

Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı

1. GİRİŞ

Havayolu taşıyıcıları, rekabet güçlerini artırabilmek için uçuş ağlarına topla ve dağıt sistemini uygulamaya başlamışlardır. Bu sistemde, farklı başlangıç noktalarından aynı varış noktasına veya aynı başlangıç noktasından farklı varış noktalarına gerçekleştirilen uçuşlar, merkez olarak adlandırılan bir ara noktadan geçerek tek noktada toplanmaktadır. Merkezler, havayollarının yolcuları varış noktalarına ulaştırırken aktarma noktası olarak kullandıkları havalimanlarıdır.

Havacılıkta bağlanabilirlik en genel anlamıyla yolcu, posta ve kargoların varış noktalarına mümkün olan en kısa süre, en uygun ücret ve optimum kullanıcı memnuniyeti ile taşınması olarak tanımlanmaktadır. Geniş ekonomik etkileri nedeniyle birçok ülkenin politika gündeminde gittikçe daha fazla yer alan bir konudur. Bağlanabilirliğin geliştirilmesine yönelik çalışmalar yoğunlukla havalimanı altyapısına ya da hava ulaşım bağlantılarına odaklanmaktadır. Bir havalimanının, küresel hava ulaşım ağına sağladığı bağlantılar önemlidir ancak bağlanabilirliği sadece havalimanlarının arasındaki bağlantılar olarak değerlendirmek yeterli değildir. Diğer ulaşım modlarının etkisi ve kullanıcı tercihlerini etkileyen faktörler gibi göz önünde bulundurulması gereken farklı konular da bulunmaktadır.

Bu tez çalışmasının ikinci bölümünde havayolu taşımacılığında bağlanabilirlik, havayolu uçuş ağında topla ve dağıt sistemi ve merkez havalimanı kavramları ve havalimanlarının bağlanabilirliğini etkileyen unsurlar açıklanmıştır. Çok merkezli ve sürdürülebilir hava ulaşım ağları değerlendirilmiştir. Son olarak Covid-19 pandemisinin havayolu taşımacılığı üzerindeki etkileri incelenmiştir.

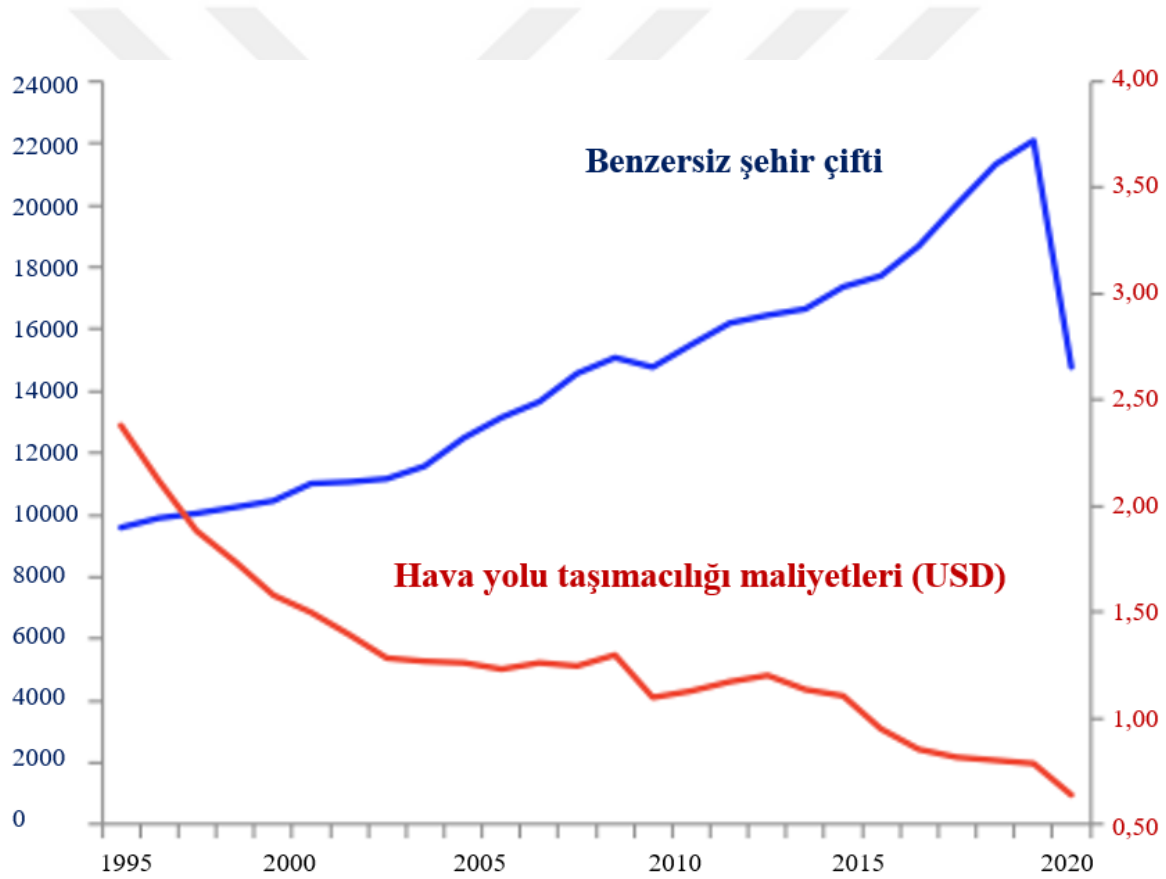
Üçüncü bölümde, Türkiye'deki havayolu taşımacılığı faaliyetlerinin gelişimi değerlendirilmiş, diğer ulaşım modlarındaki gelişmelere değinilmiş ve yeşil havalimanı uygulamaları açıklanmıştır. Türkiye'nin coğrafi konum avantajının da etkisiyle İstanbul kenti dünyanın en hızlı gelişen merkezleri arasında yer almaktadır.

Dördüncü bölümde, merkez üs yer seçimi problemi tanımlanmış, havayolu taşımacılığında merkez üs yer seçimi modeli için literatür taraması yapılmış ve literatürde yer alan modeller özet olarak sunulmuştur.

Beşinci bölümde, Türkiye’de İstanbul kentinden sonra uluslararası uçuşlar için bölgesel merkez konumunda olacak ikincil havalimanlarının belirlenmesi amacıyla bağlanabilirliği etkileyen unsurları göz önünde bulunduran çok atamalı bir merkez üs yer seçimi modeli geliştirilmiştir. Literatürde yer alan çalışmalardan farklı olarak, hızlı tren erişilebilirliği, yeşil havalimanı uygulamaları, turizm, sosyo-ekonomik gelişmişlik ve havayolu bağlantılarına ilişkin kısıtlar modele dâhil edilmiştir. Mevcut hızlı tren hatlarının yanı sıra yapımı devam eden hızlı tren hatları da modele dahil edilmiştir. Hızlı tren bağlantılarının etkisini ölçmek amacıyla farklı senaryolar geliştirilmiş ve model GAMS (General Algebraic Modeling System - Genel Cebirsel Modelleme Sistemi) yazılımı kullanılarak çalıştırılmıştır. Ayrıca Covid-19 pandemisinin etkilerinin ölçülmesi amacıyla model, pandemi öncesi ve sonrası veriler kullanılarak ayrı ayrı çalıştırılmıştır.

2. HAVAYOLU TAŞIMACILIĞINDA BAĞLANABİLİRLİK VE MERKEZ HAVALİMANI KAVRAMI

Geçtiğimiz yıllar boyunca, havayolu taşımacılığı tüketicilere ve üreticilere, güzergâhlarda daha fazla seçenek ve giderek azalan bir maliyetle dünyanın geri kalanına daha hızlı bağlantılar sağlamıştır. 2019 yılında, havayolu taşımacılığı endüstrisi dünya çapında rekor sayıda şehri birbirine bağlayarak ilk kez 23.000 benzersiz şehir çifti bağlantısına ulaştı (IATA, 2020). Ayrıca, gelişen teknolojinin benimsenmesi ve daha düşük fiyatlar ile kullanıcılara sunulan hizmetlerdeki verimlilik arttıkça havayolu taşımacılığının maliyetleri azalmaktadır (Bkz. Şekil 2.1).



Şekil 2.1. Benzersiz şehir çiftleri ve havayolu taşımacılığı maliyetleri (IATA Economics, 2020)

Bu bölümde havayolu taşımacılığında bağlanabilirlik, havayolu taşıma ağında topla ve dağıt sistemi ve merkez havalimanı kavramları açıklanmış ve havayolu taşımacılığında bağlanabilirliği etkileyen unsurlar tanımlanmıştır.

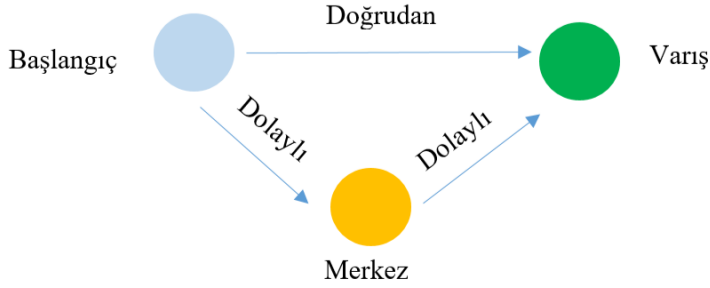
2.1. Havayolu Taşımacılığında Bağlanabilirlik Kavramı

Bağlanabilirlik, her sektörde farklı anlamlara gelen ve tek bir tanımı bulunmayan bir kavramdır. Telekomünikasyondan taşımacılığa kadar her alanda geçerli olan çok çeşitli tanımları ve farklı alanlarda farklı anlamları bulunmaktadır. Literatürde ulaştırma sektörüne yönelik olarak gerçekleştirilen çalışmalar genellikle bağlanabilirliği, altyapı elverişliliği ve kapasitesi olarak tanımlamaktadır. Havayolu taşımacılığı sektöründe gerçekleştirilen çalışmalarda ise bağlanabilirlik, ağdaki düğümlerin birbirlerine bağlanma derecesi olarak tanımlanmaktadır (Burghouwt ve Redondi, 2013). Bu çalışmalar genellikle çok sayıda bileşenden oluşan ve parçaların birbirleriyle etkileştiği karmaşık sistem teorisini uygulamaktadır. Örneğin, bir uçuş ağı, birbirine bağlanan havalimanları kümesinden oluşmaktadır ve bu havalimanları düğüm veya nokta, aralarındaki güzergâhlar ise bağlantı olarak tanımlanmaktadır (Zhang, Zhang, Zhu, Wang, 2017). Havalimanları, şehirleri, bölgeleri ve ekonomileri dünyanın geri kalanına fiziksel olarak bağlayarak, ulusal ve bölgesel erişilebilirliğin kolaylaştırılmasında önemli bir rol oynamaktadır.

Hava taşımacılığı sektöründeki hızlı büyüme, teknolojik gelişmeler ve havayolu ulaşımına artan talep ile birlikte, gerçekleştirilen operasyonların verimliliği, sağlanan hizmetlerin maliyet etkinliği, emniyeti ve güvenliği giderek daha fazla önem kazanmaktadır. Yolcu bakış açısından bağlanabilirlik, başlangıç noktasından varış noktasına mümkün olan en kısa sürede havayolu ile sorunsuz bir şekilde seyahat etme yeteneğini temsil etmektedir. Kargo işletmeleri açısından ise yükün başlangıç noktasından varış noktasına hızlı ve verimli bir şekilde teslim edilmesini sağlamak için en verimli güzergâhların sağlanmasıdır (IATA, 2020). Bir havayolu ulaşım sistemindeki yolcuların veya eşyaların başlangıç ve hedef düğümler arasında minimum bağlanma süresi ve fiyat artışı olmadan taşınması kullanıcılar açısından fayda sağlanacaktır (ICAO, 2013). Bu konularda performans standartlarını yakalamak, kullanıcı tercihlerinde belirleyici bir faktör olabilmekte ve dolayısıyla talebi etkilemektedir.

Havayolu ulaşım ağındaki bir hedef noktaya, havalimanları arasındaki doğrudan güzergâhlar ile ulaşım sağlanabileceği gibi aktarmalı bir güzergâh da kullanılabilir. Hedef ve varış noktaları arasında genellikle birkaç güzergâh vardır. İş amaçlı gerçekleştirilen uçuşlarda zaman kısıtı nedeniyle daha hızlı ve kolay bağlantılar önem kazanırken, tatil veya yakınları ziyaret amacıyla gerçekleştirilen uçuşlarda maliyet daha önemli bir unsur olabilmektedir.

Bir güzergâhın çekiciliği diğer seçeneklerin bağlanabilirliğine göre belirlenmektedir (Airports Commission, 2013). Literatürde tanımlı farklı bağlanabilirlik türleri bulunmaktadır (Bkz. Şekil 2.2).



Şekil 2.2. Bağlanabilirlik türleri

2.1.1. Doğrudan bağlanabilirlik

Havalimanları arasında sağlanan güzergâhlardır. Sadece varış noktaları açısından değil, aynı zamanda aynı varış noktasına uçuşların sıklığını da hesaba katarak ölçülür. Örneğin, bir havalimanından başka bir havalimanına günlük 5 uçuşu olan bir havalimanı, günlük 4 uçuşu olan bir havalimanından daha yüksek doğrudan bağlanabilirliğe sahiptir (ACI EUROPE, 2019).

2.1.2. Dolaylı bağlanabilirlik

Bir havalimanından, merkez havaalanları aracılığıyla gerçekleştirilen bağlantılı uçuşların sayısıdır. Dolaylı bağlantılar, güzergâh yolu ve bağlantı süresi gibi kalitelerine göre ağırlıklıdır (ACI EUROPE, 2019). Örneğin, Manchester ve Johannesburg arasında gerçekleştirilecek bir uçuş için Paris-Charles de Gaulle transferli planlanan bir uçuş, Doha transferli planlanan bir uçuşa göre daha yüksek dolaylı bağlanabilirliğe sahiptir (ACI EUROPE, 2019).

2.1.3. Havalimanı bağlanabilirliği

Adından da anlaşılacağı gibi, havalimanı bağlanabilirliği hem doğrudan hem de dolaylı bağlantıları hesaba katan, havalimanı bağlantıları için en kapsamlı ölçüdür. Havalimanı

bağlanabilirliği, doğrudan ve dolaylı bağlanabilirliğin toplamı olarak tanımlanmaktadır. Bir havalimanının, doğrudan uçuşlar ya da diğer havalimanları üzerinden gerçekleştirilen dolaylı bağlantılarla dünyanın geri kalanına nasıl bağlandığını göstermektedir (ACI EUROPE, 2019).

2.1.4. Merkez bağlanabilirliği

Merkez bağlanabilirliği, en kısa ve en uzun bağlanma sürelerini ve hizmet verilen bağlantıların kalitesini hesaba katarak, bir merkez havalimanından gerçekleştirilen bağlantılı uçuşların sayısı olarak tanımlanmaktadır (ACI EUROPE, 2019).

2.2. Havayolu Taşımacılığında Bağlanabilirliğini Etkileyen Unsurlar

Havayolu taşımacılığında bağlanabilirlik, bir ülkenin dünyadaki şehirlere ne kadar iyi bağlandığını yansıtır. Daha fazla havayolu bağlantısına erişim, bir ülkenin veya şehrin dünyanın geri kalanıyla ekonomik bağlar geliştirebilmesi için temeldir. Havayolu bağlantıları, yolcuların ve eşyaların uluslararası hareketliliğinin temelini oluşturur ve bu nedenle dünya çapında ekonomik büyümenin hayati bir motorudur (IATA, 2020).

2.2.1. Ekonomi

Havayolu taşımacılığında bağlanabilirlik ve ekonomi karşılıklı bir etkiye sahiptir. Ekonomik gelişme perspektifinden bakıldığında, bir şehrin veya ülkenin bölge içinde veya dünyanın geri kalanına ne kadar iyi bağlandığı önemlidir. Havayolu bağlantıları, yerel ve ulusal ekonomiler için rekabet gücünün artırılması ve ekonomik büyüme fırsatlarının iyileştirilmesi dâhil olmak üzere çeşitli faydalara sahiptir. Küresel ağa havayolu taşımacılığı ile sağlanan daha iyi erişim ekonomik akışlarda artışa neden olur. Bununla birlikte küresel ekonomi büyüdükçe, havayolu taşımacılığına olan talep de büyür ve bu da pazarlar arasında artan bir yolcu ve eşya akışına ve gelişmiş hava bağlantılarına dönüşür.



Şekil 2.3. Havayolu taşımacılığında bağlanabilirlik ve ekonomik büyüme

Küresel hava ulaşım ağıyla bağlantılar arttıkça, iş fırsatları da artarak uluslararası sermaye piyasalarına ve nitelikli insan kaynaklarına daha iyi erişim sağlanır. İş ortamı iyileştikçe, ekonomi büyür, bu da havayolu ulaşımı talebinde ve havayolu bağlantılarında daha fazla artışı teşvik eder ve ekonomik üretkenlikte büyüme için başka bir olumlu etki daha sağlar (IATA, 2020).

2.2.2. Turizm

Havayolu taşımacılığı, turizm için vazgeçilemez bir unsurdur. Havayolu bağlantıları, pazarları genişletmekte ve uluslararası merkezlere daha fazla erişim sağlamaktadır. Küresel ölçekte, uluslararası turistlerin %54'ü havayolu kullanarak seyahat etmektedir (IATA, 2020).

2.2.3. Altyapı

Bir havalimanının, yeni bağlantılar sağlayabilmesi için yeterli kapasitesinin bulunması temel şarttır. Merkez bağlantıları ile büyüyen havalimanlarının yeterli kapasitesinin bulunmaması, mevcut havayolu işletmelerinin yeni güzergâhlar için genişleyecek alan bulmasını ve yeni havayolu işletmelerinin pazara girişini zorlaştırmakta, uçuşlarda gecikmelere neden olmakta ve trafik ağının büyümesini olumsuz etkilemektedir. Merkez havalimanlarının kapasitesinin kısıtlı olması, havayolu işletmelerini daha kârlı güzergâhlar olan uzun mesafeli uçuşlara yöneltmektedir. Ana nüfus merkezleri dışındaki iç hat uçuşları bu durumdan olumsuz yönde etkilenmektedir. İç pazarın büyüklüğü yolcu talebini artırmaktadır bu nedenle kısa mesafeli

güzergâhlarda kayıpların yaşanması havayolu uçuş ağının büyümesini zorlaştırabilmektedir. Uluslararası Hava Taşımacılığı Birliği (International Air Transport Association–IATA), dünya hava taşımacılığı istatistiklerine göre 2016 yılında bağlanabilirliği en hızlı gelişim gösteren on pazar arasında; Çin, Amerika Birleşik Devletleri (ABD), Hindistan, Endonezya, Vietnam ve Tayland iç hatlarında gerçekleşen büyüme ile yer almaktadır. Bu doğrultuda, hem yerel pazarın talep tabanının gelişiminin sağlanması hem de uluslararası pazarlarda yeni bağlantıların kurulabilmesi için havayolu ulaşım altyapısının gelişimi önemli bir konudur.

2.2.4. Diğer ulaşım modları

Literatürde yer alan çalışmaların çoğu sadece tek bir taşımacılık modunun bağlanabilirliğine odaklanırken birçok ülkede birbirini tamamlayan birkaç ana ulaşım modu bulunmaktadır. Uzun mesafelerde hızlı tren seferlerinin geliştirilmesi ve karayollarının şehir merkezlerini bağlaması farklı tip ulaşım modelleri arasındaki rekabeti artırmaktadır. Birçok çalışma aynı güzergâhta hizmet sunun hızlı tren ve havayolu ulaşımının alternatif olduğunu göstermektedir. Uzun mesafeli güzergâhlar için Japonya, Çin, ABD ve Avrupa’da birçok ülkede havayolu ile hızlı demiryolu hatları baskın ulaşım şeklidir.

Çoğu araştırma, hızlı trenlerin sadece 700 km’nin altındaki mesafeler ile kısa ve orta mesafeli yollar için baskın taşıma şekli olduğunu göstermesine rağmen, Çin’deki hızlı trenlerin 1300 km’ye kadar olan rotalarda havayolu ulaşımına karşı daha iyi ve baskın bir seçenek haline geldiğini ortaya koymuştur (Zhu, Zhang, Zhang, 2017). Avrupa’da, yüksek hızlı trenler bazı güzergâhlarda havayolu ulaşımına olan talepleri azaltmaktadır. Bununla birlikte, Londra’dan Brüksel, Paris, Lyon ve Amsterdam’a bağlantı sağlayan Eurostar trenleri, kapasite sınırına ulaşan havalimanlarının yoğunluğunu azaltarak pazar trafiğinin yarısını taşımaktadır. Çin’de ise, Pekin’deki havalimanlarının kalabalıklaşması nedeniyle havayolu trafiğinin bir kısmının Tianjin ve Shijiazhuang havalimanlarına kaydırılması ve bu şehirlerin hızlı tren aracılığıyla Pekin’e bağlanması planlanmaktadır (Zhang ve diğerleri, 2017). Hızlı trenlerin havayolu taşımacılığının yerini alması, havalimanlarının bağlanabilirliği için bir tehdit unsuruyken hızlı tren ve havalimanı altyapılarının birbirini tamamlayacak şekilde planlanması, kapasite sorunu yaşayan büyük merkez havalimanlarının trafiğini hafifletebilecek ya da nispeten daha küçük havalimanlarının yolcu tabanını artırabilecek bir fırsattır.

2.2.5. Coğrafya

Coğrafi konum, ağırlıklı olarak iç pazar, uluslararası pazar veya küresel trafik akışı için bir transit merkez olma gibi bir ülkenin hava ulaşım pazarının özelliklerini belirler (PwC, 2014). Bir havalimanının coğrafi konumu, sağladığı güzergâhların kalitesi ve bağlanma süresi açısından önemli bir unsurdur. Elverişli bir coğrafi konum, havalimanlarının bağlanabilirliğinin genişletilebilmesi açısından bir avantaj oluşturmaktadır.

2.2.6. Nüfus ve sosyo-ekonomik gelişim

Nüfus, bir şehrin turizm ve iş dünyası için çekiciliği açısından önemli olan potansiyel pazar büyüklüğünü etkilemektedir (PwC, 2014). Bir şehrin bağlanabilirlik seviyesi nüfus büyüklüğüne bağlıdır. Daha büyük nüfusa sahip bölgeler doğal olarak daha fazla hedefe bağlıdır daha fazla koltuk sunmaktadır (IATA, 2020). Ayrıca, gelir düzeyi belirli bir seviyenin üstünde bulunan nüfus büyüdükçe havayolu ulaşımına olan talep artmaktadır. PwC (2014) tarafından, yaklaşık 200 ülke için kişi başına düşen gayrisafi yurtiçi hasıla (GSYİH) ile hava ulaşım seyahatleri arasındaki ilişkiyi araştırmak amacıyla gerçekleştirilen çalışma, GSYİH arttıkça uçuşların arttığını göstermektedir.

2.3. Havayolu Uçuş Ağında Topla ve Dağıt Sistemi ve Merkez Havalimanları

Hava ulaşım açısından en kârlı güzergâhlar, yeterli talebin olduğu büyük pazarlardır ancak bu pazarlar için doğrudan uçuşa yönelik talep genellikle yetersizdir. Bu nedenle havayolu işletmeleri operasyonları için topla ve dağıt sistemini geliştirmişlerdir. Topla ve dağıt sisteminde, aynı başlangıç konumundan farklı hedef konumlarına veya farklı başlangıç konumlarından aynı hedef konumlarına gerçekleştirilmesi planlanan uçuşların oluşturduğu hava trafiği, merkez havalimanı olarak isimlendirilen bir transfer noktasında toplanmaktadır. Bu sayede noktalar arasında doğrudan gerçekleştirilen uçuşlara göre daha fazla varış noktasına hizmet sağlanabilmektedir. Bu sistem havayolu taşımacılığı maliyetlerini azaltmadaki etkisi nedeniyle havayolu işletmeleri tarafından bir strateji olarak uygulanmaya başlanmıştır (Sugiyanto, Santosa, Wibowo, Santi, 2015). Borenstein'in (1989), havayolu işletmelerini topla ve dağıt ağ yapısına yönlendiren rekabet koşulları ve ekonomik unsurlar üzerine gerçekleştirdiği çalışma, ulaşım ağındaki noktaların birbirine bağlanması için daha

az sayıda bağlantının yeterli olması nedeniyle kaynakların daha etkin kullanımının sağlandığını göstermiştir.

Topla ve dağıtım ağı yapısı, kullanıcıların hedeflerine büyük bir merkez konumu üzerinden aktarma yaparak ulaşabilmelerini sağlar (Sugiyanto ve diğerleri, 2015). Bölgesel hava trafiği ve transfer trafiği, bu büyük merkezlerde birleştirilmektedir. Transfer noktası hizmeti sunan merkezler, farklı bölgelerde yer alabilen merkez havalimanı kavramını ortaya çıkarmıştır. Bir merkezin rekabet gücü, havalimanlarının ve havayolu işletmelerinin rekabet stratejilerinin ortak bir sonucudur (Redondi, Malighetti, Paleari, 2011). Merkez havalimanları, havayolu işletmelerinin operasyonunu kolaylaştırırken bağlanabilirliğin sağladığı getirilerinden de faydalanmaktadır. Ancak, merkez operasyonlarının gerçekleştirilebilmesi için özel altyapı gereklilikleri bulunmaktadır. Coğrafi konum, havalimanı hizmet kalitesi, havalimanı olanakları, pik saat kapasitesi, uluslararası uçuşlar için trafik hakları portföyü ve havalimanı erişilebilirliği gibi kriterler, havalimanlarının bir merkez olarak gelişimi açısından önemlidir. Bu nedenle, nispeten daha az sayıda havalimanı büyük havayolu işletmelerinin merkez operasyonları için yeterli kapasiteye sahiptir. Merkez havalimanında faaliyet gösteren havayolu işletmelerinin, merkez havalimanına eklediği her yeni güzergâh, merkez üzerinden gerçekleştirilebilecek farklı bağlantı olanakları sunmaktadır. Ancak bir merkez havalimanı işlevini kaybettiğinde bunu geri almak kolay değildir (Redondi, Malighetti, Paleari, 2012).

2.3.1. Çok merkezli hava ulaşım ağı

Topla ve dağıtım ağı yapısını uygulayan havayolu işletmelerinin faaliyetleri için hava trafiğini tek bir noktada toplaması avantaja sahiptir. Ancak merkez olarak belirlenen havalimanının kapasitesinin yetersiz kalmaya başlaması durumunda pazardaki büyümeyi devam ettirebilmek için ikincil merkezler kullanılmaktadır. Bu durumda, mevcut havalimanlarının kapasite kullanımını artırmak için ikincil bir merkez inşa etmek yerine havalimanı trafiğinin dağıtılması tercih edilmektedir.

Aynı bölgede birden fazla havalimanı olması durumunda, birincil merkezlerdeki uçuş sıklığının yüksek olması yolcuları çekmektedir ancak uçuşlarda gecikme yaşanması, uzun kuyruklar ve yüksek park ücretleri ikincil havalimanları için fırsat oluşturmaktadır (Zhang ve diğerleri, 2017). Ancak aynı bölgede bulunan havalimanları arasındaki rekabet,

bağlanabilirlik ve yerel pazar arasındaki ilişkiyi olumsuz yönde etkileyebilir. Belirli bir alanda hizmet sunan tek bir havalimanı, aynı pazarda hizmet sunan birden fazla havalimanı olması durumundan daha avantajlıdır.

Bununla birlikte, Adler ve Berechman (2001), tarafından gerçekleştirilen simülasyon çalışması, çok merkezli ağ yapısının etkili bir coğrafi konumlama ile uygulanması durumunda daha kârlı olduğunu ortaya koymuştur. Düdden (2006), tarafından gerçekleştirilen çalışma da benzer şekilde etkili bir şekilde planlanan çok merkezli ağ yapısının kârı maksimize ettiğini göstermiştir.

Lufthansa havayolu işletmesi, Frankfurt, Münih, Berlin, Düsseldorf, Viyana ve Zürih havalimanları ile 6 merkezli bir ağ yapısına sahiptir. Yaklaşık yıllık 64 milyon yolcu kapasitesi ile Avrupa'nın en büyük üç havalimanından biridir. Yıllık 39 milyon yolcu kapasitesi ile Münih, Almanya'nın en büyük ikinci havalimanıdır. Düsseldorf, Viyana ve Zürih diğer merkezlere göre daha kısa aktarma süresiyle hizmet vermektedir ve Düsseldorf havalimanı 300'den fazla tren bağlantısına sahiptir. Berlin havalimanı ise 2020 yılında merkez olarak eklenmiştir.

2.4. Sürdürülebilir Ulaşım Ağı

Sürdürülebilirlik özellikle şirketler ve operasyonları için artan bir ilgi konusu haline gelmektedir. Tüketiciler, talep ettikleri ürünleri/hizmetleri çevreye duyarlı/sorumlu şirketlerden alma eğilimindedir. Bununla birlikte, sürdürülebilirliğin şirketlerde başarılı bir şekilde uyarlanması, sürdürülebilirlik konularının strateji ve politikalarına entegre edilmesini gerektirmektedir. Öte yandan, sürdürülebilirliği stratejik faaliyetlere ve politikalara dâhil etmenin bir yönü, uzun vadeli ağ planlamasında sürdürülebilirliği hesaba katmaktadır (Mohammadi, Torabi, Tavakkoli-Moghaddam, 2014).

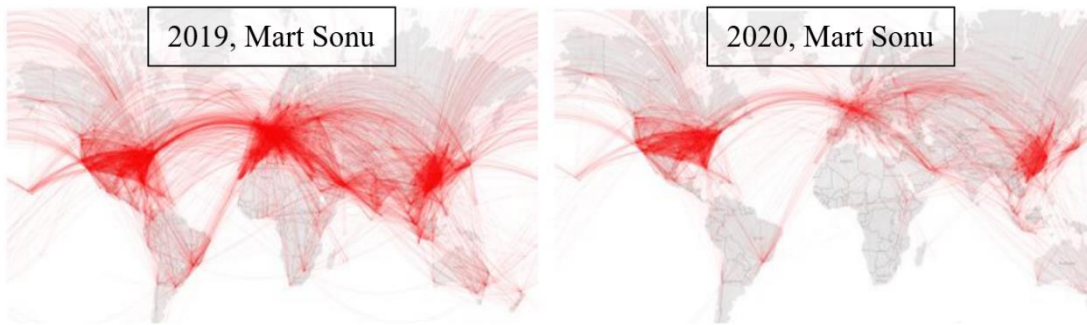
Bir ulaşım ağı sürdürülebilir bir lojistik ağ tasarlamada kilit bir role sahiptir. Taşımacılık, kaynak tüketimi, arazi kullanımı, gürültü ve sera gazı emisyonu gibi geniş bir yelpazede farklı çevresel etkilere sahiptir. Bunlar arasında, özellikle sera gazı ve CO₂ emisyonları ile gürültü insan sağlığı üzerinde doğrudan etkileri olduğu için en çok endişe veren konulardır (Mohammadi ve diğerleri, 2014). Taşımacılığın insan sağlığı üzerindeki bu tür tehlikeli etkileri üzerine artan endişeler nedeniyle ulaşım ağlarına yönelik gerçekleştirilen

planlamaların bu tür olumsuz etkileri açıkça dikkate alacak şekilde gözden geçirilmesi gerekmektedir.

Artan nüfus, daha fazla ekonomik büyümeye ve ulaşım faaliyetlerine olan talebin artmasına neden olmaktadır. Bu nedenle, bu artan talepleri karşılamak için daha verimli ulaşım ağlarına ihtiyaç vardır. Öte yandan, ulaşım ağlarının tasarımındaki çevresel etkilerin dikkate alınması, müşterilerin ve ilgili destekleyici devlet kuruluşlarının dikkatini çekerek her kuruluşun marjinal karını artırmaktadır (Mohammadi ve diğerleri, 2014).

2.5. COVID-19'un Havayolu Taşımacılığında Bağlanabilirlik Üzerindeki Etkileri

Covid-19 salgınının etkisi ve hükümetler tarafından virüsün yayılmasını kontrol altına almak için alınan önlemlerin, uluslararası havacılığın neredeyse kapanmasına neden olması ve dünya genelinde bağlantıların önemli ölçüde kesintiye uğramasıyla 2020, havayolu sektörü için eşi görülmemiş bir yıl olmuştur. Virüsün yayılmasını ele alma girişiminde, hükümetler uluslararası seyahatler için kısıtlamalar getirmiş ve bazı durumlarda yerel salgınları yavaşlatmak için sıkı yurt içi kapanmalar uygulanmıştır. Sınırların kapatılması ve ülke içi kapanmaların bir sonucu olarak, düzenli hizmetle birbirine bağlanan benzersiz şehir çiftlerinin sayısı önemli ölçüde azalmıştır. En düşük noktada, benzersiz şehir çiftlerinin sayısı bir yıl öncesine göre % 67 daha düşük olmuştur (IATA, 2020).



Şekil 2.4. Havayolu trafiği (IATA, 2020)

Nisan 2020'deki en düşük noktadan bu yana, bazı ülke ve bölgelerde iç pazarların yeniden açılması ve uluslararası seyahat kısıtlamalarının kaldırılması sonucunda uçuş sayıları toparlanmaya başlamıştır. En düşük noktada, küresel uçuşlar yılbaşında görülen seviyenin % 80 altında gerçekleşmiştir (IATA, 2020). Bu dönemde iş seyahatlerinden ziyade en yoğun

yaz döneminde seyahat eden tatilcilerin yanı sıra arkadaşlarını ve ailelerini ziyaret etmek için seyahat eden birçok insanın bir yansıması olarak kısa mesafeli uçuşların sayısında bir artış olmuştur.





3. TÜRKİYE'DE HAVAYOLU TAŞIMACILIĞI

Asya ve Avrupa arasındaki avantajlı coğrafi konumunun etkisiyle Türkiye, havayolu sektöründe stratejik olarak önemli bir konuma sahiptir. Her geçen gün artan hava trafiği ile hava taşımacılığı yarışında önemini ortaya koymaktadır. Türkiye, 2019 yılında Dünyada %2,28 yolcu payına, Avrupa'da ise %8,50 yolcu payına erişmiştir. İstanbul Havalimanı, son on yılda merkez bağlanabilirliğini %353,3 oranında arttırarak Avrupa'nın merkez bağlanabilirliği seviyelerine göre en iyi 4. Havalimanı olmuştur (ACI EUROPE, 2019). Türkiye'de hava ulaşım ağının genişletilmesine yönelik olarak gerçekleştirilen çalışmalar doğrultusunda hava taşımacılığının daha sık kullanılır hale geleceği düşünülmektedir.

Türkiye'de bulunan 56 havalimanı arasında yolcu trafiği açısından en büyük beş havalimanı; İstanbul Havalimanı, İstanbul Sabiha Gökçen Havalimanı, Antalya Havalimanı, Ankara Esenboğa Havalimanı ve İzmir Adnan Menderes Havalimanı'dır. Bu havalimanlarına ait iç hat ve dış hat tüm uçak trafiği Çizelge 3.1'de gösterilmektedir. Türkiye genelinde toplam uçak trafiği açısından en yoğun havalimanı iç hatlarda İstanbul Sabiha Gökçen Havalimanı dış hatlarda İstanbul Havalimanı'dır.

Çizelge 3.1. Türkiye geneli tüm uçak trafiği (DHMİ, 2020)

İÇ HAT		DIŞ HAT	
Havaalanı	Uçak trafiği	Havaalanı	Uçak trafiği
İstanbul Sabiha Gökçen Havalimanı	83 521	İstanbul Havalimanı	125 672
İstanbul Havalimanı	59 752	İstanbul Sabiha Gökçen Havalimanı	42 789
Ankara Esenboğa Havalimanı	41 321	Antalya Havalimanı	41 261
İzmir Adnan Menderes	36 236	İzmir Adnan Menderes	9 765
Antalya Havalimanı	29 919	Ankara Esenboğa Havalimanı	9 073

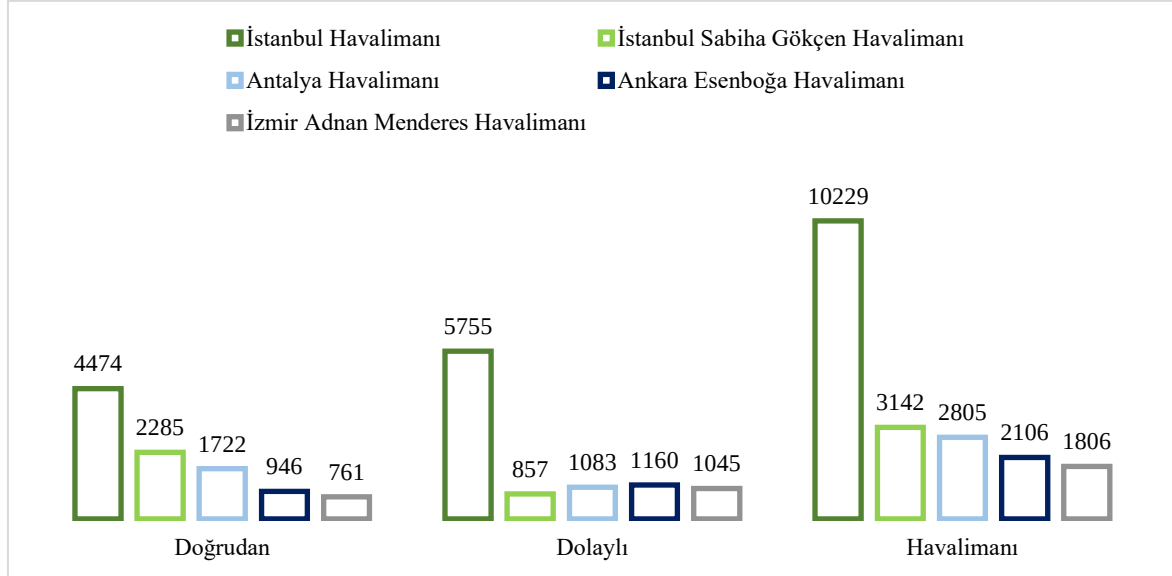
3.1. Türkiye’deki Havalimanlarının Bağlanabilirliklerinin Değerlendirilmesi

Uluslararası Avrupa Havaalanları Konseyi (Airports Council International Europe-ACI EUROPE) 2017 raporuna göre, son 10 yılda merkez bağlanabilirliği açısından küresel en iyi 20 havaalanı sıralamasında önemli oranda değişiklik yaşanmıştır. Görülen bu değişikliklerde, rekabet dinamikleri ve spesifik yerel koşulların (havaalanı kapasite kısıtlamaları, terminal altyapı gelişmeleri ve merkez tabanlı taşıyıcıların durumu) oynadığı rol bir kez daha ortaya çıkmıştır.

Türkiye’deki havalimanlarının bağlanabilirlik değerleri son on yılda hızlı bir gelişim göstermiştir (Bkz. Çizelge 3.2). Türk Hava Yolları (THY)’nin hava ulaşım ağına uyguladığı topla ve dağıt sisteminin de etkisiyle İstanbul Havalimanı’nın bağlanabilirliği küresel kapsamda en hızlı gelişen merkezler arasına yer almaktadır. Yaklaşık 350 noktaya uçuş gerçekleştiren THY’nin merkezi konumunda olan İstanbul Havalimanı, Türkiye’deki bağlanabilirliği en yüksek havalimanıdır.

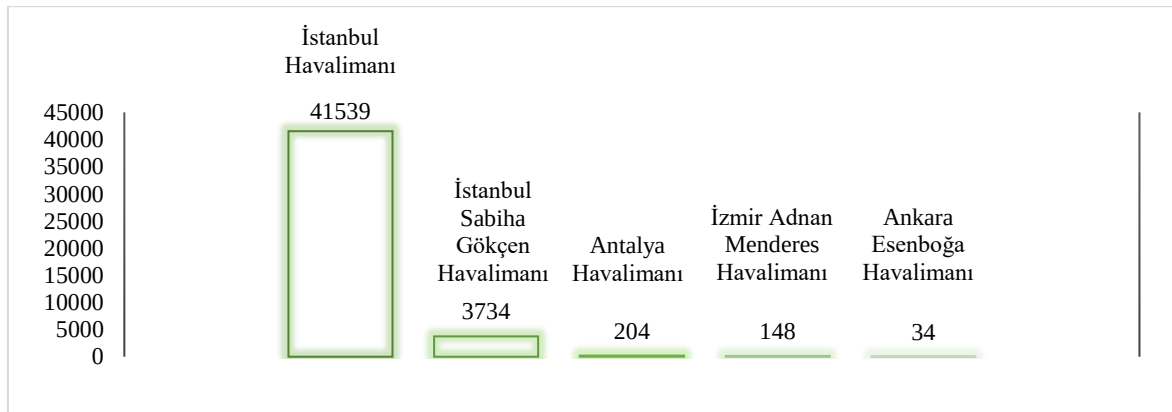
Çizelge 3.2. Türkiye’deki havalimanlarının bağlanabilirlik değerleri (ACI EUROPE, 2019)

Havaalanı	Doğrudan	Dolaylı	Havalimanı	Merkez	2009-2019 (%)			
					Doğrudan	Dolaylı	Havalimanı	Merkez
İstanbul Havalimanı	4 474	5 755	10 229	41 539	89,6	70,4	78,3	353,3
İstanbul Sabiha Gökçen Havalimanı	2 285	857	3 142	3 734	523,7	2296,1	681,3	2333,9
Antalya Havalimanı	1 722	1 083	2 805	204	257,6	271,8	262,9	980
Ankara Esenboğa Havalimanı	946	1 160	2 106	34	102,7	84,8	92,4	399,9
İzmir Adnan Menderes Havalimanı	761	1 045	1 806	148	116	157,8	138,3	219,9



Şekil 3.1. Dolaylı bağlanabilirlik, doğrudan bağlanabilirlik ve havalimanı bağlanabilirliği sıralamaları (ACI EUROPE, 2019)

İstanbul Havalimanı'ndan sonra en fazla uçak trafiğine sahip olan İstanbul Sabiha Gökçen Havalimanı da Pegasus havayolu işletmesinin merkezidir. Ayrıca THY, İstanbul Sabiha Gökçen Havalimanı'nı ikincil merkezi olarak kullanmaktadır. İstanbul Sabiha Gökçen Havalimanı hem toplam havaalanı bağlanabilirliği açısından (Bkz. Şekil 3.1) hem de merkez bağlanabilirliği açısından (Bkz. Şekil 3.2) ikinci sırada yer almaktadır. İstanbul Sabiha Gökçen Havalimanı'nın, aktarmalı uçuşları için merkez olarak kullanması, merkez bağlanabilirliğinin gelişimini desteklemektedir.



Şekil 3.2. Merkez bağlanabilirliği sıralaması (ACI EUROPE, 2019)

Lufthansa ve Türk Hava Yolları ortak girişimi olarak kurulan SunExpress, Antalya Havalimanı ve İzmir Adnan Menderes Havalimanı'nı merkez olarak kullanarak doğrudan

seferler düzenlemektedir. AnadoluJet, Ankara Esenboğa Havalimanı'nı merkez olarak kullanmaktadır ayrıca THY, Ankara'dan uluslararası doğrudan uçuşlar gerçekleştirmektedir. Ankara Esenboğa Havalimanı, toplam havalimanı bağlanabilirliği açısından İzmir Adnan Menderes Havalimanı'nı daha fazla bağlantıya sahip olmasına rağmen merkez bağlanabilirliği açısından beş havalimanı arasında son sırada yer almaktadır (Bkz. Çizelge 3.2).

3.2. Diğer Ulaşım Modlarındaki Çalışmalar

Türkiye'de demiryolu sektöründe hızlı tren demiryolu yapımında, Ankara merkez olmak üzere İstanbul-Ankara-Sivas, Ankara-Afyonkarahisar-İzmir ve Ankara-Konya koridorları çekirdek ağ olarak belirlenmiştir (Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı [UAB], 2020). Ankara-İstanbul, Ankara-Eskişehir, Ankara-Konya ve Konya-İstanbul hatlarında yüksek hızlı tren seferleri gerçekleştirilmektedir. Henüz yeterince yaygın ve süratli bir demiryolu ağ yapısı bulunmamasına rağmen birçok şehir için çalışmalar devam etmektedir. Hem demiryolu hem de karayoluna yönelik önemli altyapı çalışmaları bulunmaktadır.

Ankara-Sivas hızlı tren hattının yapımı devam etmektedir ve Sivas-Erzincan, Erzincan-Erzurum-Kars bağlantısıyla Bakü-Tiflis-Kars hattına entegre edilmesi planlanmaktadır ayrıca Kayseri-Yerköy hattıyla Kayseri'ye bağlantı sağlanacaktır (UAB, 2020). Yapımı devam eden İzmir-Ankara yüksek hızlı tren hattı İzmir, Manisa, Uşak ve Afyonkarahisar'ı Ankara'ya bağlayacaktır. Halkalı-Kapıkule Hızlı Tren Projesi ile İstanbul Halkalı istasyonu, Kırklareli'nde Babaeski, Lüleburgaz ve Büyükkarıştıran istasyonları, Edirne ilinde Edirne ve Kapıkule istasyonlarına bağlanacaktır (UAB, 2020). Bursa-Bilecik Hızlı Demiryolu Hattı ile Bursa, Ankara, Eskişehir ve İstanbul'a bağlanacaktır (UAB, 2020). Yapım çalışmaları devam eden Konya – Karaman - Niğde – Mersin - Adana Hızlı Tren Projesi, Karaman - Ulukışla – Mersin – Adana – Osmaniye – Gaziantep – Şanlıurfa - Mardin güzergahını izleyen hızlı demiryolu koridorunun ilk halkasını oluşturmaktadır. Mersin-Adana-Osmaniye-Gaziantep Hızlı Demiryolu Projesinin ihalesi yapılmış olup, tüm hattın hizmete 2023 yılı içerisinde açılması planlanmaktadır (UAB, 2020).

Karayolu sektöründe ise, Osmangazi köprüsünün açılması İzmir-İstanbul arasındaki sekiz saatlik mesafeyi 3,5 saate indirerek araba ile yapılan seyahatin süresini kısaltmaktadır. Diğer

ulaşım modlarının orta vadede havayolu seyahatine olan talep üzerinde olumsuz bir etki göstermesi beklenmektedir (Önen, 2017).

3.3. Yeşil Havalimanı Uygulamaları

Türkiye’de, Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü (SHGM), havalimanlarında faaliyet gösteren işletmelerin faaliyetlerin kaynaklanan olumsuz çevresel etkileri en aza indirebilmek amacıyla “Yeşil Havalimanı Projesi”ni başlatmıştır (UAB, 2019). Proje kapsamında, atık su yönetimi, buzlanma önleyici faaliyetlerin yönetimi, atık yönetimi, tehlikeli madde ve karışımların yönetimi, hava kirliliğı yönetimi, çevresel gürültü yönetimi ve yakıt yönetimi konularında sektörel kriterleri belirleyerek, belirtilen şartları karşılayan işletmeleri sertifikalandırmaktadır (SHGM, 2019a).



4. MERKEZ ÜS YER SEÇİM PROBLEMİ

Merkez üs yer seçimi problemi (HLP-Hub Location Problem), farklı alanlarda yaygın olarak kullanılan klasik tesis yerleşim problemlerinin nispeten yeni ve gelişen araştırma alanlarından biridir (Farahani, Hekmatfar, BolooriArabani, Nikbakhsh, 2013). Merkez ağ konseptinin en eski kullanıcılarından biri telekomünikasyon endüstrisi olmasına rağmen lojistik sistemlerde havayolu endüstrisi ve posta şirketleri bu kavramın ana kullanıcılarından biridir (Farahani ve diğerleri, 2013). Bugün denizcilik endüstrisi, yük taşımacılığı şirketleri, toplu taşıma ve mesaj dağıtım ağları gibi pek çok alanda merkez konseptinin avantajlarından faydalanılmaktadır (Farahani ve diğerleri, 2013).

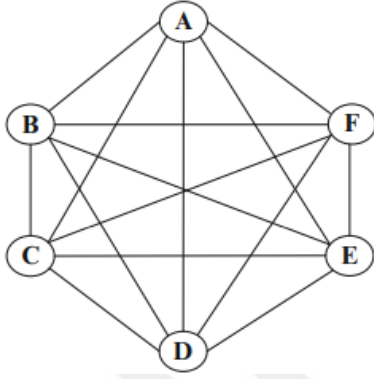
Havayolu taşımacılığında merkez üs yer seçimi problemi, arz ve talep düğümleri arasında kargo, yük, yolcu, hizmet ve bilginin merkezi üsler aracılığıyla etkili ve ekonomik ulaşımını sağlayan ağlarının tasarımı ile ilgilenmektedir (Duyguvar, 2018).

Merkezler, öngörülen başlangıç ve varış noktaları arasındaki akışlar için bütünleşme, bağlantı ve anahtarlama noktaları olarak çalışan tesislerdir (Farahani ve diğerleri, 2013). Merkez üs yer seçimi problemi, başlangıç-varış düğümleri arasındaki trafiği yönlendirmek için merkez tesisleri bulmak ve merkezlere talep düğümlerini tahsis etmekle ilgilidir (Alumur ve Kara, 2008). Merkez üs yer seçimi probleminin başlıca ayırt edici özellikleri şu şekildedir (Campbell ve O’Kelly, 2012);

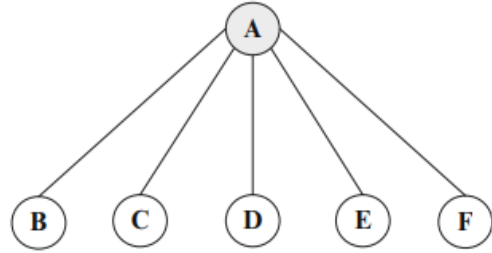
- Talep, tek tek noktalarla değil başlangıç-hedef çiftleri arasındaki akışlarla ilişkilidir.
- Akışların merkez tesisler üzerinden gerçekleştirilmesine izin verilir.
- Merkezler konumlandırılacak tesislerdir.
- Akışların bir merkez üzerinden gerçekleştirilmesinin avantajı bulunmaktadır.
- Merkez tesislerin konumlarına ve akışların yönlendirilmesine bağlı olan bir amaç vardır.

Merkezler, başlangıç noktası ve hedef düğümler arasındaki ulaşım bağlantılarının sayısını azaltmak için uygulanır (Farahani ve diğerleri, 2013). Örneğin, Şekil 4.1’de görüldüğü üzere N düğümlü ve merkez düğümü olmayan tam bağlantılı bir ağda $N(N-1)$ başlangıç noktası ve hedef düğüm bağlantısı bulunur (Farahani ve diğerleri, 2013). Ancak, Şekil 4.2’de görüldüğü üzere diğer tüm düğümleri birbirine bağlamak için bir merkez düğüm seçilirse, $2(N-1)$

bağlantı olacaktır (Farahani ve diğerleri, 2013). Bu fikir, bir merkez düğümünden fazlasına sahip çoklu merkez ağı adı verilen bir ağa genişletilebilir (Farahani ve diğerleri, 2013). Böylece tek merkezli bir ağ yapısı ile tamamen bağlı bir ağ yapısına göre daha az kaynak kullanılarak daha verimli bir şekilde hizmet sunulabilir (Farahani ve diğerleri, 2013).



Şekil 4.1. 6 düğüm ve 30 bağlantıyla tamamen bağlı bir ağ yapısı (Hekmatfar ve Pishvae, 2009)

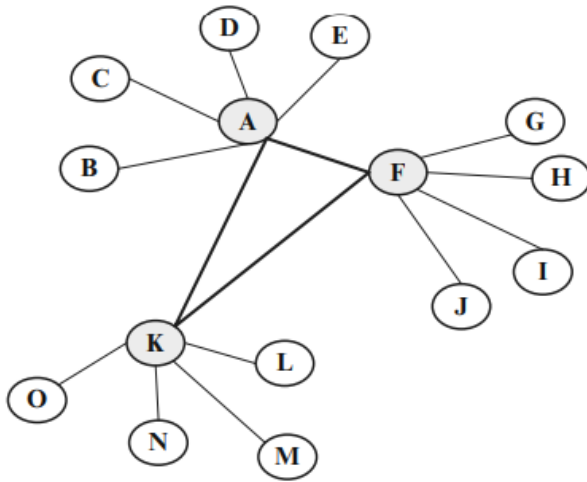


Şekil 4.2. 6 düğüm ve 10 bağlantıyla bir topla ve dağıtım ağ yapısı (Hekmatfar ve Pishvae, 2009)

Bu tür bir sistemin ana dezavantajı (merkez düğüm dışındaki tüm düğümlerle ilgili olarak) merkez olmayan bir düğümden diğerine seyahat edebilmek için merkez düğümü geçmemiz gerektiğinden her bir başlangıç-hedef çifti arasında seyahat edebilmek için birden fazla seyahatin gerekli olmasıdır (Hekmatfar ve Pishvae, 2009).

İki temel merkez ağ yapısı türü vardır; tek atama ve çoklu atama (Alumur ve Kara, 2008). Merkez olmayan düğümlerin merkezlere nasıl tahsis edildiklerine göre farklılık gösterirler (Alumur ve Kara, 2008). Tek atamada, bütün talep merkezlerinin gelen ve giden trafiği tek bir merkez üzerinden yönlendirilir. Çoklu atamada ise talep merkezleri birden fazla merkez üzerinden akış alabilir ve gönderebilir (Alumur ve Kara, 2008).

Çoklu merkez yapısına sahip ağlarda, merkez düğümlerinin birbirine tamamen bağlı olduğu ve merkez olmayan her bir düğümün en az bir merkez düğüm ile bağlı olduğu varsayılmaktadır (Hekmatfar ve Pishvae, 2009). Şekil 4.3'te üç merkezli bir ağ yapısı örneği görülmektedir.



Şekil 4.3. Üç merkezli ağ yapısı örneği (Hekmatfar ve Pishvae, 2009)

Bir merkez ağının maliyeti yapısına bağlıdır (Farahani ve diğerleri, 2013). Klasik HLP modelleri, ağdaki merkez kurulum maliyeti ve toplam taşıma maliyetini minimize etmek için geliştirilmektedir (Mohammadi ve diğerleri, 2014). Karar vericinin yaklaşımına ve ihtiyaca göre ağda konumlandırılacak merkez sayısı belirli bir sayıyla sınırlandırılabilir (p adet üs), merkezlere belirli bir kapasite sınırı konabilir (kapasite kısıtlı / kapasite kısıtsız) ve diğer düğümlerin bağlanabileceği merkez düğümü tek veya çoklu (tek tahsisli / çok tahsisli) olabilir (Duyguvar, 2018).

Merkez üs yer seçimi problemi nispeten kısa bir geçmişe sahiptir. Merkez yer seçimine benzer kavramlarla düğüm optimizasyonu alanında ilk çalışma Hakimi (1964) tarafından yayınlanmıştır ancak daha sonraki 20 yıl boyunca bu konuda bir çalışma yapılmadığı için merkez yer seçimi probleminin 1980'li yıllarda tartışılmaya başlandığı varsayılmaktadır (Hekmatfar ve Pishvae, 2009). İlk çalışma, havayolu şirketleri ve havalimanlarında merkez yer seçimi problemi uygulaması olan Toh ve Higgins (1985) tarafından yayınlanmıştır.

O'Kelly merkez problemlerinin ilk modellemesini geliştirmede önemli bir rol oynamıştır (O'Kelly 1986a, 1986b, 1987, 1992). O'Kelly (1987), 1970 yılında 25 ABD şehri arasındaki havayolu yolcu etkileşimlerine dayalı olarak Sivil Havacılık Kurulu (Civil Aeronautics Board-CAB) tarafından değerlendirilen bir veri seti sunmuştur. Daha sonra, bu veri seti merkez yer seçimi alanında araştırma gerçekleştirenlerin birçoğu tarafından kullanılmıştır ve CAB veri seti olarak anılmaktadır. Yaygın olarak kullanılan bir başka veri seti, Avustralya Posta Servisi (Australia Post-AP) veri setidir (ilk olarak Ernst ve Krishnamoorthy'de (1996)

kullanılmıştır). AP veri seti Avustralya'nın Sidney kentindeki bir posta teslimine dayanır ve posta bölgelerini temsil eden 200 düğümden oluşur. AP veri kümesinin düğüm sayısı dışındaki CAB veri kümesinden temel farkı, AP veri kümesinin akış matrisinin simetrik olmamasıdır. O'Kelly'nin matematiksel formülasyonunda, tek atamalı merkez yer seçim problemine değinilmektedir ve amaç toplam taşıma maliyetini (zaman, mesafe vb.) en aza indirmektir.

O'Kelly tarafından gerçekleştirilen çalışmalardan bu yana bu alanda pek çok çalışma yapılmış, farklı özellikler ve amaçlarla ilgili problemler ele alınmıştır. Bu çalışmaların odak noktası, 1980'lerin sonlarında modelleme, 1990'larda optimizasyon ve modelleme, son yıllarda ise gelişmiş modeller ve çözüm yöntemleri üzerindedir (Farahani ve diğerleri, 2013). Bu nedenle, merkez üs yer seçim problemi oldukça yeni bir konu ve araştırma ve geliştirme faaliyetleri için iyi bir alandır (Hekmatfar ve Pishvae, 2009).

Farklı türdeki merkez üs problemlerinin ve özelliklerinin sınıflandırılması aşağıdaki şekilde temsil edilmektedir (Hekmatfar ve Pishvae, 2009):

- Alan çözümü: kesikli, sürekli
- Amaç fonksiyonu: MiniMax, MiniSum
- Merkez sayısı: tek merkez, birden fazla merkez
- Merkez kapasitesi: sınırsız (kapasitesiz), sınırlı
- Merkez yer seçimi maliyeti: maliyet yok, sabit maliyet, değişken maliyet
- Merkeze düğüm bağlantıları: bir merkeze, birden fazla merkeze
- Bir merkeze bağlanmanın maliyeti: maliyet yok, sabit maliyet, değişken maliyet

Literatürde havayolu sektörüne yönelik olarak gerçekleştirilen çalışmalar Çizelge 4.1'de gösterilmektedir. Gerçekleştirilen çalışmalar, çözüm yaklaşımları açısından değerlendirildiğinde, geliştirilen modeller çoğunlukla kesikli olduğu bunun yanı sıra farklı taşıma modlarını modele dâhil eden (Alumur, Yaman, Kara, 2012; Dukkanci ve Kara, 2017; Ishfaq ve Sox, 2012; Torkestani, Seyedhosseini, Makui, Shahanaghi, 2018; Yuan ve Yu, 2018) ve sürdürülebilirlik faktörlerini (ekonomik, sosyal ve çevresel) göz önünde bulunduran (Dukkanci, Peker, Kara 2019) sınırlı sayıda çalışma bulunduğu görülmektedir.

Çizelge 4.1. Havayolu sektöründe merkez üs yer seçimi problemi literatür taraması

Yazar(lar)	Yıl	Çalışma Kapsamı
Rex S. Toh, Richard G. Higgins	1985	Merkez ağ yapısının merkezîyeti ile havayolu kârlılığı arasındaki ilişki test edilmiştir.
Shih-Lung Shaw	1993	Seçilen ABD havayolu işletmelerinin merkez yapıları incelenmiş ve merkez yer seçimi modellerinin analiz sonuçları değerlendirilmiştir.
Turgut Aykin	1995	Hava yolcu ve kargo taşımacılığı için ağ politikalarının farklı yönleri değerlendirilmiştir.
Patrick Jaillet, Gao Song, Gang Yu	1996	Kapasite kısıtlı ve akış temelli merkez yer seçimi modeli 39 ABD şehri için uygulanmıştır.
Neil Bania, Paul W. Bauer, Thomas J. Zlatoper	1998	En büyük 13 ABD havayolu işletmesinin sağladığı hizmetler değerlendirilmiştir.
Mihiro Sasaki, Atsuo Suzuki, Zvi Drezner	1999	Tek aktarmalı çok atamalı merkez yer seçimi modeli geliştirilmiş ve CAB veri seti kullanılmıştır.
Juan Carlos Martin, Concepcion Roman	2003	South-Atlantic havayolu pazarı için merkez yer seçimi modeli geliştirilmiştir.
Nicole Adler, Niron Hashai	2005	Potansiyel bölgesel aktarma noktalarının belirlenmesi için talep temelli merkez yer seçimi modeli geliştirilmiştir.
H.A. Eiselt, Vladimir Marianov	2009	Çekim modeli temelli rekabetçi yer seçim modeli formüle edilmiş ve AP veri seti kullanılmıştır.
Sibel A. Alumur, Hande Yaman, Bahar Y. Kara	2012	Maliyet minimizasyonu amaçlayan çok modlu merkez yer seçimi modeli için karışık tamsayılı programlama formülasyonu önerilmiş ve Türkiye ağında duyarlılık analizi gerçekleştirilmiştir.
Meead Saberi, Hani S. Mahmassani	2013	Kısıtlı ve kısıtsız tek merkezli sistemler için sürekli yaklaşımlı model geliştirilmiştir.
Hakan Oktal, Asuman Ozger	2013	Havayolu kargo taşımacılığı topla ve dağıt ağ yapısı için karışık tamsayılı programlama modeli geliştirilmiştir.
Armin Lüer-Villagra, Vladimir Marianov	2013	Kârını maksimize etmeyi amaçlayan yeni havayolu işletmesi için merkez yer seçimi modeli geliştirilmiş ve CAB veri seti kullanılmıştır.

Çizelge 4.1. Havayolu sektöründe merkez üs yer seçimi problemi literatür taraması (devam)

Yu An, Yu Zhang, Bo Zeng	2015	Topla ve dağıtım ağı sistemi için tek ve çok atamalı yer seçimi modeli geliştirilmiştir.
Armaghan Alibeyg, Ivan Contreras, Elena Fernández	2016	Toplanan kâr, kurulum maliyeti ve taşıma maliyetini birlikte optimize eden merkez yer seçimi modeli geliştirilmiştir.
Arild Hoff, Juanjo Peiró, Ángel Corberán, Rafael Martí	2017	Taşıma maliyetini minimize etmeyi amaçlayan kapasite kısıtlı merkez yer seçimi modeli geliştirilmiş ve CAB, AP, USA423 veri setleri kullanılmıştır.
Okan Dukkanci, Bahar Y. Kara	2017	Hiyerarşik çok modlu merkez kapama modeli geliştirilmiş ve Türkiye ağındaki analiz edilmiştir. CAB veri seti kullanılmıştır.
Sara Sadat Torkestani, Seyed Mohammad Seyedhosseini, Ahmad Makui, Kamran Shahanaghi	2018	Çok modlu dinamik ağı yapısı için merkez yer seçimi modeli geliştirilmiş ve CAB, ARWN veri setleri kullanılmıştır.
Okan Dukkanci, Meltem Peker, Bahar Y. Kara	2019	Toplam emisyon miktarını minimize etmeyi amaçlayan yer seçimi modeli geliştirilmiş ve CAB, TR veri setleri kullanılmıştır.
Gita Taherkhani, Sibel A. Alumur	2019	Toplam taşıma maliyeti, merkez kurma maliyeti ve işletme maliyetini minimize etmeyi amaçlayan ve doğrudan güzergahlara izin veren merkez yer seçimi modeli geliştirilmiştir.
Banu Soylu, Hatice Kâtip	2019	Toplam taşıma maliyetini ve 2 aktarmalı güzergahları minimize etmeyi hedefleyen iki amaç fonksiyonlu merkez yer seçimi modeli geliştirilmiş ve Türkiye için uygulama gerçekleştirilmiştir.
Waleed Najya, Ali Diabat	2020	Kapasite kısıtsız ve çok atamalı merkez yer seçimi modeli geliştirilmiş ve CAB, AP veri setleri kullanılmıştır.
Richa Tiwari, Sachin Jayaswal, Ankur Sinha	2021	Pazar payını maksimize etmeyi amaçlayan yeni havayolları için merkez yer seçimi modeli geliştirilmiş ve CAB, AP veri setleri kullanılmıştır.

4.1. Modeller

4.1.1. Tek merkezli yer seçim problemi (O’Kelly 1987)

O’Kelly (1987), yalnızca bir merkez düğümü olan tek merkez modelini ilk sunan kişidir. Bu modelin model varsayımları aşağıdaki gibidir (Hekmatfar ve Pishvae, 2009):

- Amaç fonksiyonu minimizasyondur.
- Çözüm uzayı kesikli ve sonludur.
- Yalnızca bir merkez düğümü vardır.
- Tüm düğümler, merkez düğümüne bağlıdır ve her bir merkez olmayan düğüm, merkez düğümü aracılığıyla diğer düğümlere bağlanır.
- Merkez düğümlerinin sayısı bilinmektedir.
- Merkez düğümün kurulum maliyeti dikkate alınmaz.
- Merkez düğümün kapasitesi sınırsızdır (kapasitesiz model).
- Modelin tüm karar değişkenleri ikili (0-1) değişkenlerdir.

4.1.2. Tek atamalı merkez üs yer seçim problemi (O’Kelly 1987, Daskin 1995)

Bu model, tek atamalı merkez yer seçim problemi olarak adlandırılır, çünkü merkez olmayan düğümler bir merkez düğüme bağlanır (O’Kelly 1987). Bu modelin model varsayımları aşağıdaki gibidir (Hekmatfar ve Pishvae, 2009):

- Amaç fonksiyonu minimizasyondur.
- Çözüm uzayı kesikli ve sonludur.
- Bütün merkez düğümler birbirine bağlıdır ve merkez olmayan düğümler bir merkez düğüme bağlıdır.
- Merkez düğümlerinin sayısı bilinmektedir.
- Merkez olmayan düğümler arasında seyahat etmek için bir merkez geçilmelidir yani merkez olmayan iki düğüm doğrudan birbirine bağlanamaz.
- Merkez düğümün kurulum maliyeti dikkate alınmaz.
- Merkez düğümün kapasitesi sınırsızdır (kapasitesiz model).
- Modelin tüm karar değişkenleri ikili (0-1) değişkenlerdir.

4.1.3. Çok atamalı merkez üs yer seçimi problemi (Campbell 1991)

Daha önceki modellerde amaç fonksiyonu doğrusal değildir bu nedenle Campbell doğrusal bir model önermiştir. Modelde, merkez olmayan düğümler birden fazla merkeze bağlanabilmektedir bu nedenle çok atamalı merkez yer seçim problemi olarak adlandırılmaktadır. Modelin varsayımları, talep ağırlıklı seyahat maliyeti minimizasyonu ve merkez olmayan düğümlerin birden fazla merkez düğüme atanabilmesi dışında aynıdır.

4.1.4. Sabit maliyetli merkez üs yer seçimi problemi (O'Kelly 1992)

Merkez düğümlerin sayısının önceden bilinmemesi ve sabit bir merkez yer seçim maliyeti eklenmesi dışında modelin varsayımları aynıdır.

4.1.5. Genişletilmiş sabit maliyetli merkez üs yer seçimi modeli (Campbell 1994)

Merkez olmayan her bir düğümü bir merkez düğüme bağlamak yerine merkez olmayan düğümlerle merkez düğümler arasındaki her bir bağlantı için sabit bir maliyet uygulanır. Merkeze bağlanma maliyeti dışında model varsayımları aynıdır.

4.1.6. Minimum değer akışı modeli (Campbell 1994)

Merkez olmayan her bir düğümü bir merkez düğüme bağlamak yerine merkez olmayan düğümlerle merkez düğümler arasındaki her bir bağlantı için minimum bir değeri aşma koşulu uygulanır. Her bir bağlantı için minimum bir akış belirlenmesi dışında model varsayımları aynıdır.

4.1.7. Kapasite sınırlı merkez yer seçim modeli (Campbell 1994)

Merkez düğümdeki gelen veya giden toplam akışın sabit bir değere eşit veya daha küçük olması şeklinde bir kapasite sınırlaması uygulanır. Merkez düğümlerin kapasitelerinin sınırlı olması dışında model varsayımları aynıdır.

4.1.8. Merkez üs merkezi yer seçim problemi (Campbell 1994)

Merkezi yer seçim problemi, acil servis konumu veya en kötü durum senaryosu gibi uygulamalar için önemli bir konudur. Her bir başlangıç-hedef çiftinin maksimum maliyetini en aza indiren merkezler kümesidir. Bu problem, bir merkez sistemdeki ayrıştırılabilir veya hassas mallar için kullanılır.

4.1.9. Merkez kaplama problemi (Campbell 1994)

Model, merkez üs merkezi yer seçim modelini çözmek için kullanılır. Merkez kaplama problemi için merkez küme kaplama modeli ve en fazla merkez kaplama modeli olmak üzere iki özel durum bulunmaktadır.

Merkez küme kaplama modeli için merkez sayısının önceden bilinmemesi ve sabit bir merkez seçim maliyeti eklenmesi dışında model varsayımları aynıdır. En fazla merkez kaplama modeli için ise merkez sayısının önceden bilinmesi ve merkez seçim maliyetinin göz önünde bulundurulmaması dışında model varsayımları aynıdır.

4.1.10. Çok modlu merkez üs yer seçimi problemi

Çok modlu merkez üs yer seçimi probleminde, diğer ulaşım modlarının etkisi göz önünde bulundurulur. Alumur ve diğerleri (2012), maliyet minimizasyonu amaçlayan çok modlu merkez yer seçimi modeli için karışık tamsayılı programlama formülasyonu önermiş ve Türkiye ağında duyarlılık analizi gerçekleştirmiştir. Dukkanci ve Kara (2017), hiyerarşik çok modlu merkez kapama modeli geliştirmiş ve CAB veri seti kullanarak Türkiye ağında analiz etmiştir. Torkestani ve diğerleri (2018), çok modlu dinamik ağ yapısı için merkez yer seçimi modeli geliştirmiş ve CAB, havalimanı-demiryolu ağı (Airport-Railway Network-ARWN) gerçek durum örnek olay çalışması veri setleri kullanmıştır. Duyguvar (2018), lojistik merkezler için havayolu, demiryolu ve liman bağlantılarını içeren bir model geliştirmiştir.

4.1.11. Sürdürülebilir merkez üs yer seçimi problemi

Sürdürülebilir merkez üs yer seçimi probleminde, çevresel, sosyal veya ekonomik sürdürülebilirlik kısıtlarını içeren modeller geliştirilmiştir. Duyguvar (2018), lojistik merkezlerin kurulumu için maliyet minimizasyonu amaçlayan modelinde sürdürülebilirliğin üç boyutunu da kapsayan kısıtları modele dahil etmiştir. Dukkanci ve diğerleri (2019), toplam emisyon miktarını minimize etmeyi amaçlayan yer seçimi modeli geliştirmiş ve CAB, TR veri setleri kullanmıştır.

4.2. Merkez Yer Seçimi Problemi Çözüm Teknikleri

Farklı türlerdeki merkez yer seçimi problemlerini çözmek için birçok algoritma sunulmuştur. Daha küçük boyutlu merkez yer seçimi problemlerini çözmek için tam sayılı programlama optimizasyon yöntemleri kullanılmaktadır. Bununla birlikte, daha büyük problemler için sezgisel yöntemler veya meta sezgisel yöntemler kullanılmaktadır.

5. METODOLOJİ

Havayolu taşımacılığında Türkiye'nin tek merkezi konumunda bulunan İstanbul kenti dünyanın en hızlı gelişen merkezlerinden biridir. Ancak İstanbul'daki havalimanları, havayolu taşımacılığına olan artan talebi karşılamakta zorlanmaktadır. İstanbul Yeni Havalimanı'nın bu artışı karşılayacağı düşünülse de artan nüfus, gelişen ticaret hacmi ve tek merkezli ağ yapısının bölgesel havacılık üzerindeki olumsuz etkileri düşünüldüğünde çoklu merkez yapısı havayolu taşımacılığında bağlanabilirliğin artırılmasına katkı sağlayacaktır. Türkiye 2023 Ulaşım ve İletişim Stratejisi, havacılık sektörü işletme ve üst yapı hedef ve önerileri arasında İstanbul dışında belirlenecek en az iki bölgesel havalimanının uluslararası uçuşlar için transfer merkezi niteliğinde ana havalimanı olarak gelişiminin sağlanması yer almaktadır. Ayrıca 30 milyon kapasiteli iki, 15 milyon kapasiteli üç havalimanının inşaa edilmesi hedeflenmiştir.

Literatürde havayolu taşımacılığı özelinde merkez üs yer seçimi problemi üzerinde gerçekleştirilen çalışmalar, model yaklaşımları açısından incelendiğinde havayolu taşımacılığında bağlanabilirliği etkileyen unsurları göz önünde bulunduran çalışmaların sınırlı kaldığı görülmektedir. Bu alanda gerçekleştirilen çalışmalar çoğunlukla tek bir noktaya odaklanmıştır. Diğer ulaşım modlarının etkisini ve sürdürülebilirlik unsurlarını modele dâhil eden çalışmaların ise son yıllarda artmasına rağmen yine de sınırlı olduğu görülmektedir.

Bu doğrultuda, Türkiye'de İstanbul kentinden sonra en uygun ikincil merkezlerin belirlenebilmesi için sosyal, ekonomik ve çevresel unsurları göz önünde bulunduran bir merkez üs yer seçimi modeli önerilmiştir.

5.1. Matematiksel Model Kriterleri

Bu çalışmada, merkez üs geliştirme maliyetini minimize etmeyi amaçlayan çok atamalı, karışık tam sayılı bir model önerisi yapılmıştır. Literatürde yer alan modellerden farklı olarak, sosyo-ekonomik gelişmişlik endeksi, ulusal pazarlara erişilebilirlik, turist sayıları, havayolu bağlantıları, uçak trafiği, hızlı tren erişilebilirliği ve yeşil havalimanı uygulamaları

gibi sosyal, ekonomik ve çevresel sürdürülebilirlik kısıtlarını içerek çok modlu bir yer seçim modeli geliştirilmiştir (Bkz. Şekil 5.1).

<u>Sosyal</u>	<u>Ekonomik</u>	<u>Çevresel</u>
Nüfus	İthalat hacmi	Demiryolu bağlantısı
Sosyo-ekonomik gelişmişlik	İhracat hacmi	Liman bağlantısı
Coğrafi erişilebilirlik	Turist sayısı	Yakıt depolama ve ikmal
Ulusal pazarlara erişilebilirlik	Havayolu bağlantıları	Terminal işletmeciliği ve yer
Hızlı tren erişilebilirliği	Uçak trafiği	hizmetleri

Şekil 5.1. Sosyal, ekonomik ve çevresel sürdürülebilirlik kısıtları

5.2. Matematiksel Model

Önerilen modelde, Türkiye’de İstanbul kenti dışında uluslararası uçuşlar için aktarma noktası konumunda olacak merkezlerin belirlenmesi amacıyla, havalimanı bulunan bütün şehirler merkez üs yeri için aday düğüm (x_i) olarak belirlenmiştir. Şehirlerde yer alan havalimanının merkez üs olarak belirlenmesi kriteri 0-1 tamsayı olarak belirlenmiştir. Merkez üs geliştirme maliyetleri havalimanlarının kapasiteleri doğrultusunda göreceli olarak modele dahil edilmiştir. Model varsayımları aşağıda verildiği şekildedir;

- Tüm kriterler eşit önceliğe sahiptir.
- Merkez olarak geliştirilmesi planlanan havalimanı sayısı karar verici tarafından belirlenecektir.
- Bütçe kısıtı, coğrafi erişilebilirlik faktörü, ulusal pazarlara erişilebilirlik faktörü, sosyo-ekonomik gelişmişlik faktörü, hızlı tren erişilebilirlik faktörü, bağlanabilirlik faktörü, uçuş hacmi faktörü, ithalat faktörü, ihracat faktörü, turizm faktörü ve nüfus faktörü karar verici tarafından belirlenecektir.
- Belirlenecek merkezlerin, karayolu dışında en az bir ulaşım moduna (demiryolu veya liman) erişimi bulunacaktır.
- Hızlı tren erişilebilirliği hesaplanırken yapımı devam eden hatlar dahil edilmiştir.
- Belirlenecek merkezlerin, yakıt depolama-ikmal ile terminal ve yer hizmetleri açısından yeşil havalimanı sertifikası bulunmalıdır.

Parametreler

i	: Havalimanı bulunan aday şehirler
x_i	: i düğümünde konumlandırılacak üs (0 veya 1)
m_i	: i düğümünde konumlandırılacak üssün maliyeti
B	: Toplam bütçe
p	: Kurulacak üs sayısı
c_i	: i düğümü için coğrafi erişilebilirlik endeksi
c_{ort}	: Ortalama coğrafi erişilebilirlik seviyesi
f_c	: Coğrafi erişilebilirlik faktörü [0-1]
u_i	: i düğümü için ulusal pazarlara erişilebilirlik endeksi
u_{ort}	: Ortalama ulusal pazarlara erişilebilirlik seviyesi
f_u	: Ulusal pazarlara erişilebilirlik faktörü [0-1]
se_i	: Sosyo-ekonomik gelişmişlik endeksi
se_{ort}	: Ortalama sosyo-ekonomik gelişmişlik endeksi
f_{se}	: Sosyo-ekonomik gelişmişlik faktörü
b_i	: i düğümü için bağlanabilirlik endeksi
b_{top}	: Toplam bağlanabilirlik
f_b	: Bağlanabilirlik faktörü [0-1]
h_i	: i düğümünün uçuş hacmi
h_{top}	: Toplam uçuş hacmi
f_h	: Uçuş hacmi faktörü [0-1]
it_i	: i düğümünün ithalat hacmi
it_{top}	: Toplam ithalat hacmi
f_{it}	: İthalat faktörü [0-1]
ih_i	: i düğümünün ihracat hacmi
ih_{top}	: Toplam ihracat hacmi
f_{ih}	: İhracat faktörü [0-1]
k_i	: Turist sayısı
k_{top}	: Toplam turist sayısı
f_k	: Turizm faktörü
n_i	: i düğümünün nüfusu
n_{top}	: Toplam nüfus
f_n	: Nüfus faktörü [0-1]

d_i : i düğümünün demiryolu erişilebilirliği (0 veya 1)

l_i : i düğümünün liman erişilebilirliği (0 veya 1)

M_{top} : Toplam taşıma modu

t_i : i düğümünün hızlı tren erişilebilirliği

t_{ort} : Ortalama hızlı tren erişilebilirliği seviyesi

f_t : Hızlı tren erişilebilirlik faktörü [0-1]

tb_i : i düğümünün hızlı tren bağlantısı (0 veya 1)

y_{di} : Yakıt depolama-ikmal (0 veya 1)

y_{ty_i} : Terminal işletmeciliği-yer hizmetleri (0 veya 1)

Y_{top} : Toplam yeşil sertifika sayısı

$$\text{Amaç Fonksiyonu: } \min \sum_{i=1} x_i m_i \quad (5.1)$$

Kısıtlar:

$$\sum_{i=1} x_i = p \quad (5.2)$$

$$\sum_{i=1} x_i m_i \leq B \quad (5.3)$$

$$\sum_{i=1} x_i c_i / p \geq c_{ort} (1 + f_c) \quad (5.4)$$

$$\sum_{i=1} x_i u_i / p \geq u_{ort} (1 + f_u) \quad (5.5)$$

$$\sum_{i=1} x_i se_i / p \geq se_{ort} (1 + f_{se}) \quad (5.6)$$

$$\sum_{i=1} x_i b_i \geq b_{top} f_b \quad (5.7)$$

$$\sum_{i=1} x_i h_i \geq h_{top} f_h \quad (5.8)$$

$$\sum_{i=1} x_i it_i \geq it_{top} f_{it} \quad (5.9)$$

$$\sum_{i=1} x_i ih_i \geq ih_{top} f_{ih} \quad (5.10)$$

$$\sum_{i=1} x_i ik_i \geq k_{top} f_k \quad (5.11)$$

$$\sum_{i=1} x_i n_i \geq n_{top} f_n \quad (5.12)$$

$$\sum_{i=1} x_i (d_i + l_i + 1) / p \geq M_{top} \quad (5.13)$$

$$\sum_{i=1} x_i (tb_i) / p \geq 1 \quad (5.14)$$

$$\sum_{i=1} x_i t_i / p \geq t_{ort} (1 + f_t) \quad (5.15)$$

$$\sum_{i=1} x_i y_{di} / p \geq Y_{top} \quad (5.16)$$

$$\sum_{i=1} x_i y_{ty_i} / p \geq Y_{top} \quad (5.17)$$

$$x_i : \{0,1\} \quad (5.18)$$

- Eş. 5.1, merkez üs geliştirme maliyetini minimize eden amaç fonksiyonu
- Eş. 5.2, toplam merkez üs sayısı
- Eş. 5.3, seçilecek merkezlerin merkez üs geliştirme maliyetleri toplamı, belirlenecek bütçeden küçüktür
- Eş. 5.4, seçilecek merkezlerin coğrafi erişilebilirlik ortalaması, toplam ortalamadan belirli bir oranda büyüktür
- Eş. 5.5, seçilecek merkezlerin uluslararası pazarlara erişilebilirlik ortalaması, toplam ortalamadan belirli bir oranda büyüktür
- Eş. 5.6, seçilecek merkezlerin sosyo-ekonomik gelişmişlik endeksi ortalaması, toplam ortalamadan belirli bir oranda büyüktür
- Eş. 5.7, seçilecek merkezlerin toplam bağlanabilirliği, toplam bağlanabilirliği belirli bir oranda karşılar
- Eş. 5.8, seçilecek merkezlerin toplam uçak trafiği, toplam uçak trafiğini belirli bir oranda karşılar
- Eş. 5.9, seçilecek merkezlerin toplam ithalat hacmi, toplam ithalat hacmini belirli bir oranda karşılar
- Eş. 5.10, seçilecek merkezlerin toplam ihracat hacmi, toplam ihracat hacmini belirli bir oranda karşılar
- Eş. 5.11, seçilecek merkezlerin toplam turist sayısı, toplam turist sayısını belirli bir oranda karşılar
- Eş. 5.12, seçilecek merkezlerin toplam nüfusu, toplam nüfusu belirli bir oranda kapsar
- Eş. 5.13, seçilecek merkezlerin karayolu bağlantıları dışında en azından bir ulaşım moduna bağlantısı vardır
- Eş. 5.14, seçilecek merkezlerin hızlı tren bağlantısı vardır
- Eş. 5.15, seçilecek merkezlerin hızlı tren erişilebilirlik ortalaması, toplam ortalamadan belirli bir oranda büyüktür
- Eş. 5.16, seçilen havalimanları, yakıt depolama-ikmal yeşil havalimanı sertifika kriterini karşılar
- Eş. 5.17, seçilen havalimanları, terminal işletmeciliği-yer hizmetleri yeşil havalimanı sertifika kriterini karşılar
- Eş. 5.18, şehirlerdeki havalimanının merkez üs olarak belirlenip belirlenmemesi

5.3. Çözüm Yaklaşımı

Karışık tamsayılı doğrusal programlama modeli olarak formüle edilen modelin girdileri ve çözüm sonuçları kesin ve kesiklidir. Nüfus verileri için Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK, 2021) istatistikleri, coğrafi erişilebilirlik ve uluslararası pazarlara erişilebilirlik verileri için Kalkınma Bakanlığı (Şimşek, 2015) verileri, sosyo-ekonomik gelişmişlik endeksi için Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı (2019) verileri, ithalat ve ihracat hacmi verileri için Ticaret Bakanlığı (2021a; 2021b) istatistikleri, turist sayıları için Kültür ve Turizm Bakanlığı (2020) istatistikleri, havalimanlarıyla ilgili olarak havayolu tüm uçak trafiği, bağlanabilirlik değerleri ve yeşil havalimanı kriterleri için Devlet Hava Meydanları İşletmesi (DHMİ, 2020) istatistikleri, SHGM (2019b) ve ACI EUROPE (2019) verileri, demiryolu ve liman bağlantıları için Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı (2020) verileri kullanılmıştır. Hızlı tren erişilebilirliği verileri, nüfus ve mesafe matrisi kullanılarak hesaplanmıştır. Modelin çözümü için GAMS yazılımı kullanılmıştır.

5.4. Senaryolar ve Çözüm Sonuçları

Hızlı tren bağlantılarının, çevresel faktörlerin ve Covid-19 pandemisinin etkilerini ölçmek amacıyla farklı senaryolar uygulanmıştır.

5.4.1. Senaryo 1

Senaryo 1’de merkez üs yer seçimi modeli aşağıdaki kısıt ve girdileri içermektedir;

- 30 milyon yolcu kapasiteli 2 merkez, 15 milyon yolcu kapasiteli 3 merkez belirlenmiştir.
- Bütçe 20 milyar ₺ olarak belirlenmiştir.
- Belirlenecek merkezlerin, coğrafi erişilebilirlik ortalamasının bütün düğümlerin ortalamasından en az %10 daha fazla olması istenmiştir.
- Belirlenecek merkezlerin, ulusal pazarlara erişilebilirlik ortalamasının bütün düğümlerin ortalamasından en az %10 daha fazla olması istenmiştir.
- Belirlenecek merkezlerin, sosyo-ekonomik gelişmişlik endeksi ortalamasının bütün düğümlerin ortalamasından en az %10 daha fazla olması istenmiştir.

- Belirlenecek merkezlerin, toplam havayolu bağlantılarının en az %10'unu kapsamaları istenmiştir.
- Belirlenecek merkezlerin, uçak trafiğinin, toplam uçak trafiğinin en az %10'unu kapsamaları istenmiştir.
- Belirlenecek merkezlerin, toplam ithalat hacminin en az %10'unu kapsamaları istenmiştir.
- Belirlenecek merkezlerin, toplam ihracat hacminin en az %10'unu kapsamaları istenmiştir.
- Belirlenecek merkezlerin, toplam turist sayısının en az %10'unu kapsamaları istenmiştir.
- Belirlenecek merkezlerin, toplam nüfusun en az %10'unu kapsamaları istenmiştir.
- Belirlenecek merkezlerin, hızlı tren erişilebilirlik ortalamasının bütün düğümlerin ortalamasından en az %10 daha fazla olması istenmiştir.
- Belirlenecek merkezlerin her birinin hızlı tren bağlantısının bulunması istenmiştir.
- Belirlenecek merkezlerin, karayolu dışında en az bir taşıma moduna daha bağlantılı olması istenmiştir.
- Belirlenecek merkezlerin, yakıt depolama-ikmal veya terminal işletmesi-yer hizmetleri alanlarından en az birinde yeşil havalimanı sertifikası olması istenmiştir. Büyük merkezler için her ikisi de zorunlu tutulmuş, küçük merkezler için en az birini karşılaması yeterli bırakılmıştır.
- Model, pandemi öncesi veriler kullanılarak çalıştırılmıştır.

GAMS ile elde edilen Senaryo 1 çözüm sonuçları aşağıdaki gibidir;

- 30 milyon yolcu kapasiteli olacak şekilde geliştirilecek merkezler Ankara ve İzmir, 15 milyon yolcu kapasiteli olacak şekilde geliştirilecek merkezler ise Adana, Gaziantep ve Konya olarak belirlenmiştir.
- Bütçenin %86,25'i (17,25 milyar ₺) tahsis edilmiştir.
- Merkezlerin coğrafi erişilebilirlik ortalaması 76,3'tür (genel ortalama 61,74).
- Merkezlerin ulusal pazarlara erişilebilirlik ortalaması 24,67'dir (genel ortalama 15,61).
- Merkezlerin sosyo-ekonomik gelişmişlik endeksi ortalaması 1,183'tür (genel ortalama -0,055)
- Merkezler, toplam havayolu bağlantılarının %38,9'unu kapsamaktadır.
- Merkezler, toplam uçak trafiğinin %29,37'sini kapsamaktadır.

- Merkezler, toplam ithalat hacminin %40'ını kapsamaktadır.
- Merkezler, toplam ihracat hacminin %42,7'sini kapsamaktadır.
- Merkezler toplam turist sayısının %17,7'sini kapsamaktadır.
- Merkezler, toplam nüfusun %19,9'unu kapsamaktadır.
- Merkezlerin hızlı tren erişilebilirlik ortalaması 59,04'tür (genel ortalama 41,15).
- 2 merkez hem demiryolu hem liman bağlantısına sahiptir, 3 merkez sadece demiryolu bağlantısına sahiptir.
- 3 merkez her iki alanda da yeşil havalimanı sertifikalı kuruluşlara sahiptir, 2 merkez sadece yakıt depolama-ikmal konusunda yeşil havalimanı sertifikalı kuruluşlara sahiptir.

5.4.2. Senaryo 2

Senaryo 2'de, hızlı tren bağlantısının bulunma zorunluluğu göz önünde bulundurulmamıştır. Merkez üs yer seçimi modeli aşağıdaki kısıt ve girdileri içermektedir;

- 30 milyon yolcu kapasiteli 2 merkez, 15 milyon yolcu kapasiteli 3 merkez belirlenmiştir.
- Bütçe 20 milyar ₺ olarak belirlenmiştir.
- Belirlenecek merkezlerin, coğrafi erişilebilirlik ortalamasının bütün düğümlerin ortalamasından en az %10 daha fazla olması istenmiştir.
- Belirlenecek merkezlerin, ulusal pazarlara erişilebilirlik ortalamasının bütün düğümlerin ortalamasından en az %10 daha fazla olması istenmiştir.
- Belirlenecek merkezlerin, sosyo-ekonomik gelişmişlik endeksi ortalamasının bütün düğümlerin ortalamasından en az %10 daha fazla olması istenmiştir.
- Belirlenecek merkezlerin, toplam havayolu bağlantılarının en az %10'unu kapsaması istenmiştir.
- Belirlenecek merkezlerin, uçak trafiğinin, toplam uçak trafiğinin en az %10'unu kapsaması istenmiştir.
- Belirlenecek merkezlerin, toplam ithalat hacminin en az %10'unu kapsaması istenmiştir.
- Belirlenecek merkezlerin, toplam ihracat hacminin en az %10'unu kapsaması istenmiştir.
- Belirlenecek merkezlerin, toplam turist sayısının en az %10'unu kapsaması istenmiştir.

- Belirlenecek merkezlerin, toplam nüfusun en az %10'unu kapsamaları istenmiştir.
- Belirlenecek merkezlerin, hızlı tren erişilebilirlik ortalamasının bütün düğümlerin ortalamasından en az %10 daha fazla olması istenmiştir.
- Belirlenecek merkezlerin, karayolu dışında en az bir taşıma moduna daha bağlantılı olması istenmiştir.
- Belirlenecek merkezlerin, yakıt depolama-ikmal veya terminal işletmesi-yer hizmetleri alanlarından en az birinde yeşil havalimanı sertifikası olması istenmiştir. Büyük merkezler için her ikisi de zorunlu tutulmuş, küçük merkezler için en az birini karşılaması yeterli bırakılmıştır.
- Model, pandemi öncesi veriler kullanılarak çalıştırılmıştır.

GAMS ile elde edilen Senaryo 2 çözüm sonuçları aşağıdaki gibidir;

- 30 milyon yolcu kapasiteli olacak şekilde geliştirilecek merkezler Ankara ve Antalya, 15 milyon yolcu kapasiteli olacak şekilde geliştirilecek merkezler ise Adana, İzmir ve Kayseri olarak belirlenmiştir.
- Bütçenin %58,75'i (11,75 milyar ₺) tahsis edilmiştir.
- Merkezlerin coğrafi erişilebilirlik ortalaması 74,9'dur (genel ortalama 61,74).
- Merkezlerin ulusal pazarlara erişilebilirlik ortalaması 23,23'tür (genel ortalama 15,61).
- Merkezlerin sosyo-ekonomik gelişmişlik endeksi ortalaması 1,44'tür (genel ortalama - 0,055)
- Merkezler, toplam havayolu bağlantılarının %60,52'sini kapsamaktadır.
- Merkezler, toplam uçak trafiğinin %53,84'ünü kapsamaktadır.
- Merkezler, toplam ithalat hacminin %34,66'sını kapsamaktadır.
- Merkezler, toplam ihracat hacminin %35,38'ini kapsamaktadır.
- Merkezler toplam turist sayısının %48,66'sını kapsamaktadır.
- Merkezler, toplam nüfusun %29,24'ünü kapsamaktadır.
- Merkezlerin hızlı tren erişilebilirlik ortalaması 48,67'dir (genel ortalama 41,15).
- 2 merkez hem demiryolu hem liman bağlantısına sahiptir, 2 merkez sadece demiryolu bağlantısına sahiptir ve 1 merkez sadece liman bağlantısına sahiptir.
- 4 merkez her iki alanda da yeşil havalimanı sertifikalı kuruluşlara sahiptir, 1 merkez sadece yakıt depolama-ikmal konusunda yeşil havalimanı sertifikalı kuruluşlara sahiptir.

5.4.3. Senaryo 3

Senaryo 3’de, hızlı tren bağlanabilirliği dikkate alınmamış ve yeşil havalimanı uygulama kriterlerinin ayrı ayrı sağlanması istenmiştir. Merkez üs yer seçimi modeli aşağıdaki kısıt ve girdileri içermektedir;

- 30 milyon yolcu kapasiteli 2 merkez, 15 milyon yolcu kapasiteli 3 merkez belirlenmiştir.
- Bütçe 20 milyar ₺ olarak belirlenmiştir.
- Belirlenecek merkezlerin, coğrafi erişilebilirlik ortalamasının bütün düğümlerin ortalamasından en az %10 daha fazla olması istenmiştir.
- Belirlenecek merkezlerin, ulusal pazarlara erişilebilirlik ortalamasının bütün düğümlerin ortalamasından en az %10 daha fazla olması istenmiştir.
- Belirlenecek merkezlerin, sosyo-ekonomik gelişmişlik endeksi ortalamasının bütün düğümlerin ortalamasından en az %10 daha fazla olması istenmiştir.
- Belirlenecek merkezlerin, toplam havayolu bağlantılarının en az %10’unu kapsamaları istenmiştir.
- Belirlenecek merkezlerin, uçak trafiğinin, toplam uçak trafiğinin en az %10’unu kapsamaları istenmiştir.
- Belirlenecek merkezlerin, toplam ithalat hacminin en az %10’unu kapsamaları istenmiştir.
- Belirlenecek merkezlerin, toplam ihracat hacminin en az %10’unu kapsamaları istenmiştir.
- Belirlenecek merkezlerin, toplam turist sayısının en az %10’unu kapsamaları istenmiştir.
- Belirlenecek merkezlerin, nüfusun en az %10’unu kapsamaları istenmiştir.
- Belirlenecek merkezlerin, karayolu dışında en az bir taşıma moduna daha bağlantılı olması istenmiştir.
- Belirlenecek merkezlerin, yakıt depolama-ikmal veya terminal işletmesi-yer hizmetleri alanlarından ikisinde de yeşil havalimanı sertifikası olması istenmiştir.
- Model, pandemi öncesi veriler kullanılarak çalıştırılmıştır.

GAMS ile elde edilen Senaryo 3 çözüm sonuçları aşağıdaki gibidir;

- 30 milyon yolcu kapasiteli olacak şekilde geliştirilecek merkezler Ankara ve Antalya, 15 milyon yolcu kapasiteli olacak şekilde geliştirilecek merkezler ise Adana, Erzincan ve İzmir olarak belirlenmiştir.
- Bütçenin %65'i (13 milyar ₺) tahsis edilmiştir.
- Merkezlerin coğrafi erişilebilirlik ortalaması 71,48'dir (genel ortalama 61,74).
- Merkezlerin ulusal pazarlara erişilebilirlik ortalaması 20,97'dir (genel ortalama 15,61).
- Merkezlerin sosyo-ekonomik gelişmişlik endeksi ortalaması 1,3'tür (genel ortalama - 0,055)
- Merkezler, toplam havayolu bağlantılarının %57,31'ini kapsamaktadır.
- Merkezler, toplam uçak trafiğinin %52,42'sini kapsamaktadır.
- Merkezler, toplam ithalat hacminin %33,12'sini kapsamaktadır.
- Merkezler, toplam ihracat hacminin %32,11'ini kapsamaktadır.
- Merkezler toplam turist sayısının %48,04'ünü kapsamaktadır.
- Merkezler, toplam nüfusun %27,1'ini kapsamaktadır.
- Merkezlerin hızlı tren erişilebilirlik ortalaması 44'tür (genel ortalama 41,15).
- 2 merkez hem demiryolu hem liman bağlantısına sahiptir, 2 merkez sadece demiryolu bağlantısına sahiptir ve 1 merkez sadece liman bağlantısına sahiptir.
- Bütün merkezler her iki alanda da yeşil havalimanı sertifikalı kuruluşlara sahiptir.

5.4.4. Senaryo 4

Senaryo 4'de Covid-19 pandemisinin etkileri ölçülmüştür. Merkez üs yer seçimi modeli aşağıdaki kısıt ve girdileri içermektedir;

- 30 milyon yolcu kapasiteli 2 merkez, 15 milyon yolcu kapasiteli 3 merkez belirlenmiştir.
- Bütçe 20 milyar ₺ olarak belirlenmiştir.
- Belirlenecek merkezlerin, coğrafi erişilebilirlik ortalamasının bütün düğümlerin ortalamasından en az %10 daha fazla olması istenmiştir.
- Belirlenecek merkezlerin, ulusal pazarlara erişilebilirlik ortalamasının bütün düğümlerin ortalamasından en az %10 daha fazla olması istenmiştir.
- Belirlenecek merkezlerin, sosyo-ekonomik gelişmişlik endeksi ortalamasının bütün düğümlerin ortalamasından en az %10 daha fazla olması istenmiştir.

- Belirlenecek merkezlerin, uçak trafiğinin, toplam uçak trafiğinin en az %10'unu kapsamı istenmiştir.
- Belirlenecek merkezlerin, toplam ithalat hacminin en az %10'unu kapsamı istenmiştir.
- Belirlenecek merkezlerin, toplam ihracat hacminin en az %10'unu kapsamı istenmiştir.
- Belirlenecek merkezlerin, toplam turist sayısının en az %10'unu kapsamı istenmiştir.
- Belirlenecek merkezlerin, toplam nüfusun en az %10'unu kapsamı istenmiştir.
- Belirlenecek merkezlerin, hızlı tren erişilebilirlik ortalamasının bütün düğümlerin ortalamasından en az %10 daha fazla olması istenmiştir.
- Belirlenecek merkezlerin, karayolu dışında en az bir taşıma moduna daha bağlantılı olması istenmiştir.
- Belirlenecek merkezlerin, yakıt depolama-ikmal veya terminal işletmesi-yer hizmetleri alanlarından en az birinde yeşil havalimanı sertifikası olması istenmiştir. Büyük merkezler için her ikisi de zorunlu tutulmuş, küçük merkezler için en az birini karşılaması yeterli bırakılmıştır.
- Model, pandemi sonrası veriler kullanılarak çalıştırılmıştır.

GAMS ile elde edilen Senaryo 4 çözüm sonuçları aşağıdaki gibidir;

- 30 milyon yolcu kapasiteli olacak şekilde geliştirilecek merkezler Ankara ve Antalya, 15 milyon yolcu kapasiteli olacak şekilde geliştirilecek merkezler ise Adana, İzmir ve Kayseri olarak belirlenmiştir.
- Bütçenin %58,75'i (11,75 milyar ₺) tahsis edilmiştir.
- Merkezlerin coğrafi erişilebilirlik ortalaması 74,9'dur (genel ortalama 61,74).
- Merkezlerin ulusal pazarlara erişilebilirlik ortalaması 23,23'tür (genel ortalama 15,61).
- Merkezlerin sosyo-ekonomik gelişmişlik endeksi ortalaması 1,44'tür (genel ortalama - 0,055)
- Merkezler, toplam havayolu bağlantılarının %60,52'sini kapsamaktadır.
- Merkezler, toplam uçak trafiğinin %53,84'ünü kapsamaktadır.
- Merkezler, toplam ithalat hacminin %34,66'sını kapsamaktadır.
- Merkezler, toplam ihracat hacminin %35,38'ini kapsamaktadır.
- Merkezler toplam turist sayısının %48,66'sını kapsamaktadır.

- Merkezler, toplam nüfusun %29,24'ünü kapsamaktadır.
- Merkezlerin hızlı tren erişilebilirlik ortalaması 48,67'dir (genel ortalama 41,15).
- 2 merkez hem demiryolu hem liman bağlantısına sahiptir, 2 merkez sadece demiryolu bağlantısına sahiptir ve 1 merkez sadece liman bağlantısına sahiptir.
- 4 merkez her iki alanda da yeşil havalimanı sertifikalı kuruluşlara sahiptir, 1 merkez sadece yakıt depolama-ikmal konusunda yeşil havalimanı sertifikalı kuruluşlara sahiptir.

Senaryo çözümlerinin özeti Çizelge 5.1'de verilmiştir.

Çizelge 5.1. Senaryo çözüm sonuçları

	Senaryo 1	Senaryo 2	Senaryo 3	Senaryo 4
Merkez üsler	Ankara İzmir Adana Gaziantep Konya	Ankara Antalya Adana İzmir Kayseri	Ankara Antalya Adana Erzincan İzmir	Ankara Antalya Adana İzmir Kayseri
Bütçe tahsisi (%)	86,25	58,75	65	58,75
Coğrafi erişilebilirlik	76,3	74,9	71,48	74,9
Ulusal pazarlara erişilebilirlik	24,67	23,23	20,97	23,23
Sosyoekonomik gelişmişlik	1,183	1,44	1,3	1,44
Havayolu bağlantıları (%)	38,9	60,52	57,31	60,52
Uçak trafiği(%)	29,37	53,84	52,42	53,84
İthalat hacmi(%)	40	34,66	33,12	34,66
İhracat hacmi(%)	42,7	35,38	31,11	35,38
Turist sayısı (%)	17,7	48,66	48,04	48,66
Nüfus(%)	19,9	29,24	27,1	29,24
Hızlı tren erişilebilirliği	59,04	48,67	44	48,67
Diğer bağlantılar	2 demiryolu+liman 3 demiryolu	2 demiryolu+liman 2 demiryolu 1 liman	2 demiryolu+liman 2 demiryolu 1 liman	2 demiryolu+liman 2 demiryolu 1 liman
Yeşil havalimanı uygulamaları	3, iki alanda 2, tek alanda	4, iki alanda 1, tek alanda	5, iki alanda	4, iki alanda 1, tek alanda



6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Türkiye’de havayolu sektörünün serbestleşmesiyle birlikte havayolu taşımacılığa olan talep her geçen gün artmaktadır. Dünyanın en hızlı gelişen merkezleri arasında yer alan İstanbul, Türkiye’nin uluslararası uçuşlar için merkezi konumundadır. Havayolu taşımacılığı ağında kurulan bağlantıların büyümeye devam edebilmesi için altyapı en önemli unsurlardan biridir. Büyük havalimanlarındaki kapasite kısıtlamaları, ulaşım ağındaki büyümeye engel olmaya başladığında ikincil merkezler kullanılmaya başlanır. İstanbul’da bulunan iki büyük havalimanının talepteki hızlı artışı karşılamakta yaşadığı zorluğun “İstanbul Yeni Havalimanı” projesi ile karşılanacağı öngörülmektedir. Ancak bununla birlikte hızlı büyüyen nüfus, gelişen ticari bağlantılar ve turizm endüstrisi ve bölgesel havacılık faaliyetleri göz önünde bulundurulduğunda Türkiye’de, havayolu taşımacılığı altyapısında daha fazla geliştirmeye ihtiyaç duyulduğu görülmektedir.

Havayolu taşımacılığında bağlanabilirliğin artırılması konusunda en büyük etkilerden birine sahip olan unsurlardan biri bölgesel havacılıktır. Türkiye’de bölgesel havacılığın gelişimi için çalışmalar sürdürülmektedir. Havacılık sektörü Ulaşım ve İletişim Hedef 2023 Stratejileri arasında, İstanbul Atatürk Havalimanı dışında belirlenecek en az iki bölgesel havalimanının, ABD, Avrupa ve Asya arasındaki uçuşlar için transfer merkezi niteliğinde, ana havalimanı olarak gelişmesinin sağlanması yer almaktadır. Ayrıca 30 milyon kapasiteli iki, 15 milyon kapasiteli üç havalimanının inşa edilmesi hedeflenmiştir. Havayolu taşımacılığının yanı sıra Türkiye, diğer ulaşım modlarına yönelik önemli yatırımlar da gerçekleştirmektedir. Özellikle, demiryolu taşımacılığı sektöründe mevcut güzergahların yanında yeni güzergahlarda hızlı tren hatlarının yapımı çalışmaları devam etmektedir.

Hava ulaşım ağ yapısı planları hazırlanırken göz önünde bulundurulacak kriterler, hem mevcut havalimanlarının hem de yeni inşa edilecek havalimanlarının çalışma performansını büyük oranda etkileyecektir. Bu çerçevede, mevcut yolcu potansiyeli, altyapı ve bağlantı kapasiteleri göz önünde bulundurularak en uygun aktarma merkezlerinin belirlenebilmesi için karar destek modellerine ihtiyaç duyulduğu görülmektedir.

Bu doğrultuda, Türkiye’de İstanbul’dan sonra ikincil merkez havalimanlarının belirlenebilmesi için karar vericilere destek sağlayacak bir merkez üs yer seçimi modeli

geliştirilmiştir. Mevcut havalimanı altyapılarının uluslararası uçuşlar için transit merkez olarak gelişiminin sağlanarak 30 milyon yolcu kapasiteli iki, 15 milyon kapasiteli üç havalimanının belirlenmesi amaçlanmıştır.

Geliştirilen modelde, gerçekleştirilen literatür taraması doğrultusunda belirlenen ve havayolu taşımacılığında havalimanı bağlanabilirliğini etkileyen unsurlar göz önünde bulundurulmuştur. Havayolu taşımacılığına olan talebi etkileyen nüfus, sosyo-ekonomik gelişim, erişilebilirlik, ticaret hacmi, turizm, ulaşım ağı bağlantıları ilgili göstergeler modele girdi olarak belirlenmiştir. Erişilebilirlik, hem coğrafi hem de ulusal pazarlara erişim olarak ele alınmıştır. Hızlı tren bağlantılarının, havalimanı talep tabanını genişleteceği düşünüldüğü için hızlı tren erişilebilirliği de dahil edilmiştir. Hızlı tren erişilebilirliği hesaplanırken yapımı devam eden hatlar dikkate alınmıştır. Ekonomik göstergeler olarak ithalat ve ihracat hacmi, turizm için ise turist sayıları kullanılmıştır. Havayolu bağlantıları için havalimanı bağlanabilirlik değerleri ve tüm uçak trafiği kullanılmıştır. Birer lojistik merkez konumunda bulunan havalimanlarının demiryolu ve liman bağlantıları da göz önünde bulundurulmuştur. Son olarak, çevresel etkileri nedeniyle ulaşım ağlarının planlanmasında göz önünde bulundurulması gereken bir unsur olarak havalimanlarında faaliyet gösteren işletmelerin, yakıt depolama ve ikmal, terminal işletmeciliği ve yer hizmetleri konularında yeşil kuruluş olarak sertifikalandırılma durumu da girdi olarak belirlenmiştir.

Geliştirilen model, farklı senaryolar uygulanarak GAMS yazılımı aracılığıyla çalıştırılmıştır. İlk senaryo, belirlenecek bütün havalimanlarının hızlı tren bağlantısı bulunmasını zorunlu kılmış ve yeşil havalimanı uygulamalarından en az birini karşılaması kabul edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, Ankara ve İzmir iki büyük merkez olarak belirlenmiş Adana, Gaziantep ve Konya ise diğer merkezler olarak atanmıştır. Belirlenen havalimanlarından üç tanesinde her iki alanda da yeşil havalimanı uygulamaları gerçekleştirilmektedir. Senaryo, erişilebilirlik kriterleri, ithalat hacmi (%40) ve ihracat hacmi (%42,7) açısından en yüksek değerlere sahipken havayolu bağlantılarının %38,9'unu, uçak trafiğinin %29,37'sini, turist sayısının %17,7'sini ve nüfusun %19,9'unu kapsayarak belirlenen senaryolar içinde en düşük değerlere sahiptir. Ayrıca en yüksek bütçe tahsisine sahiptir.

İkinci senaryoda, belirlenecek bütün havalimanlarının hızlı tren bağlantısı bulunması zorunlu tutulmamış ancak hızlı tren erişilebilirliği dikkate alınmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, Ankara ve Antalya iki büyük merkez olarak belirlenmiş Adana, İzmir ve Kayseri ise

diğer merkezler olarak atanmıştır. Belirlenen havalimanlarından dört tanesinde her iki alanda da yeşil havalimanı uygulamaları gerçekleştirilmektedir. Senaryo, havayolu bağlantılarının %60,52'sini, uçak trafiğinin %53,84'ünü, turist sayısının %53,84'ünü ve nüfusun %29,24'ünü kapsayarak belirlenen senaryolar içinde en yüksek değerlere sahiptir. Ayrıca en düşük bütçe tahsisine sahiptir.

Üçüncü senaryoda, belirlenecek havalimanlarının hızlı tren erişilebilirliği dikkate alınmamış ancak belirlenecek havalimanlarının her iki alanda da yeşil havalimanı uygulamalarını gerçekleştirmesi zorunlu kılınmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, Ankara ve Antalya iki büyük merkez olarak belirlenmiş Adana, Erzincan ve İzmir ise diğer merkezler olarak atanmıştır. Senaryo, erişilebilirlik kriterleri ve ekonomik göstergeler açısından belirlenen senaryolar içerisinde en düşük değerlere sahiptir. Havayolu bağlantılarının %57,31'ini, uçak trafiğinin %52,42'sini, turist sayısının %48,04'ünü ve nüfusun %27,1'ini kapsamaktadır.

Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde, Ankara'nın erişilebilirlik, hızlı tren bağlantıları, nüfus, sosyo-ekonomik gelişmişlik ve ticaret hacmi ile tüm senaryolarda ön plana çıktığı görülmektedir. Ankara'nın merkez olarak gelişiminin sağlanması ile hem günlük bağlantı sayısının artışıyla doğrudan bağlanabilirliğinin hem de güzergahların kalitesi sayesinde dolaylı bağlanabilirliğinin artacağı değerlendirilmektedir. Türkiye'nin İstanbul'dan sonra en büyük havalimanına sahip olan Antalya'nın hızlı tren bağlantısının bulunmaması senaryo sonuçlarını büyük oranda etkilemiştir. Yolcu trafiği ve altyapı yeterliliğinin yüksek olması daha düşük maliyetli ve daha kapsamlı bir senaryonun uygulanmasını mümkün kılmıştır. İzmir ise nüfusu ve ekonomik gelişimiyle ön plana çıkmıştır. Yeşil havalimanı uygulamalarının henüz bütün havalimanlarında yeterli düzeyde uygulanmıyor oluşu da senaryo sonuçlarını büyük oranda etkilemiştir.

Uygun senaryonun seçiminde karar verici tercihleri etkili olacaktır. Bütün havalimanlarının hızlı tren bağlantısı bulunması istendiğinde ilk senaryo, daha düşük maliyetle daha geniş bir ağa ulaşmak istendiğinde ise ikinci senaryo tercih edilecektir. Geliştirilen model, karar vericilerin istenilen kriterleri modele istenilen ölçüde dahil etmesine imkân veren faktörleri içermektedir. Uygulanan senaryolarda belirlenecek merkezlere ait girdilerin ortalama değerlerden belirli bir oranda yüksek olması tercih edilmiştir. Elde edilen sonuçların getirileri, olumsuz yanları ve maliyeti göz önünde bulundurulduğunda Senaryo 2'nin daha uygun bir sonuç verdiği değerlendirilmiştir. Belirlenen senaryo daha az maliyetle daha geniş

ulaşım ağını kapsamaktadır. Ayrıca belirlenen merkezlerin birbirlerine göre coğrafi konumu daha başarılı sonuç vermektedir. İlk senaryo sonuçlarında yer alan Konya-Adana-Gaziantep güzergahında planlanan hızlı tren hattının, havalimanlarını ile rakip konuma gelerek havalimanı bağlanabilirliğini olumsuz etkileyebileceği düşünülmektedir.

Son olarak, havayolu taşımacılığını büyük oranda etkileyen Covid-19 pandemisinin etkisinin ölçülmesi amacıyla en uygun olarak belirlenen ikinci senaryo, pandemi sonrası verilerle tekrar çalıştırılmıştır ancak sonuçlar değişmemiştir. İş amaçlı gerçekleştirilen seyahatler azalırken, özellikle yaz aylarında turizm amaçlı olarak veya yakınları ziyaret amacıyla gerçekleştirilen seyahatlerin artışının sonuçları etkilediği düşünülmektedir.

Hava taşımacılığı sektöründeki gelişmenin büyümeye devam edebilmesi için altyapı yatırımlarına bütünsel bir yaklaşım sağlanmalı ve diğer ulaşım modlarıyla birlikte intermodal taşımacılığın gelişimi üzerinde durulmalıdır. Ulaşım modları arasındaki bağlantılar iyileştirilmeli ve ortak altyapının gelişimi desteklenmelidir. Havalimanlarına erişilebilirliğin, diğer ulaşım ağlarında gerçekleştirilen yatırımlarla artırılması, daha geniş bir talep tabanı oluşturulmasına katkı sağlayarak bağlanabilirlikte daha verimli bir büyüme sağlayacaktır. Ancak bununla birlikte aynı güzergâhta farklı ulaşım modları arasında rekabet oluşması, bağlanabilirlik üzerinde olumsuz etki oluşturabilmektedir. Bu açıdan, farklı ulaşım modları arasındaki bağlantıların iyileştirilmesine yönelik yatırımların, havalimanlarının erişilebilirliğini artıracak ve bağlanabilirlik üzerindeki olumsuz etkileri azaltacak şekilde planlanması önemli bir konudur.

Geliştirilen model ile, Türkiye'nin 2023 hedefleri, altyapı yatırımları, sosyo-ekonomik gelişim, turizm ve ticaret hacmi, hızlı tren erişilebilirliği, yeşil havalimanı uygulamaları ve havalimanı bağlantılarını göz önünde bulundurularak, İstanbul kentinden sonra ikincil merkez konumunda olacak havalimanlarının belirlenmesi için öneriler sunulmuştur. Model girdileri, karar vericinin istekleri doğrultusunda belirlenebilmektedir ve ulaşım altyapısı planlamaları için yol gösterici olacağı düşünülmektedir.

Gelecek çalışmalarda, farklı amaç fonksiyonlarının kullanıldığı, modele girdi olarak belirlenen kısıtların daha fazla detaylandırıldığı, çevresel kısıtlar için farklı kriterlerin belirlendiği farklı çözüm yaklaşımları geliştirilebilir.

KAYNAKLAR

- ACI EUROPE. (2017): *Airport Industry Connectivity Report*. Paris: ACI EUROPE.
- ACI EUROPE. (2019): *Airport Industry Connectivity Report*. Kıbrıs: ACI EUROPE.
- Adler, N. and Berechman, J. (2001). Evaluating Optimal Multi-hub Networks in a Deregulated Aviation Market with Application to Western Europe. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 35(5), 373-390.
- Adler, N. and Hashai, N. (2005). Effect of open skies in the Middle East region. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 39(10), 878-894.
- Airports Commission. (2013). *Discussion Paper 02: Aviation Connectivity and the Economy*. London: Airports Commission.
- Alibeyg, A., Contreras, I. and Fernández, E. (2016). Hub network design problems with profits, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 96, 40-59.
- Alumur, A. S. and Kara, B. (2008). Network Hub Location Problems: The State of the Art. *European Journal of Operational Research*, 190, 1-21.
- Alumur, A. S., Yaman, H. and Kara, B. (2012). Hierarchical multimodal hub location problem with time-definite deliveries. *Transportation Research Part E Logistics and Transportation Review*, 48.
- An, Y., Zhang, Y. and Zeng, B. (2015). The Reliable Hub-and-spoke Design Problem: Models and Algorithms. *Transportation Research Part B: Methodological*, 77.
- Aykin, T. (1995). Networking policies for hub-and-spoke systems with application to the air transportation system. *Transportation Science*, 29(3), 201-221.
- Bania N., Bauer P. and Zlatoper T.U. (1998). Air passenger service: A taxonomy of route network, hub location, and competition. *Transportation Research Part E*, 34(1), 53-74.
- Borenstein, S. (1989). Hubs and High Fares: Dominance and Market Power in the U.S. Airline Industry. *RAND Journal of Economics*, 20, 344-365.
- Burghouwt, G. and Redondi, R. (2013). Connectivity in Air Transport Networks: An Assessment of Models and Applications. *Journal of Transport Economics and Policy*, 47, 35-53.
- Campbell, J.F. (1991). Working Paper on “Hub location problems and the p-hub median problem”. *Center for Business and Industrial Studies, University of Missouri, St. Louis*.
- Campbell, J.F. (1994). Integer programming formulations of discrete hub location problems. *European Journal of Operational Research*, 72(2), 387-405.

- Campbell, J. (2009). Hub location for time definite transportation. *Computers & Operations Research*, 36, 3107-3116.
- Campbell, J. and O'Kelly, M. (2013). Twenty-Five Years of Hub Location Research. *Transportation Science*, 46, 153-169.
- Daskin, M.S. (1995). Network and discrete location: Models, algorithms, and applications. New York: Wiley.
- De Wit, J., Veldhuis, J., Burghouwt, G., Matsumoto, H. (2009). Competitive position of primary airports in the Asia-Pacific rim. *Pacific Economic Review*, 14, 639-650.
- DHMI. (2020). *2019-2020 Yıl Sonu İstatistikleri*. Ankara: DHMI.
- Duyguvar, A.S. (2018). *Sürdürülebilir Lojistik Merkezler İçin Yer Seçimi Modeli*. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Dukkanci, O. and Kara, B. Y. (2017). Routing and scheduling decisions in the hierarchical hub location problem. *Computers & Operations Research*, 85, 45-57.
- Dukkanci, O., Peker, M. and Kara, B. Y. (2019). Green hub location problem. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 125, 116-139,
- Düdden, J. (2006). Multi-Hub Network Configurations-A Temporary or Permanent Outcome of Airline Consolidation?. *Review of Network Economics*, 5(4).
- Eiselt, H.A. and Marianov, V. (2009). A Conditional P-Hub Location Problem with Attraction Functions. *Computers & Operations Research*, 36, 3128-3135.
- Farahani, R. Z., Hekmatfar, M., BolooriArabani, A. and Nikbakhsh, E. (2013). Hub location problems: A review of models, classification, solution techniques, and applications. *Computers & Industrial Engineering*, 64 (4), 1096-1109.
- Hekmatfar M., Pishvae M. (2009) *Hub Location Problem*. In: Zanjirani Farahani R., Hekmatfar M. (eds) Facility Location. Contributions to Management Science. Physica, Heidelberg, 243-270.
- Hoff, A., Peiró, J., Corberán, A. and Marti, R. (2017). Heuristics for the Capacitated Modular Hub Location Problem. *Computers & Operations Research*, 86.
- IATA. (2017). *World Air Transport Statistics*. Geneva: IATA.
- IATA. (2020). *Air Connectivity Measuring the connections that drive economic growth*.
- IATA Economics. (2020). *Economic Performance of the Airline Industry 2020 End-Year Report*.
- ICAO. (2013). Working Paper on “Enhancement of Air Transport Connectivity and Facilitation”. *International Civil Aviation Organization, Worldwide Air Transport Conference, Sixth Meeting*, ATConf/6-WP/20, 19/12/12.

- Ishfaq, R. and Sox, C. (2012). Design of Intermodal Logistics Networks with Hub Delays. *European Journal of Operational Research*, 220, 629–641.
- Jaillet, P., Song, G. and Yu, G. (1996). Airline network design and hub location problems, *Location Science*, 4(3), 195-212.
- Kültür ve Turizm Bakanlığı (2020). *Turizm İstatistikleri*. Ankara: Kültür ve Turizm Bakanlığı.
- Lüer-Villagra, A. and Marianov, V. (2013). A competitive hub location and pricing problem. *European Journal of Operational Research*, 231.
- Martin J.C. and Roman C. (2003). Hub location in the South-Atlantic airline market: A spatial competition game. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 37(10), 865–888.
- Mohammadi, M., Torabi, S.A. and Tavakkoli-Moghaddam R. (2014). Sustainable hub location under mixed uncertainty. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 62 (C), 89-115.
- Najy, W. and Diabat, A. (2020). Benders decomposition for multiple-allocation hub-and-spoke network design with economies of scale and node congestion. *Transportation Research Part B: Methodological*. 133, 62-84.
- O’Kelly, M. E. (1986a). The location of interacting hub facilities. *Transportation Science*, 20(2), 92–106.
- O’Kelly, M. E. (1986b). Activity levels at hub facilities in interacting networks. *Geographical Analysis*, 18(4), 343–356.
- O’Kelly, M. E. (1987). A quadratic integer program for the location of interacting hub facilities. *European Journal of Operational Research*, 32(3), 393–404.
- O’ Kelly M. E. (1992). Hub facility location with fixed costs. *Papers in Regional Science*, 71, 292–306
- Oktal, H. and Özger, A. (2013). Hub location in air cargo transportation: A case study. *Journal of Air Transport Management*, 27, 1–4.
- Önen, V. (2017). Porter’ın Beş Güç Metodu ile Türkiye Havayolu Yolcu Pazarı Rekabetçi Analizi. *International Journal of Academic Value Studies*, 3 (9), 371-393.
- PwC. (2014). *Connectivity and Growth Directions of Travel for Airport Investments*.
- Redondi, R., Malighetti, P., Paleari, S. (2011). Hub competition and travel times in the world-wide airport network. *Journal of Transport Geography*, 19, 1260-1271.
- Redondi, R., Malighetti, P., Paleari, S. (2012). De-hubbing of Airports and their Recovery Patterns. *Journal of Air Transport Management*, 18, 1-4.

- Saberi, M. and Mahmassani, H. (2013). Modeling the airline hub location and optimal market problems with continuous approximation techniques. *Journal of Transport Geography*, 30, 68-76.
- Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı. (2019). *İllerin ve Bölgelerin Sosyo-Ekonomik Gelişmişlik Sıralaması Araştırması SEGE-2017*. Kalkınma Ajansları Genel Müdürlüğü Yayını Sayı:3 Araştırma Raporu Sayı: 3, Ankara: Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı.
- Sasaki, M., Suzuki, A., Drezner, Z. (1999). On the selection of hub airports for an airline hub-and-spoke system. *Computers & Operations Research*, 26 (14), 11–1422.
- Shaw S.L. (1993). Hub structures of major US passenger airline. *Journal of Transport Geography*, 1(1), 47–58.
- SHGM. (2019a). *Yeşil Havaalanı Projesi Sektörel Kriterler Dokümanı*. Ankara: SHGM.
- SHGM. (2019b). *Yeşil Kuruluş Unvanı Verilen İşletmelerin Listesi*. Ankara: SHGM.
- Soylu, B. and Katip, H. (2019). A multiobjective hub-airport location problem for an airline network design. *European Journal of Operational Research*, 277.
- Sugiyanto, G., Santosa, P. B., Wibowo, A., and Santi, M. Y. (2015). Analysis of hub-and-spoke airport networks in Java Island, based on cargo volume and freight ratio. *Procedia Engineering*, 125, 556–563.
- Şimşek, A. (2015). *Erişilebilir Şehirler ve Bölgeler: Erişilebilirliğin Bölgesel Kalkınmaya Etkisi ve İller Bazında Erişilebilirlik Endeksinin Geliştirilmesi*. Kalkınma Bakanlığı Bölgesel Gelişme ve Yapısal Uyum Genel Müdürlüğü.
- Taherkhani, G. and Alumur, A. S. (2018). Profit Maximizing Hub Location Problems. *Omega*, 86.
- Ticaret Bakanlığı. (2021a). *2019-2020 İllere Göre İhracat İstatistikleri*. Ankara: Ticaret Bakanlığı.
- Ticaret Bakanlığı. (2021b). *2019-2020 İllere Göre İthalat İstatistikleri*. Ankara: Ticaret Bakanlığı.
- Toh, R. S. and Higgins, R. C. (1985). The impact of hub and spoke network centralization and route monopoly on domestic airline profitability. *Transportation Journal*, 24, 16–27
- Torkestani, S. S., Hosseini, S. M., Makui, A. and Shahanaghi, K. (2018). The Reliable Design of a Hierarchical Multi-Modes Transportation Hub Location Problems (HMMTHLP) Under Dynamic Network Disruption (DND). *Computers & Industrial Engineering*, 122, 39-86.
- TÜİK. (2021). *İl ve Cinsiyete Göre İl/İlçe Merkezi, Belde/Köy Nüfusu ve Nüfus Yoğunluğu İstatistikleri*. Ankara: TÜİK.

- Ulaştırma Bakanlığı. (2011). *Türkiye Ulaşım ve İletişim Stratejisi Hedef 2023*. Ankara: Ulaştırma Bakanlığı.
- Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı. (2019). *Ulaşan ve Erişen Türkiye 2020*. Ankara: Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı.
- Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı. (2020). *Ulaşan ve Erişen Türkiye 2020*. Ankara: Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı.
- Yuan, Y. and Yu, J. (2018). Locating transit hubs in a multi-modal transportation network: A cluster-based optimization approach. *Transportation Research Part E Logistics and Transportation Review*, 114.
- Zhang, Y., Zhang, A., Zhu, Z., Wang, K. (2017). Connectivity at Chinese airports: The evolution and drivers. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 103, 490-508.
- Zhu, Z., Zhang, A., Zhang, Y. (2017). Connectivity of intercity passenger transportation in China: A multi-modal and network approach. *Journal of Transport Geography*, 71, 263-276.



**EKLER**

(Ekler Tezin arka kapağında CD ortamında verilmiştir.)



GAZİ GELECEKTİR..