

HAVALİMANLARINDA ENERJİ TÜKETİMİNE BAĞLI
ÇEVRESEL ETKİLERİN İNCELENMESİ:
YOLCU BAŞINA OLUŞAN
ÇEVRESEL ETKİ İÇİN ÖNERME

Doktora Tezi

Alper DALKIRAN
Eskişehir, 2017

HAVALİMANLARINDA ENERJİ TÜKETİMİNE BAĞLI
ÇEVRESEL ETKİLERİN İNCELENMESİ:
YOLCU BAŞINA OLUŞAN
ÇEVRESEL ETKİ İÇİN ÖNERME

Alper DALKIRAN

DOKTORA TEZİ

Uçak Gövde Motor Bakım Anabilim Dalı
Danışman : Prof. Dr. T. Hikmet KARAKOÇ
(İkinci Danışman : Doç. Dr. M. Ziya SÖĞÜT)

Eskişehir
Anadolu Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Mayıs, 2017

Bu Tez çalışması BAP Komisyonunca kabul edilen 1402F053 no lu proje kapsamında desteklenmiştir.

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

Alper DALKIRAN'ın "HAVALİMANLARINDA ENERJİ TÜKETİMİNE BAĞLI ÇEVRESEL ETKİLERİN İNCELENMESİ YOLCU BAŞINA OLUŞAN ÇEVRESEL ETKİ İÇİN ÖNERME" başlıklı tezi 08/05/2017 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından değerlendirilerek "Anadolu Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliği'nin ilgili maddeleri uyarınca, Uçak Gövde Motor Bakım Anabilim Dalında Doktora Tezi olarak kabul edilmiştir.

	<u>Unvanı-Adı Soyadı</u>	<u>İmza</u>
Üye (Tez Danışmanı)	Prof. Dr. T. Hikmet KARAKOÇ	
Üye	Prof. Dr. Arif HEPBAŞLI	
Üye	Doç. Dr. Emin AÇIKKALP	
Üye	Doç. Dr. Önder ALTUNTAŞ	
Üye	Yrd. Doç. Dr. Alper ULUDAĞ	

Enstitü Müdürü

ÖZET

HAVALİMANLARINDA ENERJİ TÜKETİMİNE BAĞLI ÇEVRESEL ETKİLERİN İNCELENMESİ: YOLCU BAŞINA OLUŞAN ÇEVRESEL ETKİ İÇİN ÖNERME

Alper DALKIRAN

**Uçak Gövde Motor Bakım Anabilim Dalı
Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mayıs, 2017**

**Danışman : Prof. Dr. T. Hikmet KARAKOÇ
(İkinci Danışman : Doç. Dr. M. Ziya SÖĞÜT)**

Bu çalışmada, havaalanlarında enerji tüketimine bağlı çevresel sürdürülebilirlik için yöntemsel bir yaklaşım geliştirmiştir. Geliştirilen yöntem havaalanı yerleşkesindeki enerji tüketiminin çevresel etkilerini anlaşılabilir bir yol ile hesaplamaya çalışmış ve "Methodology and Determinations for Airport Sustainability" (MDAS – Havaalanı Sürdürülebilirliği için Tanımlar ve Yöntem) şeklinde isimlendirilmiştir. MDAS Yöntemi havalimanındaki enerji odaklarını uçaklar, yer hizmetleri, terminal binaları ve diğer binalar olmak üzere dört kümeye, uçak hareketlerine bağlı ve günlük tüketime bağlı olarak iki gruba ayırır. Uçak hareketleri, uçağın aldığı hizmetler ve uçağın hareketi ile kullanılan enerjiyi kapsamakta iken, günlük enerji tüketimi yerleşke içerisindeki terminal binaları ile diğer binalar ile ifade edilir. Yöntem, yolcu, uçak ve günlük işletim gibi büyüklükleri kullanarak anahtar gösterge değerleri tanımlamaktadır. Bu yöntem, çalışma içinde dört küme ile belirlenmiş olan uçak ve havaalanı için çevresel etkilerinin hesaplanması ve anlaşılması için bir başlama noktasıdır. Bununla birlikte, çalışma dışı tutulmuş genel ve askeri havacılık ile yolcuların havalimanına ulaşimleri gibi önemli boyutlar da bulunmaktadır.

Anahtar Kelimler: Havaalanları, Çevresel etkiler, Eko göstergeler, Anahtar gösterge değerleri, Enerji tüketimi, Uçak.

ABSTRACT

INVESTIGATION OF ENERGY CONSUMPTION BASED ENVIRONMENTAL SUSTAINABILITY IN AIRPORTS: A SUGGESTION FOR ENVIRONMENTAL EFFECTS PER PASSENGER

Alper DALKIRAN

**Aircraft Engine and Frame Program
Anadolu University, Graduate School of Sciences, May, 2017**

**Supervisor : Prof. Dr. T. Hikmet KARAKOÇ
(Co-Supervisor: Assoc. Prof. Dr. M. Ziya SÖĞÜT)**

The main objective of the present study is to develop a methodological approach for environmental sustainability with respect to energy consumption for airports. The Methodology developed in this study termed as Methodology and Determinations for Airport Sustainability (MDAS) attempts to provide a way to understand and to calculate environmental impacts of energy consumption around airport campuses. The MDAS divides energy consumption across the airport campus in four clusters i.e. aircrafts, apron, terminal buildings and ancillary buildings along two dimensions such as aircraft movement and daily consumptions. Aircraft movements cover energy consumption by the aircraft as it moves and the energy used by apron services to support aircraft operations whereas daily consumption of energy is centered around the consumption of energy by the terminal building and the ancillary buildings on the airport campus. The methodology identifies passengers, aircrafts and day of operation as the key indicators to calculate energy consumption. This methodology is just a starting point toward understanding and measuring the environmental impacts of airports and airplanes along the four clusters identified in this study. However, there are other important dimensions such as passenger means of accessing the airport, private and military aircraft movements that were not included in this methodology.

Keywords: Airports, Environmental effects, Eco indicators, Key indicator values, Energy consumption, Aircraft, Airplane.

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Bu tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmanın hazırlık, veri toplama, analiz ve3 bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı; bu çalışma kapsamında elde edilemeyen tüm veri ve bilgiler ilin kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi; bu çalışmanın Anadolu Üniversitesi tarafından kullanılan “bilimsel intihal tespit programı”yla tarandığını ve hiçbir şekilde “intihal içermediğini” beyan ederim. Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçlara razı olduğumu bildiririm.

Alper DALKIRAN

TEŞEKKÜR

21 yıldır çalışmalarına ortak olmaktan ötürü gurur duyduğum ve hayatımın en önemli kırılma anlarından birisinde beni tüm gücüyle destekleyen bu günlere gelmemi sağlayan danışmanım, öğretmenim ve telefonunu halen ezbere bildiğim Sayın Prof. Dr. Hikmet KARAKOÇ’a sonsuz desteklerinden dolayı teşekkürü bir borç bilirim.

Tez konumun tespit edilmesinde, sorunun tanımlanmasında ve bana bilimsel bir çalışmanın şekillenmesi ve oluşturulması için her seferinde bana rehberlik ettiğinden dolayı Sayın Doç.Dr. Ziya SÖĞÜT’e teşekkür ederim.

İzmir’de çalıştığım dönemde, yanına her uğradığımda beni motive eden, tezimi bitirmem ve bilim insanı olmanın en büyük gereği olan bilgi aktarımı konusunda örnek olan Sayın Prof.Dr. Arif HEPBAŞLI’ya teşekkür ederim.

Derin bakış açısıyla, tezimin hesaplamalarını baştan şekillendiren yaklaşımları ve sorun çözme konusunda vermiş olduğu değerli destekleri dolayısıyla Sayın Doç.Dr. Emin AÇIKKALP’e teşekkür ederim.

Başım her sıkıştığında bana yardımcı olan ve işleri kolaylaştıran güler yüzlü dostlarım, Sayın Yrd.Doç.Dr. İlkay ORHAN ve Sayın Dr. Yasin ŞÖHRET’e teşekkür ederim.

Çalışmam boyunca desteğini eksik etmeyen, her türlü konuda bana destek olmayı kesmeyen, sürekli “hadi” diyen aileme ve özellikle eşim İpek DALKIRAN’a ve kardeşim Onur DALKIRAN’a teşekkürü bir borç bilirim.

Alper DALKIRAN

İÇİNDEKİLER

BAŞLIK SAYFASI	i
JÜRİ VE ESNTİTÜ ONAYI.....	ii
ÖZET	iii
ABSTRACT.....	iv
ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ.....	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
ŞEKİLLER DİZİNİ	xii
SEMBOLLER DİZİNİ	xiii
1. GİRİŞ	1
1.1 Amaç ve Kapsam.....	4
1.2 Sınırlar	7
2. LİTERATÜR TARAMASI	10
2.1 Problemin Tanımı	10
2.2 Problemin Çözümüne Yönelik Önceki Yaklaşımlar.....	10
2.3 Sunulan Çözümün Özgünlüğü ve Üstünlükleri	14
3. ÇEVRESEL ETKİ ANALİZLERİNİN TEORİK ALTYAPISI.....	16
3.1 Havaalanı ve Bölümleri	16
3.1.1 Yolcuların havaalanındaki ilerlemeleri.....	16
3.1.2 Hava tarafı ve aprondaki bölümler	16
3.1.3 Kara tarafı ve idari birimler	20
3.1.4 Terminaldeki bölümler	22
3.2 Havaalanlarındaki Diğer Çevresel Etkiler	25
3.2.1 Sulama ihtiyaçları	26
3.2.2 Kullanılan malzemelerin seçimi yönetilmesi	27

3.3 Enerji Temelinde Etkiler	27
3.3.2 Isınma ve soğutma ihtiyaçları	30
3.3.3 Ulaşım ihtiyaçları	31
3.3.4 Aydınlatma ihtiyaçları	35
3.3.5 Konfor ihtiyaçları.....	35
3.3.6 Otomasyon ihtiyaçları.....	36
3.3.7 Güvenlik ihtiyaçları	38
3.4 Hava Trafiğini Şekillendiren Unsurlar	39
3.4.1 Bölgesel ve ekonomik yolcu etkenleri.....	43
3.4.2 Havaalanının mimari özellikleri ve enerji etkileri	44
4. HAVALİMANLARINDAKİ ENERJİ TEMELLİ ÇEVRESEL ETKİLERİN METODOLOJİK İNCELENMESİ.....	46
4.1 Kabuller	46
4.2 Çevresel Etkilerin Tespiti.....	47
4.2.1 Genel sorunlar	48
4.2.2 Çevresel etkilerin hesaplanması için seçilecek yöntem.....	50
4.2.3 Eko göstergelerin yöntem için kullanılması.....	52
4.2.4 Enerji temelli çevresel etkilerin değerlendirilmesi ve MDAS Yöntemi	54
4.3 MDAS Yöntemi Bileşenleri ve Veri Hazırlığı.....	58
4.4 Uçak Hareketleriyle Oluşan Etkiler	70
4.4.1 Havaalanları için ortalama taksi mesafesinin hesaplanması	73
4.4.2 İniş ve kalkış için eko göstergelerin hesaplanması.....	74
4.4.3 Ortalama uçuş mesafelerinin bulunmasının önemi	75
4.4.4 Eurocontrol veritabanları ve DDR2 SO6 veri çıktıları	77
4.4.5 Uçuşun fazları boyunca enerji açısından çevresel etkilerin incelenmesi.....	82

4.4.6	Uçuş ağırlığının hesaplanması	83
4.4.7	Uçuş evrelerinin uzunlukları ile fazlar boyunca kullanılan yakıt miktarına göre Eko göstergenin ağırlıklı karşılığının hesaplanması.....	86
4.5	Yer Hizmetlerinin Oluşturduğu Etkiler	88
4.6	Havaalanı Terminal Binalarının Oluşturduğu Etkiler.....	94
4.7	Tali Binaların Oluşturduğu Etkiler.....	103
4.8	Havaalanı Yerleşkesi için Yıllık Etkinin Hesaplanması.....	104
5.	BULGULAR ve ÖNERMELER.....	106
5.1	Kalış ve İniş Süreçlerinde Uzaklığın Değişmesi	111
5.2	Yolcu Kapasitesi ve Uçak Ağırlığının Değişmesinin Etkileri.....	115
5.3	Gövde Tipi Değişiminin Çevresel Etkisi	119
6.	SONUÇLAR.....	121
	KAYNAKÇA.....	124
	EK : HAVAALANI VERİLERİ	
	ÖZGEÇMİŞ	

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1 : Avrupa’da bulunan beş şehrin havaalanı büyüklüklerinin karşılaştırılması	5
Çizelge 1.2 : Çeşitli uçaklar için düşey yükselme verisi	9
Çizelge 2.1 : Literatür taramaları için özet tablo	15
Çizelge 3.1 : Havaalanlarına yolcu ulaşımı	33
Çizelge 3.3 : Üç popüler çevresel değerlendirme	45
Çizelge 4.3 : Yirmi beş havaalanının pist ve taksi özellikleri	73
Çizelge 4.4 : Uçuşlar için milipoint (mPt) değerleri.....	74
Çizelge 4.5 : Havayollarının uçak amortisman süreleri.....	77
Çizelge 4.6 : Veri tabanı yapısı.....	79
Çizelge 4.7 : Veri tabanı Tabloları.....	81
Çizelge 4.8 : Toplam uçuş kayıtları	81
Çizelge 4.9 : Uçuş evrelerine göre uçak motoru tepki oranları	83
Çizelge 4.10 : Büyük ve küçük gövdeli uçaklar için eko göstergeler.....	83
Çizelge 4.11 : Uçak ağırlıkları terimleri	84
Çizelge 4.12 : Küçük ve Geniş gövdeli uçaklar için eko göstergeler için kullanılacak uçuş ağırlıkları	85
Çizelge 4.14 : Bir uçak için LTO Sürecine özel Eko gösterge değerleri (mPt).....	87
Çizelge 4.14 : Havaalanlarında her uçak başına kullanılan araç ve cihazlar	90
Çizelge 4.15 : Örnek doluluk verisi	92
Çizelge 4.16 : Örnek veri üzerinden hesaplanan tespit edilmiş uçak başına Yer Hizmetleri araçlarının ve cihazlarının oluşturmuş olduğu Eko gösterge değerleri.....	93
Çizelge 4.17 : Dünya üzerindeki değişik bölgeler için gün ışığından arda kalan karanlık süreler	95
Çizelge 4.18 : Havaalanlarındaki otomasyon cihazlarının kullanım gözlemleri	97
Çizelge 4.19 : Aydınlatma, ısıtma ve soğutma için havaalanının yükleme oranları ve çalışma süreleri	99
Çizelge 4.20 : Terminal binası içerisindeki ana enerji kalemleri için mPt değerleri....	101

Çizelge 5.1 : Havaalanı Genel Bilgileri	106
Çizelge 5.2 : Uçak Hareketleri ile ilgili bilgiler.....	106
Çizelge 5.3 : Yer Hizmetleri ile ilgili bilgiler	107
Çizelge 5.4 : Terminal Binası ile ilgili bilgiler	107
Çizelge 5.5 : Diğer binalar ile ilgili bilgiler.....	107
Çizelge 5.6 : Uçak Hareketleri dolayısıyla oluşan etkiler	108
Çizelge 5.7 : Yer hizmetleri tarafından uçaklara verilen hizmet dolayısıyla oluşan etkiler	108
Çizelge 5.8 : Terminal binası dolayısıyla oluşan günlük etkiler.....	108
Çizelge 5.9 : Diğer binalar dolayısıyla oluşan günlük etkiler	109
Çizelge 5.10 : Toplam MDAS Etkileri	109
Çizelge 5.11 : Havaalanı yerleşkesindeki tüm etkilerin oranları %.....	109
Çizelge 5.12 : Uçakların havaalanına yanaşma ve alçalmaları ile ilgili senaryolar (NM)	111
Çizelge 5.13 : MDAS Sonuçlarının 24 senaryoya göre değişimi	112
Çizelge 5.14 : Senaryolar arası değişim oranları	115
Çizelge 5.15 : Kalkış ve İniş mesafesinin kısalmasının etkisi.....	115
Çizelge 5.16 : Kapasite kullanımı dolayısıyla değişen kalkış ağırlıkları.....	116
Çizelge 5.17 : Kapasite kullanımı değişimine ters orantılı uçak değişimleri	117
Çizelge 5.18 : Geniş ve dar gövdeli uçaklar için oturma planları ve sayıları	119
Çizelge 5.19 : Sadece geniş gövdeli ve sadece dar gövdeli uçuş sayıları.....	119

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1 : Beş şehir için havaalanı ve şehir büyüklükleri görüntüsü.....	6
Şekil 3.1 : Havaalanı apron sahası.....	17
Şekil 3.2 : Yıllar bazında jet yakıtı tüketimleri	26
Şekil 3.3 : 2011 yılı Avrupa havaalanlarında yolcu başına güvenlik maliyetleri.....	38
Şekil 3.4 : “Ekonomi” ve “Hava Trafığı”nin ilişkisi için bir önerme	39
Şekil 3.5 : 2006 ve 2007 yılları için trafik tahminleri	43
Şekil 4.1 : MDAS Yöntemi modüler hesaplama kavram haritası	55
Şekil 4.2 : MDAS Esnek Hesaplama metodolojisi.....	56
Şekil 4.3 : MDAS etki değerlendirme ve analiz süreci	57
Şekil 4.4 : Uçak Temelli Mantıksal Etki Kavram Şeması.....	60
Şekil 4.5 : Coğrafi olarak dünya üzerindeki yıllık ortalama saat olarak güneş enerjisi alma süreleri.....	64
Şekil 4.6 : MDAS için veri hazırlama akış şeması.....	69
Şekil 4.7 : İniş ve kalkış süreci.....	70
Şekil 4.8 : Kalkış ve iniş havaalanlarına genel bir bakış	75
Şekil 4.9 : LTO Sırasında oluşan etkilerin LTO fazına göre değişimleri.....	88
Şekil 4.10: Havayolları için rota bilgileri görseli	96
Şekil 5.1 : MDAS Yöntemi ile hesaplanmış olan etkilerin görsel olarak ifadesi.....	110
Şekil 5.2 : MDAS Sonuçlarının senaryolar açısından değişimi	112
Şekil 5.3 : Yolcu ve uçak anahtarlarının 24 Senaryoya göre değişimi.....	114
Şekil 5.4 : ,Gün ve uçak anahtarlarının 24 Senaryoya göre değişimi.....	114
Şekil 5.5 : Dar gövde ve geniş gövde için değişen ağırlıklar	116
Şekil 5.6 : Kapasite kullanımının artması ile azalan çevresel etkiler	117
Şekil 5.7 : Kapasite kullanımı sonucunda oluşan anahtar verinin değişimi	118
Şekil 5.8 : Kapasite kullanımı sonucunda oluşan gün ve uçak anahtarı değişimi.....	118
Şekil 5.9 : Sadece geniş ve Sadece dar gövdeli uçağın normal örnekten farkı	120

SEMBOLLER DİZİNİ

$E(x)$	: Toplam emisyon (4.1)
$ER(x)$	: (x) emisyonunun oranı ya da $kg\ s^{-1}$ olarak parça sayısı
N	: Toplam uçak motoru sayısı
$F_m^{yakıt}$	: Toplam yakıt kütle yakış oran sayısı ($kg\ s^{-1}$ olarak parça sayısı)
STE_{iLTO}	: İniş kalkış süreci için toplam uçak sayısına göre milipoint olarak etki indeksi (4.2)
$a.c$	: Uçak sayısı
n	: Toplam uçak sayısı
ei_L	: Uçak inişi için birim kilometre başına milipoint olarak etki indeksi
d_L	: Uçak için iniş mesafesi
ei_{TO}	: Uçak kalkışı için kilometre başına milipoint olarak etki indeksi
d_{TO}	: Uçak kalkış mesafesi
ei_i	: Uçak için taksi yaparken oluşan boşta çalışma etki indeksi
d_i	: Uçak için taksi yaparken gidilen taksi mesafesi
W_{ei}	: Uçak çevresel etkisi için kullanılacak olan ağırlık, kg (4.3)
TF_W	: Toplam yakıt, kg
TP_W	: Toplam yüklenebilecek faydalı yük, kg
L_F	: Uçuş için toplam uzunluk, NM (4.4)
L_{RWY}	: Kalkış havaalanı pist uzunluğu, NM
L_{TO}	: Kalkış mesafesi, NM
L_{CLI}	: Tırmanma mesafesi, NM
L_{CRU}	: Düz uçuş mesafesi, NM
L_{DES}	: Alçalma mesafesi, NM
L_{APR}	: Yaklaşma mesafesi, NM
$L_{RWY'}$	: İniş havaalanı pist uzunluğu, NM
A_{WM}	: Uçak motorunun güç etkisine bağlı olarak bulunan ağırlıklı ortalama (4.5)
ei	: Uçak tipi için Eko gösterge değeri, mPt
L_x	: Uçuş segmenti, NM

P_{Thrust}	: Uçak segmenti güç yüzdesi, %
ei_{F-Seg}	: Uçak tipi için uçuş bölümüne ait Eko gösterge değeri, mPt, Ton başına, (4.6)
ei_{HN}	: Yüksek sezondaki uçakların küçük gövde için etkileri, mPt (4.7)
ei_{Si}	: Her terminale yanaşma durumunda kullanılacak araç Eko gösterge değeri, mPt
ei_{Sj}	: Her açığa yanaşma durumunda kullanılacak araç Eko gösterge değeri, mPt
n_i	: Her terminale yanaşma durumunda kullanılacak araçların kullanılma sayısı
n_j	: Her açığa yanaşma durumunda kullanılacak araçların kullanılma sayısı,
P_{Ti}	: Kullanma süresi ve oranına bağlı olarak hesaplanmış güç değeri, kW
P_{Tj}	: Kullanma süresi ve oranına bağlı olarak hesaplanmış güç değeri, kW
R_j	: Açığa yanaşma oranı
ei_{LN}	: Düşük sezondaki uçakların küçük gövde için etkileri, mPt (4.8)
ei_{HW}	: Yüksek sezondaki uçakların büyük gövde için etkileri, mPt (4.9)
ei_{LW}	: Düşük sezondaki uçakların büyük gövde için etkileri, mPt (4.10)
$STEi_{HND}$	: Apron bölgesindeki uçuşa hazırlık sırasında oluşan etkilerin tamamı, mPt (4.11)
$ei_{T.A}$	: Terminal içerisinde kullanılan otomasyon sistemleri için toplam bir günlük Eko gösterge değeri mPt/gün (4.12)
ei_{EM}	: Bir elektrik motorunun kW's başına yapmış çevresel etki değeri, mPt
$C_{A.L}$	: Terminalde bulunan asansör sayısı
$C_{A.E}$	: Terminalde bulunan yürüyen merdiven sayısı
$C_{A.T}$	: Terminalde bulunan yürüyen bant sayısı
$C_{A.B}$	: Terminalde bulunan bagaj otomasyon sisteminin metre olarak büyüklüğü
$F_{A.L}$	: Bir asansör için ortalama kurulu elektrik gücü, kW's
$F_{A.E}$	: Bir yürüyen merdiven için ortalama kurulu elektrik gücü, kW's
$F_{A.T}$	: Bir yürüyen bant için ortalama kurulu elektrik gücü, kW's
$F_{A.B}$	: Bir metrelik bagaj bant sistemi için ortalama kurulu elektrik gücü, kW's

E_{AL}	: Asansörün kurulu gücünün kullanma oranı, %
E_{AE}	: Yürüyen merdivenin kurulu gücünün kullanma oranı, %
E_{AT}	: Yürüyen bantların kurulu gücünün kullanma oranı, %
E_{AB}	: Bagaj bantlarının kurulu gücünün kullanma oranı, %
T_{WAL}	: Bir asansörün bir gün içerisindeki çalışma süresi, saat
T_{WAL}	: Bir yürüyen merdiven için bir gün içerisindeki çalışma süresi, saat
T_{WAL}	: Bir yürüyen bant için bir gün içerisindeki çalışma süresi, saat
T_{WAL}	: Bir asansörün bir gün içerisindeki çalışma süresi, saat
$ei_{T.L}$	: Terminal içerisinde yapılmakta olan aydınlatma faaliyetleri için toplam bir günlük Eko gösterge değeri mPt/gün (4.13)
ei_L	: Elektrik aydınlatması için kW's başına çevre etkisi, mPt
$F_{L.T}$	: Terminalde kurulu bulunan aydınlatma gücü, kW's
$P_{L.T}$	: Terminalde kurulu bulunan aydınlatma gücünün yükleme oranı, %
$T_{WL.T}$	: Terminalde bulunan aydınlatma sisteminin çalışma süresi, saat
$ei_{T.H}$	: Terminal içerisinde yapılmakta olan ısıtma faaliyetleri için toplam bir günlük Eko gösterge değeri mPt/gün (4.14)
ei_H	: Isıtma için kW's başına çevre etkisi, mPt
$F_{H.T}$	: Terminalde kurulu bulunan ısıtma gücü, kW's
$P_{H.T}$	: Terminalde kurulu bulunan ısıtma gücünün yükleme oranı, %
$T_{WH.T}$	: Terminalde bulunan ısıtma sisteminin çalışma süresi, saat
$ei_{T.C}$	: Terminal içerisinde yapılmakta olan soğutma faaliyetleri için toplam bir günlük Eko Gösterge değeri mPt/gün (4.15)
ei_C	: Soğutma için kW's başına çevre etkisi, mPt
$C_{C.T}$	: Soğutma sisteminin COP değeri,
$F_{C.T}$	: Terminalde kurulu bulunan soğutma gücü, kW's
$P_{C.T}$	: Terminalde kurulu bulunan soğutma gücünün yükleme oranı, %
$T_{WC.T}$	: Terminalde bulunan soğutma sisteminin çalışma süresi, saat
$ei_{T.O}$	: Terminal içerisinde kullanılan diğer elektrik enerjisi için Eko gösterge değeri mPt/gün (4.16)

- ei_{EM-L} : Elektrikli diğer cihazlar için kW's başına çevre etkisi, mPt
- $F_{O.T}$: Diğer elektrik cihazları için kurulu güç, kW's
- $P_{O.T}$: İşletme diğer gücüne yükleme oranı, %
- $T_{WO.T}$: Terminalin gün içindeki işletme süresi, saat
- $STEi_{TRM}$: Havaalanında bulunan terminal için ısıtma ve soğutma günleri açısından yıllık eko gösterge miktarı, mPt (4.17)
- n_h : Terminalde ısıtma yapılan gün sayısı, gün
- n_c : Terminalde soğutma yapılan gün sayısı, gün
- $STEi_{OTH}$: Havaalanında bulunan tali binaların aydınlatma ısıtma ve soğutma günleri açısından yıllık eko gösterge miktarı, mPt (4.18)
- $Ei_{O.L}$: Tali binalar için yapılmakta olan aydınlatma faaliyetleri için toplam bir günlük Eko gösterge değeri mPt/gün
- $Ei_{O.H}$: Tali binalar için yapılmakta olan ısıtma faaliyetleri için toplam bir günlük Eko gösterge değeri mPt/gün
- $Ei_{O.C}$: Tali binalar için yapılmakta olan soğutma faaliyetleri için toplam bir günlük Eko gösterge değeri mPt/gün
- $Ei_{O.O}$: Tali binalar için kullanılan diğer elektrik enerjisi için Eko gösterge değeri mPt/gün
- TEi : Havaalanında bir yıl içerisinde oluşan tüm etkilerin göstergesi, mPt (4.19)
- Ei_{pD} : Gün başına havaalanı yerleşkesinde yıllık enerji tüketimi ile oluşan çevresel etki miktarı, mPt (4.20)
- ΣD : Havaalanının bir yılda toplam işletildiği gün sayısı, gün
- Ei_{pP} : Yolcu başına havaalanı yerleşkesinde yıllık enerji tüketimi ile oluşan çevresel etki miktarı, mPt (4.21)
- ΣP : Havaalanından bir yılda hizmet alan toplam yolcu sayısı
- Ei_{pA} : Uçak başına havaalanı yerleşkesinde yıllık enerji tüketimi ile oluşan çevresel etki miktarı, mPt (4.22)
- $\Sigma A/C$: Havaalanından bir yılda uçan toplam uçak sayısı

1. GİRİŞ

Havaalanları yolcu ve uçağın bulunduğu ve iş sürecinin başladığı ve sonuçlandırıldığı biricik yerdir. Havaalanları için iş tanımı ise “bir nesnenin ya da canlının bir yerden başka bir yere taşınması ya da götürülmesi için gereksinim duyulan altyapı” olarak ifade edilebilir. İş’in kelime anlamı ise bir kuvvetin bir nesne üzerine güç uygulayarak bir yerden başka bir yere taşınması şeklindedir [1]. Bu iki tanımı temel alırsak; bir iş yapıldığında tanımı gereği bir güç uygulanması, ya da kuvvet uygulanması gereklidir. Buna bağlı olarak da zamansal anlamda gücün uygulanması ile enerjinin açığa çıkması ya da form değiştirmesi gerekmektedir. Örneğin; uçağın hava içerisinde hareket ederek manevra yapabilmesinin sağlanması için fosil yakıtların yakılarak ısı enerjisi elde edilmesi ve bu enerjiden ortaya çıkan ısıya sıcaklık farkından yararlanılarak dönel bir harekete ve itkiye çevrilmesi gerekmektedir. Başka bir örnek olarak yolcu bagajlarının dönel hareketle taşınabilmesi için elektrik enerjisinin bir dönel motoru hareketlendirmesi verilebilir. Elektrik enerjisi ise fosil, yenilenebilir, hidroelektrik ya da nükleer yollardan elde edilebilir.

Sözü edilen enerjilerin elde edilmesi için geleneksel yöntem olan fosil yakıtlara dayalı olarak yapılan ısı hareketleri bir karbon salınımı ve dolayısıyla çevresel bir etki oluşturur. Havaalanları bu anlamda söz konusu ‘iş’in gerçekleştirildiği yapılar oldukça yoğun olarak enerji tüketilen sosyal alanlardır. Bu çalışmada ise havaalanları içerisinde yapılmakta olan iş, bir başka bir ifadeyle sarf edilen enerji sebebiyle ortaya çıkan etkilerin yoğunlaşması incelenmiş ve tüm etkilerin toplanarak yolcu başına etkinin tespiti çalışılmıştır. Bu tespitler havaalanı bölgesinde yapılacak iyileştirmeler ile etki miktarının değişiminin bulunmasına yardımcı olabilecektir. Tez içerisinde geliştirilmiş yöntem ile söz konusu etkilerin yolcu başına etkilerinin dışında uçak başına olarak da bulunması mümkün olacak ve uçak artışına bağlı olarak bu etkileri yakalamak mümkün olacaktır.

Havaalanları birçok insanın bir arada yer almasını sağlayan sosyal alanlar olarak da tanımlanabilir; sosyal alanlarda harcanılan enerjinin tespiti yapılabilirse yıllar boyu enerji tüketimi öngörüsü sosyal alanlardaki ulaşım kullanım miktarına bağlı olarak hesaplanabilir duruma gelebilir. Tez içerisinde anlatılan hesaplama metodu bu anlamda daha önce yapılmamış bir analiz yönetiminin oluşmasını sağlayabilecektir. Bu öngörü sayesinde de havaalanı çevresel etki planı ve bunlara yardımcı olacak işletme planları da oluşturulabilir. Ancak, esas olarak hedeflenmesi gereken sanayi devrimi ve sonrasındaki

büyük gelişmeler sırasında göz ardı edilmiş sürdürülebilir çevre hedefinin belirlenmesi ve bununla birlikte sürdürülebilir büyümenin devam ettirilebilmesi için uzun vadeli planlara destek verebilecek enerji tüketim değerlerine ulaşılabilir olmalıdır.

Hızla gelişmekte olan bir havacılık sektörünün ve havaalanlarının sorunlarından birisi enerji yönetimidir. Havaalanlarının en büyük giderlerinden birisi olan enerji tüketiminin sınırlandırılması konusu her havaalanı için ayrı bir sorun olmaktadır. Bu kadar büyük bir yapının enerji tabanlı olarak sürdürülebilir olması enerji ihtiyacının sınırlandırılmasına ya da iyi planlanmasına bağlıdır. Enerjiyi verimli olarak kullanabilmenin ötesinde, kullanılan enerji sonrasında ortaya çıkan etkileri ve bu etkiyi tanımlayacak göstergelerin tespiti mümkündür. Bu çalışmada geliştirilen yöntem yardımıyla çevresel etkileri dikkatlice incelenmesi mümkün olabilecektir.

Bununla birlikte yapılan çalışmalarda ve hesaplamalarda bir uçağın çevresel etkisinin tüm uçuş yörüngesi boyunca incelenmesi de planlanmıştır. Ancak bu çalışmanın bir havaalanı terminal kampüsü için bütünsel olarak yapılması gündeme gelmemiştir. Aynı zamanda çevresel etkilerin uçağın kalkmış olduğu pistten 3000 feet yüksekliğe kadar olması ve üstündeki yükseklikler için oluşan etkilerin genel etkiler olarak inceleniyor olması tezin çözüm sunduğu bir yaklaşımdır. Bu anlamda çalışma, havaalanı ve yerel etkiler üzerinde önemli düzeyde bir gelişim ile özgün bir değere sahip yöntem olduğu düşünülmektedir. Bununla birlikte geliştirilmiş yöntemin sağladığı diğer bir katkı uçağın etkilerinin genel uçuş yörüngelerinden ayrılarak mesafeye bağlı olarak iniş kalkış sürecine indirilmiş ve hesapların uçak başına yapılabilir hale getirilmiş olmasıdır. Bu etkinin hesaplanması ve diğer etki bileşenleri olan yer hizmetleri etkileri, binalarda yapılan harcamaların etkileri ile birleştirilebilir olarak sunulmuştur. Sonrasında daha ileri sorgulamalar için yöntemin havaalanları arası karşılaştırma, uçak büyüklüklerine göre karşılaştırma ve havayolu şirketlerine göre karşılaştırma imkânlarını sunacağı öngörülmektedir.

Hava taşıtlarının iniş kalkışlarda kullanmakta oldukları rotalar da yerel etkiyi değiştirebilmektedir. ICAO havaalanı bölgesinde oluşan çevresel etkiler 3000 feet altında olan etkilerin çevreye zarar verdiğine işaret etmektedir [2]. Pistin konumlandırılması ve yaklaşma şekli bu anlamda önem teşkil etmektedir. Aynı zamanda kritik yükseklik olarak tanımlanabilen yüksekliğin hızlı olarak terk edilmesi ya da yavaş olarak terk edilmesi yerel etkilerin miktarını değiştirecektir.

Günümüzde ticaretin ve bilgi paylaşımının artması sonucu ticari uçuşların sayısı 1970’li yıllardan günümüze %900 oranında artmıştır. Bu artış yıllık ortalama %22,5 seviyesinde artış anlamına gelmektedir [3]. Gelecek yirmi yılda ise havayolu trafiğinin her yıl %4,7 artarak toplamda yaklaşık iki katına çıkacağı öngörülmektedir. Buna bağlı olarak da uçakların ihtiyacı olan enerji talebi de bu ölçekte artmaktadır [4].

Aynı zamanda gelişmekte olan ülkelerde tam anlamı ile göz ardı edilmekte olan hava trafiğinin doğaya olan etkileri daha da önemli hale gelmektedir. Türkiye’de oluşan hava trafiği artışı ise son on yılda %191 düzeyi ile yurtdışında gerçekleşmekte olan eğilimlerden çok daha yüksek olarak dikkat çekmektedir. İstatistiklerde 2006 yılı ile 2015 yılları arasındaki gerçekleşen yolcu sayıları temel alınmıştır. Aynı istatistiklerin tahmin kısmında ise bu oran gelecek üç yıl için %28 gibi büyüyen bir oranda devam etmektedir [5]. Özetle hava trafiğinin şekillenmesi ile ilgili 2000 yılından 2015 yılına kadar iki katına artan trafiğin gelecek 15 yıl içerisinde tekrar iki katına çıkacağı öngörülebilir. Bu durumda yerel çevresel etkilerin nasıl şekilleneceği çalışma içerisinde anlatılan yöntem ile bulunabilir ve bir projeksiyon çıkartılabilir. Bu yöntem 4 nolu bölüm içerisinde tanımlanmaktadır.

Büyümenin bu kadar hızlı olması kontrol edilebilirlik ve çevresel etkiler anlamında dikkat çekmektedir. Çevresel etkilerin artması ise ileride sürdürülebilir büyümenin tahmin edilenden önce azalmaya ve sonrasında ise küçülmeye neden olacaktır. Bu kadar büyük bir artışın ihtiyaç duyulacak enerjinin nasıl karşılanacağını planlamasını gerektirecektir. Enerji tüketimine bağlı çevresel sürdürülebilirliğin hızlı şekilde değerlendirilebilmesi ve gerekli kararların alınabilmesi açısından yöntem bir çözüm sunmaktadır.

Yolcu trafiğinin artması ile birlikte sadece uçakların egzozlarından çıkmakta olan karbon izi değil, terminal ve tali binalarda oluşmakta olan enerji harcamalarının da incelenmesi bulguların değişiminin yolcu ya da uçak başına etkilerinin bulunmasında önemli olacaktır. Bu sayede havaalanı için genel bir görünüş ortaya konabilecektir. Çevresel etkilerin ortaya çıkarılması ile birlikte bu etkilere bağlı olan ek göstergelerin tespiti mümkün olacaktır. Bu tespit, göstergelerin başka araştırmaların da önünü açmış olacaktır.

1.1 Amaç ve Kapsam

Havaalanları, oldukça büyük alanlara kurulmuş ve içerisinde pek çok binayı bulunduran, ulaşım hizmeti için tasarlanmış yerleşkelerdir. Havaalanlarının kapasiteleri ve sundukları hizmetler, bulundukları şehirlerin mevcut nüfusu ve havaalanının büyüklüğü gibi kıstaslar ile doğru orantılı olarak değişmektedir. Belirli bir büyüklükten sonra havaalanları coğrafi olarak bulundukları bölgenin özelliklerine de bağlı olarak bulunulan şehir ile ilgisi olmayan insanların da transit olarak uğrak yeri olmaya başlar. Şehirlerin ve havaalanlarının kapasiteleri ve büyüklükleri Şekil 1.1 ve Çizelge 1.1 üzerinden incelenebilir [6, 7, 8, 9, 10, 11, 12]. Havaalanlarının büyüklüğünün, ülkenin ve özellikle şehrin milli geliri ile şehrin turistik önemi ve ülkenin coğrafi koşullarının havaalanı kullanımını nasıl desteklediği ile ilişkili olduğudur. Çalışmada söz konusu nedenler ile değil sonuçları ile ilgili bulgular sunulmaktadır. Bazı durumlarda havaalanları sadece yolcunun gitmek istediği yere ulaşmak için değil, bazı durumlarda bir sosyalleşme ortamı haline gelebilmektedir. Basit bir örnek olarak inanç turizmi nedeniyle yapılan olan yolculukların birçok insanı bir araya getirmesi ve buna bağlı olarak havaalanındaki yiyecek ve içecek hizmetlerinin bağlı olarak artması söylenebilir. Bununla birlikte terminal binalarında oluşan ısı etkiler dolayısıyla artacak ısıtma ve soğutma ihtiyacı da tartışılabilir. Havaalanları bununla birlikte insanların yoğun olarak konforlu zaman geçirme taleplerinde bulundukları bir alandır. Özellikle uzak yolculuk yapan yolcuların duraklarında konfor ihtiyaçlarını gidermek için taleplerini arttırdıkları yapılar haline gelmiştir. Bu taleplerin havaalanlarının büyümesi ile artıyor ve çeşitleniyor olması binaların yoğun enerji kullanılan yerler haline dönüşmesini hızlandırmaktadır. Bu enerji tüketimlerinin etkilerinin inceleniyor ve diğer enerji tüketim etkileri ile ortak bir havuzda değerlendiriliyor olması önemli göstergelerin keşfedilmesini sağlayacaktır.

Havaalanlarındaki yolcu ihtiyaçlarının artışı yolcu sayısının artışı ile doğrudan orantılıdır. Yolcu sayısının artması da uçak sayısının artması anlamına gelmektedir. Havaalanlarında uçakların özellikle kalkış sırasında yoğun olarak enerji tükettikleri bilinmektedir. Bu durum havaalanına ait olan hava sahası açısından yoğun bir çevresel etki oluşturmaktadır. Çalışmada kullanılan veri göstergelerine göre enerji tüketimi ile oluşan %99 fazlasına uçakların sebep olduğu ortaya konulmuştur. Yoğun havaalanlarında oluşan sürekli enerji ihtiyacı terminal binalarını da bir olağan şüpheli yapmaktadır. Özellikle, yoğun havaalanlarında artan araç trafiğinin oluşturmakta olduğu etkilerin, binaların ve havaalanı hava sahası (aerodrome) olarak bilinen saha içerisinde bütünsel bir

çalışmaya yer verilmemiştir. Ancak, havaalanı binalarında duyulan sürekli enerji ihtiyacının yaratacağı çevresel etki de göz ardı edilmemelidir. Bu çeşit bir çalışma yolcu başına çevresel etkinin hesaplanmasında bir yol gösterici olabilir.

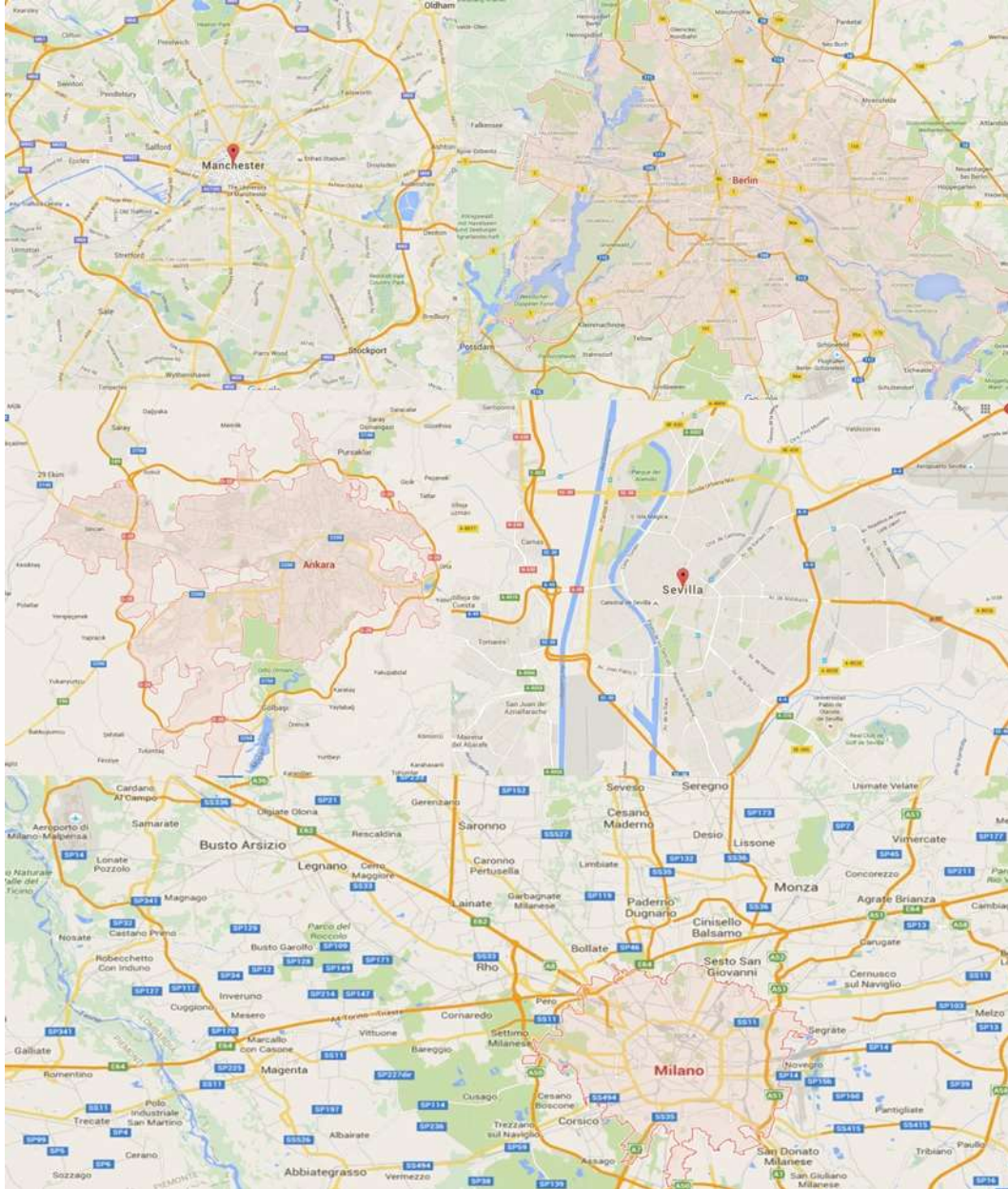
Çizelge 1.1 : *Avrupa’da bulunan beş şehrin havaalanı büyüklüklerinin karşılaştırılması*

Ülke	Şehir	Havaalanı	Nüfus	Yüzölçümü km ²	Ekonomi Milyar USD	Havaalanı Toplam Yolcu Sayısı
İtalya	Milano	Malpensa	1324110	183	312	18851238
İspanya	Seville	San Pablo	1508605	140	36	4292020
Türkiye	Ankara	Esenboğa	5150072	25	105	11012119
Almanya	Berlin	Tegel	5963998	267	158	20688016
İngiltere	Manchester	Manchester	511852	181	92	21951758

Çalışmanın hedefi, havaalanlarının hava sahasını ve havaalanı kampüsü ile havaalanı apron sahasındaki araçların, havaalanı bünyesindeki yolcu ile doğrudan ya da dolaylı olarak ilişkili tüm binaların ve yolcu hareketlerinin incelenerek toplam enerji ihtiyacının analizini yapmak ve çevresel etkilerini bu anlamda değerlendirebilmektir. Çalışma kapsamı içerisinde, bir yerleşke olarak havaalanı ele alınmıştır; bir başka deyişle havaalanı binaları ve yolcu hizmetleri ile doğrudan ya da dolaylı olarak ilgili olmayan binalar dışında kalan binalar birbirinden ayrılamayacak durumda olan havaalanlarında bir hesaplama yapabilmek mümkün değildir. Öte yandan yolcu ile ilişkili olmayan hizmet ya da ürünleri yolcu başına etki hesaplamakta kullanmak doğru olmayacaktır.

Gelecek yıllar için artan yolcu ve uçuş talebinin nasıl şekilleneceği belirsizdir. Böyle kararlar genel olarak bazı komisyonların kurularak havaalanı ana planlarının ve trafik tahminlerinin gözden geçirilmesi ile yapılmaktadır [13]. Çalışmada geliştirilen yöntem ile bulunacak sonuçlar sayesinde bir yolcu için enerji temelindeki çevre etkisinin hesaplanması sonucunda yolcu artışı ile oluşacak çevre etkisi tanımlanmıştır. Bu sayede yeni yatırımlar yapmanın getireceği çevresel etkiler de ortaya konulabilecektir.

Bu çalışma kapsamında havaalanı yerleşkesi ve yakın hava sahasında, yolcu ve uçak temelli olarak ortaya çıkan enerji tüketimi ve bağlı eko gösterge açısından bir hesaplama modeli oluşturulmuş ve elde edilen sonuçlar incelenmiştir.



Şekil 1.1 : Beş şehir için havaalanı ve şehir büyüklükleri görüntüsü

ICAO bu kapsamda salınım temelli çevresel etkilerini aşağıdaki başlıklar altında toplamaktadır. Bunlar;

- Uçak hareketleri dolayısıyla oluşan salınımları,
- Uçak işletme tabanlı, yer hizmetleri (handling) salınımları,
- Yapısal ya da istasyon temelli salınımlar,
- Araç trafiği temelli salınımlardır.

Bu anlamda kapsam aşağıdaki gibi özetlenebilir;

- Uçakların kullandıkları yakıtlar ile ortaya çıkan enerji,

- Aprondaki uçak ve yolcu hizmetleri dolayısıyla ortaya çıkan enerji,
 - Terminal binasının ısıtılması/soğutulması dolayısıyla kullanılan enerji,
 - Terminal binasındaki otomasyon sistemleri dolayısıyla kullanılan enerji,
 - Terminal binasının aydınlatılması dolayısıyla kullanılan enerji,
 - Yolcu dolayısıyla kullanılmakta olan tali binaların ısıtılması ve soğutulması konusunda kullanılan enerji,
 - Yolcu dolayısıyla kullanılmakta olan tali binaların aydınlatılması ve diğer elektrik ihtiyaçlarının enerjisi,
 - Yolcuların terminale gelmesi dolayısıyla oluşacak olan enerji etmenleri.
- olarak sıralanabilir.

Yukarıda sıralanmış olan hesapları bir arada bir arada yer almasına olanak sağladığı için yöntem, özgün olarak tanımlanmaktadır. Bu özgünlük, çalışmanın başka araştırmacılara yol gösterici olması açısından önem taşımaktadır.

1.2 Sınırlar

Bu çalışma ile birlikte yapılabilecek potansiyel diğer enerji çalışmalarına bir temel sağlanması amaçlanmaktadır. Çalışma kapsamında sadece havaalanı terminal binasını kullanan kişilerle yer verildi. Genel havacılık, özel VIP uçuşlar gibi hareketler ile havaalanları bünyesinde bulunan askeri ve sivil kurtarma ile ilgili tüm hareketler kapsam dışı olarak tutuldu. Yolcu ortalamasında çok düşük bir etkisi olacağından Genel Havacılık ile yolcu hareketleri için doğrudan ya da dolaylı bir etkisi olmadığından Askeri Havacılık hareketleri hesaplama dışı bırakılmıştır.

Yapıların sürdürülebilir olması ile ilgili yapılan çalışmalar sadece enerji ile sınırlı değildir. Yapıların işletilmesi açısından başlıklar su verimliliği, yağmur hasadı, gri su kullanımı, diğer atmosferik etkiler, kullanılan materyaller, iç ortam kalitesi, yöneylem yenilikleri ve bakım yöntemleri ile eğitim gibi başlıklar altında incelenebilir. Bu çalışmaların önemli etkisi sel sularının rehabilitasyonu için tasarım ve proje sırasında yapılabilecek yatırımlarla sınırlı kalacaktır. Çalışma kapsamında enerji temelinde çevresel etkilerin araştırılması hedeflendiğinden yukarıda değinilmiş başlıklarda bir çalışma planlanmamıştır. Çalışma, işletim etkilerini hesaplayarak gelecekte uygulanabilecek projeler için öngörülerin oluşturulmasını sağlayacağından bu konular da enerji ve çevresel etkiler açısından kapsam dışı tutulmuştur.

Çalışma sınırlarının belirlenmesinde dikkate alınacak diğer bir kriter ise uçakların hangi uzaklığa ya da hangi yüksekliğe kadar hangi süre ile mevcut havaalanı bölgesine etkisinin olduğunun tespiti olacaktır. Bu konuda bir yaklaşım yapabilmek için International Civil Aviation Organization (ICAO – Uluslararası Sivil Havacılık Örgütü) belgelerinde yapılan incelemelerde havaalanının pist düzlemindeki 10 Nm uzunluğundaki sınırlandırılmış alana atıflar yapılmıştır [14]. Bununla birlikte 1977 yılında Amerika Birleşik Devletleri Çevresel Koruma Ajansının yayınlamış olduğu, Uçak Emisyon Etmenleri (Aircraft Emission Factors) [15] raporunda çevresel etki sınırını 3500 feet olarak bildirilmiştir. Bununla birlikte iniş ve kalkış operasyonları için sınırın 3000 feet olduğu belirtilmektedir [16]. Bu yolcu uçaklarının pist kalkışlarında kalkış ağırlıklarına bağlı olarak hızlanma miktarları ortalaması 300 km/h olarak hesaplanır [17]. Bu hesaba göre 10 Nm mesafe ivmelenme göz ardı edildiğinde üç dakika içerisinde alınmış olacaktır. 3 dakikalık süre içerisinde 914 m (3000 feet) irtifanın kazanılması saniyede 5,08 m/s değere karşılık gelmektedir. Bu irtifa hızı ise normal tırmanma hız sınırları içerisinde bulunmaktadır. Bu şekilde 3000 feet ya da 10 Nm mesafenin çevresel etki için uygun olduğu kabul edilebilir. Yükselme sınırı olan veri Çizelge 1.2’de yer almaktadır [18].

Kapsam dışı olan noktalar ise şu şekildedir.

- Yolcu dışındaki etmenler olan kargo, askeri havacılık, yangın ve hava kurtarma, sahil kurtarma gibi faaliyetler,
- Bu faaliyetlere bağlı tali ısıtma/soğutma/aydınlatma gibi enerji faaliyetleri,
- Kampüs içerisinde olabilen ancak yolcu ile dolaylı ya da dolaysız olarak ilişkisi bulunmayan faaliyet ya da hizmetler

Çevresel etkiler için hesap dışı bırakılmış bir başka veri ise yolcuların havaalanlarına geliş biçimleri ile ilgilidir. Yolcuların kendi kişisel araçlarını kullanmaları, özel hizmetlerden faydalanmaları, grup taşınması kullanması, toplu taşımayı tercih etmesi, varsa raylı taşıma hizmetlerinin tercihi gibi seçeneklerin olması yolcu başına etkinin havaalanı yerleşkesi açısından belirlenmesini mümkün kılmamaktadır. Bulunan veri kaynakları oldukça eski ait olması ve bunların dünya geneline yayılamaması, ayrıca havaalanına yapılan yolculuğun ne kadarının yerleşke etkisine dahil edileceğinin sınırının belirlenememesi nedenleriyle söz konusu etki çalışma kapsamında yer almamıştır. Ancak bu konu ile ilgili bir çözüm önerileri Bulgular ve Önermeler bölümünde tartışılmıştır.

Çizelge 1.2 : Çeşitli uçaklar için düşey yükselme verisi

Uçak Tipi	Düşey Hız	FL15 (1500 ft)	FL24 (2400 ft)	FL30 (3000 ft)	FL39 (3900 ft)	FL41 (4100 ft)
A 319	ft/m	2200,0	1850,0	1500,0	1000,0	1000,0
	m/s	14,4	12,1	9,8	6,6	6,6
A 320	ft/m	2000,0	1800,0	N/A	N/A	1000,0
	m/s	13,1	11,8	N/A	N/A	6,6
A 330	ft/m	2000,0	1300,0	N/A	N/A	1000,0
	m/s	13,1	8,5	N/A	N/A	6,6
B 737	ft/m	2000,0	2000,0	N/A	N/A	1500,0
	m/s	13,1	13,1	N/A	N/A	9,8
B747	ft/m	2000,0	1500,0	N/A	N/A	1000,0
	m/s	13,1	9,8	N/A	N/A	6,6
B757	ft/m	3000,0	2500,0	N/A	N/A	1000,0
	m/s	19,7	16,4	N/A	N/A	6,6

Not : Büyük gövdeli uçak ortalaması 9,5m/s, küçük gövdeli uçak ortalaması 13,8m/s'dir. En düşük yükselme hızı ise 6,6 m/s olarak hesaplanabilir.

2. LİTERATÜR TARAMASI

2.1 Problemin Tanımı

Havaalanlarında tüketilen enerji ile ortaya çıkan yerel etkilerin başka bir ifadeyle havaalanı yerleşkesine olan zararlarını bulmak oldukça fazla ögenin değerlendirilmeye alınmasını gerektirmektedir. Bu ögelere yöntemin önerdiği çözüm sırasında detayları ile yer verilmiştir. Ancak bunlar, ısınma, soğutma, aydınlatma, diğer kurulu tesis yükleri, yerleşke içerisindeki araç hareketleri, uçakların havaalanına yaklaşması, kalkış, taksi hareketleri ve apronda bulunan diğer tüm enerji tüketimleri ile belirlenir. Bu etkilerin her birinin hesaba katılarak havaalanı yerleşkesi için bir etki analizi yapılması ve tüm yerel etkilerin hesaba katılması havaalanları birbirleri arasında değerlendirilmesi açısından önemli bir adım olacaktır.

Bununla birlikte, bu verinin geçmişe yönelik hesaplanması, güncel veri elde edildikçe geleceğe dönük bir eğilim analizi yapılmasına, ileriye dönük planların şekillenmesine ve havaalanı işleticileri açısından bir motivasyon olması açısından önem taşımaktadır. Bu sayede havaalanları ve idareler kendi hedeflerini belirleyebilir ve yaşanılabilir bir çevre için adımlar atabilirler.

2.2 Problemin Çözümüne Yönelik Önceki Yaklaşımlar

Önceki yaklaşımlar aşağıda tanımlanmış üç başlık altında incelenmiştir.

- Havaalanı
- Sürdürülebilirlik
- Eko göstergeler

Yapılmış olan araştırmalar sonucunda sunulmakta olan soruna yakın olan beş adet tez bulunmuştur. Bu tezlerde havaalanları binalarındaki binaların enerji performansları, yolcu konforu ve uçak hareketleri dolayısıyla oluşan bilgiler ayrı ayrı incelenmeye çalışılmıştır. Genel olarak yolcuların konfor ihtiyaçları üzerine yapılmış bir çalışmada [19] yolcuların havaalanında geçirmiş oldukları zaman için bilişsel haritalandırma yöntemi ile bir değerlendirme oluşturulmuştur. Bu değerlendirmeye göre belirlenen senaryolar ile yolcuların beklenmeden uçağın kaldırılması konusu incelenmiştir.

Havaalanlarındaki enerji performansına yönelik iki adet kaynak bulunmuştur [20, 21]. Bu kaynaklar üzerinde İstanbul Sabiha Gökçen ve İzmir Adnan Menderes havaalanları için değişik boyutta enerji performans analizleri yapılmış ve binaların enerji yükleri bir örnek üzerinden değerlendirilmiştir. Sonuç olarak enerji verimliliğinin artırılması için bulgular listelenmiş ve sadece terminal binasında bulunan örnek olaylar incelenmiştir.

Sabiha Gökçen Havaalanının çevresel sürdürülebilirliği açısından değerlendirilen bir çalışmada [22] sürdürülebilirlik, çevresel, ekonomik ve sosyal olarak üçe ayrılarak tanımlanmış ve tezin amacı hali hazırda yapılmış ve işletilmekte olan bir havaalanının karbon ayak izinin çıkartılması olarak belirlenmiştir. Çalışma içerisinde üç adet kapsam tanımlanmıştır. Birincisi doğrudan emisyon etkileri, ikincisi dolaylı emisyon etkileri ve üçüncü olarak satın alınan ya da kullanılan malzeme ve yakıtların kullanımı açısından etkiler olarak belirlenmiştir. Tüm bu etmenlerin içerisinde terminal binası ve kapsam içerisine alınmış diğer binalar ile çalışanların havaalanına ulaştırılması anlamında işletici firma sorumluluğunda olan ulaşım hesaplanmış ve bu karbon ayak izi olarak belirlenmiştir.

Yeşil Sera Gazı hesaplamaları ACERT isimli hesaplama dosyası ile yapılabilir [23]. ACERT isimli yöntem ACI – Airport Council International (Uluslararası Havaalanları Konseyi) tarafından desteklenen bir havaalanı çevresel etkileri hesaplama uygulamasıdır. ACERT uygulaması genel olarak üç kapsam tanımlar. Birinci kapsam havaalanı işleticisinin sorumlu olduğu ve kendi kullanımı dolayısıyla oluşan direkt çevresel etkileri hesaplamaktadır. İkinci kapsam havaalanı işleticisinin ortak sorumlu olduğu ancak dışarıdan alınan etkileri hesaplamak için kullanılır. Üçüncü kapsam ise, kiracılar ya da genel kullanım amacıyla oluşan etkileri ayrı olarak hesaplar. Bu hesaplamalar CO₂ eşdeğeri olarak etki tiplerine göre raporlanır. Hesaplama dosyası için havaalanının tüm detayları girmesi istenmektedir. Ancak tüm hesaplamalar daha önce belirlenmiş ortalamalara göre hesaplanır. Tüm diğer boyutlar en son olarak bir arada gösterilir. Bu gösterim ile MDAS yönteminin bulguları aynı doğrultudadır.

Atatürk Havaalanında uçaklar üzerinde yapılan bir başka çalışmada [24] ise havaalanındaki iniş ve kalkış süreci tanımlanmış ve bu sürece dahil olan uçaklar için uçak tiplerine göre LTO istatistiklerine göre tahmin edilmiş ve bu tahmin sonucunda iç hat ve dış hat olarak ayrılan uçaklar için rüzgâr yönü ile birlikte çevreye verilen etkinin

hesaplanmasına çalışılmıştır. Bu çalışma sonrasında bulunan değerler konut başına ısınma hesapları ile karşılaştırılmıştır.

Öte yandan uluslararası makaleler üzerinden yapılan incelemelerde havaalanları üzerinde çevresel etkiler alanında sınıflandırma ve çoklu gösterge sıralaması yapılan makalelere rastlanmıştır [25]. Bu kaynak incelendiğinde toplamda 9 hava limanında 5 boyut üzerinden 25 değişken ile değerlendirmeler yapılmış olduğu görülmüştür. Değerlendirmeler içerisinde enerji açısından da bir hesaplama bulunmaktadır. Bu hesaplama havaalanının enerji olarak ısıtma ve soğutmalarını dikkate alarak yapılmıştır.

Bir başka makale orta büyüklükteki bir havaalanı için hava kalitesinin etkisini modellemiştir [26]. Havaalanındaki uçakların çevresel etkileri 900 m (yaklaşık 3000 feet) yükseklik için uçak ve motor tipleri ayrılarak bu uçaklar için ortalama 3000 feet e ulaşma süresi üzerinden çevre etkileri Mg/yıl olarak hesaplanmıştır. Makalede uçakların kalkış rotaları 4 boyutlu durum bilgileri ile karar verilmiştir.

Literatür araştırmalarında karşılaşılan bir başka çalışma ise küçük bir havaalanının sürdürülebilirliği için yapılmış olan değerlendirmeleri anlatmaktadır [27]. Bu çalışma bir havaalanının ekonomik sürdürülebilirliğinin incelenmesi için yöntemleri kullanmış ve o yöntemler ile havaalanı gelir artışlarının nasıl başarılabilceği konusunda fikir yürütmeye çalışmıştır.

Aynı şekilde taramalar sırasında bulunan bir başka makale havaalanlarında taksi süresince oluşan etkileri uçuş veri kaydedicisi vasıtası ile tahmin etmeye yönelik bir çalışmadır [28]. Taksi süresince oluşan duruş kalkış ve beklemlerin ve toplam sürenin yakıt üzerine etkilerini hesaplamış ve bu hesapların sonuçlarını yorumlamıştır. ICAO verisine göre çok daha kesin hesapları ortaya çıkarabilmiştir.

Büyük bir havaalanındaki iniş ve kalkış aktivitelerinin incelendiği bir kaynaktaki ise uçakların kalkmasından sonra alınan örnekler ile PM adı verilen ultra küçük partiküllerin hava içerisindeki miktarı ve azalması zaman içinde ölçülmüştür [29]. Bu ölçümler sonrasında veri uçakların en yüksek kalkış ağırlıkları ile eşleştirilmiştir. Ölçüm temelli karşılaştırmalar sunan makale ile uçakların sınıflandırmaları ve çevre etkisi arasında bir bağ oluşturulmuştur.

Bir başka kaynak birden çok yöntem ile aynı havaalanı için etkileri hesaplamış ve yöntemlerin birbirine farklarını incelemiştir [30]. Havaalanındaki Landing – Take-off (LTO – İniş – Kalkış Süreci) çevrimlerinin hesaplanmasında ICAO veri tabanının

kullanılmasına rağmen bulunan sonuçların net bilgiler vermelerinden uzak olduğunu ve bu sebeple yöntemlerin birbirlerine göre üstün olduğu bölümler olduğunu belirtmektedir.

Uluslararası kaynaklar arasında bulunan başka bir kaynak ise yine ICAO veri tabanını temel almış ve uçakların taksi sürelerini, kalkış ve iniş süreleri için kabullenmeler ile çevresel etkileri uçak bazında incelemeye çalışmıştır [31]. Bu incelemeler sonucunda yeterli verinin olmaması dolayısıyla yeterli değerlendirmenin yapılamadığı ancak bir havaalanının etkilerinin incelenmesi adına ilk girişim olduğunu belirtmektedir.

Literatür araştırması yapılırken belirlenen bir başka kaynak ise uçak seçim kriterleri açısından yapılmış olan Eko göstergeler ile yapılmış yayındır [32]. Eko göstergelerin kullanarak yapılan hesaplamalar ile çevreye daha az zarar veren uçakların bulunmasına ve seçilmesine yönelik bir çalışma yapılmıştır.

Eko göstergeleri kullanmış bir başka kaynak ise bir Airbus uçağı için her kullanım için ortaya çıkan etkileri incelemiş ve bu etkileri Eko göstergeler ile ifade etmiştir [33]. Genel olarak bütün etkinin hizmet ömrü boyunca oluşan emisyonlarda olduğunun gösterildiği çalışma tez için bir dayanak oluşturmaktadır.

Genel olarak yapılan tüm literatür incelemelerinde havaalanını bir bütün olarak inceleyen tek bir çalışma bulunmuştur. Bu çalışma Airport Carbon and Emissions Reporting Tool (ACERT – Havaalanı Karbon ve Emisyon Raporlama Aracı) adı verilen hazır bir hesaplama yöntemidir. Bu yöntem dışındaki tüm çalışmalar havaalanının belirli parçalarını almış ve bunlar için çalışmalar geliştirmişlerdir. ACERT yöntemi ile tez kapsamında geliştirilmiş olan Methodology and Definitions for Airport Sustainability (MDAS – Havaalanı Sürdürülebilirliği için Tanımlamala ve Yöntem) yönteminin en önemli farklılığının problemin çözümüne yaklaşım tarzlarıdır. MDAS yöntemi ACERT'in aksine sadece enerji tüketimine odaklanmış ve havaalanını tek bir kapsam olarak ele almıştır. Ayrıca, havaalanındaki uçak trafiğı dolayısıyla oluşan etkileri ACERT süre ve frekans temelinde hazır veri kullanarak hesaplamaktadır. Bu yöntemin aksine MDAS uçakların gitmiş oldukları uzaklıkları baz alarak sorunu çözmek için uğraşmış ve bu çalışmanın sonunda bir sonuca ulaşabilmiştir.

Yapılmış olan incelemelerde görülebileceğı gibi MDAS yönteminin kıyaslanabileceğı tek bir yöntem ACERT yöntemidir. Ancak yapılmış olan tez çalışmalarında genel bir yöntem yerine yöntemin alt parçaları sayılabilecek çalışmalar

gerçekleştirilmiştir. Bununla birlikte MDAS yönteminin oluşumunu destekleyebilecek ya da içerisindeki düzeltmeleri geliştirebilecek yeni çalışmalar ile daha etkin sonuçlar elde edilebilir. Bu çalışmaları karşılaştırabilecek tek uygulama olan ACERT yönteminin yeni versiyonları daha kesin hesaplar yapılması açısından geliştirilebilmektedir. Öte yandan ACERT yönteminin genel olarak atık yönetimi ya da yangın söndürme tatbikatları gibi konularda da çalışmalar yaptığı gözlemlenmiştir. Ancak, havaalanının çevre duyarlılığı açısından bakıldığında bu çalışmaların havaalanlarını bir sıralamaya ya da klasmana sokmakta karmaşık bir yöntem ile ilerlediği görülmektedir. Bu ise bu yöntemin kullanılmasını zorlaştırmaktadır. MDAS ise bahsi geçen sorunlara ayrıca çözüm üretmek adına daha az parametre ile benzer bir çalışmayı yapmaya çalışmaktadır.

2.3 Sunulan Çözümün Özgünlüğü ve Üstünlükleri

Sunulmakta olan çözümün yukarıda aktarılmış olan çözümler ile ortak noktalarının olmasının dışında soruna bambaşka bir çözüm önerisi getirmesi en özgün noktasıdır. Bugüne kadar havaalanının tamamı için Eko göstergeler ile herhangi bir hesaplama yapılmadığı gibi havaalanının tüm unsurları için bir hesaplama da yapılmamıştır. Havaalanlarının tüm unsurlarının bir arada incelenmesinin gerekliliği yerel hava etkilerinin bulunması açısından tüm önemli faktörlerin keşfedilmesi ve bu keşiflerin sonuçlarının bir göstergeye çevrilebilmesi yönünden olacaktır.

Yöntemin bir başka üstünlüğü ise uçak için yapılan hesabın bina aydınlatması için yapılan hesaplara bir arada toplanabilecek olmasıdır. Bu genel bir boyutsuz büyüklük ile havaalanı yerleşkesinin tamamını değerlendirmek için bir fırsat olarak görülmüştür. Enerji temelli olarak yapılabilmesinin dışında üretim konusunda da Eko göstergelerin bulunabilir olması yerleşke içerisinde daha fazla etkinin bir arada toplanabilmesi ve bunların tamamının değerlendirilebilmesi mümkün olacaktır. Çizelge 2.1’de yukarıda tanımlanmış olan yayınların hangi alanları kapsadığı işaretlenerek gösterilmiştir.

Çizelge 2.1 : Literatür taramaları için özet tablo

Yayın Adı	Uçak Etkileri	Taksi Etkileri	Binalar – Enerji	Diğer Etkiler	Eko İndikatör
Yolcuların Havalimanında Geçirdiği Zamanın Etkinliği İle İlgili Faktörlerin Değerlendirilmesi: Bir Bulanık Bilişsel Harita Uygulaması [19]				+	
Adnan Menderes Havaalanı Dış Hatlar Terminali Enerji Performans Analizi [20]			+		
Hava Geçişli Güneş Kollektörü Uygulamalı Binada Enerji Performansı Değerlendirmesi Durum Değerlendirmesi: Sabiha Gökçen Havalimanı [21]			+		
Mevcut Bir Havalimanı İçin Çevresel Sürdürülebilirliğin Değerlendirilmesi [22]	+	+	+	+	
Airport Carbon and Emissions Reporting Tool (ACERT) [23]	+	+	+	+	
İstanbul Atatürk Havalimanı Uçak Emisyonlarının Belirlenmesi ve Çevresel Etkileri [24]	+	+			
Benchmarking Airports Based on a Sustainability Ranking Index [25]				+	
Estimation of Aircraft Taxi Fuel Burn Using Flight Data Recorder Archives [28]		+			
Aircraft Emissions and Local Air Quality Impacts from Takeoff Activities at a Large International Airport [29]	+				
Comparison of Methodologies Estimating Emissions of Aircraft Pollutants, Environmental Impact Assessment Around Airports [30]	+				
An Inventory of Particle And Gaseous Emissions from Large Aircraft Thrust Engine Operations at an Airport [31]	+				
Türkiye’deki Bazı Hava Alanlarında İç Hat Uçuşları İçin Uçak Seçiminde Çevresel Etkilerin Göz Önünde Bulundurulmasının İncelenmesi [32]	+				+
Environmental Life Cycle Assessment of Commercial Passenger Jet Airlines [33]					+

* : Kısmi olarak tamamını kapsamaktadır.

3. ÇEVRESEL ETKİ ANALİZLERİNİN TEORİK ALTYAPISI

3.1 Havaalanı ve Bölümleri

Havaalanlarını, yolcuların ilerleme güzergâhı boyunca düşünerek, apron bölümleri, idari binalar, terminal binaları, uçuş destek birimleri olan yer hizmetleri binaları ve hangar binaları olarak alt bölümlere ayrılabilir.

3.1.1 Yolcuların havaalanındaki ilerlemeleri

Yolcuların ilerlemeleri uçaktan aktarım sahalarına ya da aktarım sahalarından uçaklara şeklinde sınıflandırılabilir. Bununla birlikte karşılayıcılar ve uğurlayıcıların hareketleri ise aktarma sahaları ile sınırlıdır. Hareketin ve ısının en çok olduğu yerlerin bekleme noktaları olduğu görülmüştür.

Bu yoğunlaşan enerji ile ilgili havalandırma ve hava kalitesini artırma yönünde oldukça yüksek enerji tüketimi yapılmaktadır. Yolcuların bekleyecekleri yerler havaalanı projesi sırasında mekanik bölümler ve mimarlık bölümlerinin bir arada çalışması ile çözülmektedir. Bu noktalara ısıtma ve soğutma faaliyetleri için gerekli ısı taşıma hesapları yapılarak havalandırma kalitesi konforlu hale getirilmektedir. Bu ve benzeri çalışmaların her biri havaalanı terminali tasarım kriterleri ile ilgili ICAO ve Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü (SHGM) yayınlarında bulunabilir [34].

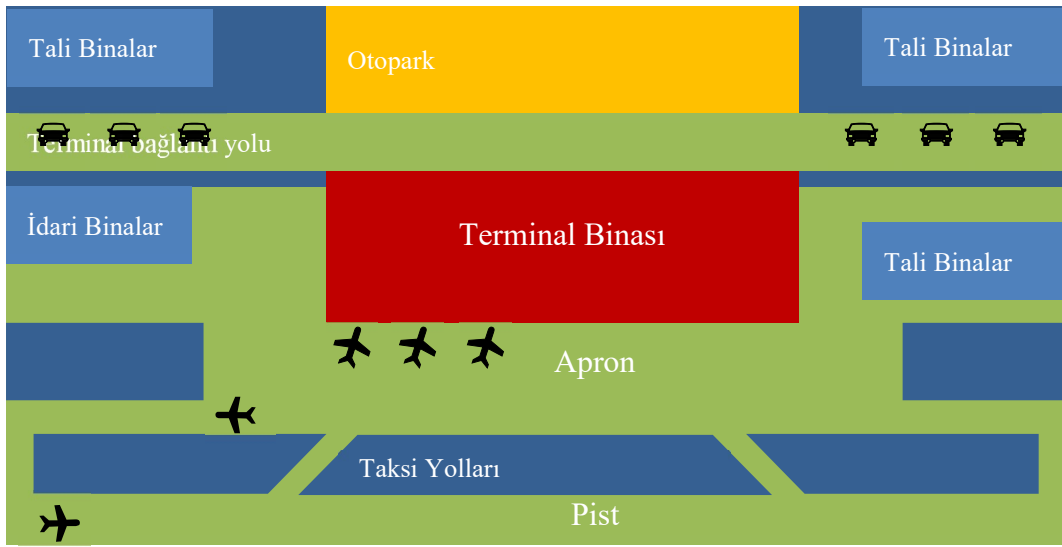
Havalandırma kalitesinin belirli bir oranda tutulması için enerji sarfiyatının kontrol altında tutulması gerekmektedir. Bu kontrol işlemi için yapılması gereken en önemli şey, otomatik analiz sistemleri kullanılması olabilir. Bu konu ile ilgili yapılmış olan bir çalışmada yüksek hacimli ve geniş, tek parçalı bir hacimde yolcu hareketlerine ve ortamın olumsuzluğuna rağmen otomasyon sistemlerinin enerji verimliliğini arttırdığı incelenmiştir [35].

3.1.2 Hava tarafı ve aprondaki bölümler

Hava tarafı terminal içerisinde uçmak için bilet almış, sonrasında bagajını teslim ederek uçuşa hazırlanan müşteri ya da yolcunun yanında bulunan uğurlayıcı ya da ayrılacağı insanlardan arındığı ve uçuş hakkı bulunan kişilerin ve onlara hizmet eden personelin barındığı bir bölgedir. Bu saha içerisinde eğer uluslararası bir alandan

geçilmekte ise pasaport işlemleri yapılarak hudut kapısından geçmiş yolcular bulunmaktadır [36]. Bu yolcular aynı zamanda son güvenlik kontrolünden de geçmiş olarak uçağa binebilecek duruma gelmiş olurlar.

Bu durumdaki yolcular eğer uçağa gitmeye zamanları varsa, alışveriş yapmakta ya da konforlu zaman geçirmek için bekleme salonlarına yönelmektedirler. Genelde uzun yol gidecek yolcuların bekleme salonlarını tercih ettikleri ya da alışveriş yaptıkları bilinmektedir. Şekil 3.1’de havaalanının bölümlerini aktarabilmek amacıyla bir görsel sunulmuştur.



Şekil 3.1 : Havaalanı apron sahası

Bununla birlikte yolcuların uçaktan indiği nokta da hava sahası bölgesidir. Hava sahası bölgesi uçağın bulunduğu alandan terminalin pasaport kontrol noktasına kadar olan alana verilen isimdir. Yolcuların geliş bölgesinde çok fazlalıkla bulunmadığı ve burada bir enerji tüketimi olmadığı kabul edilecektir.

Apron ICAO’nun “Aerodrome Standards Manual” isimli dokümanında “Havaalanı sahasının uçak amaçlı yükleme, indirme, park etme ve bakım amaçları için kullanılan bölümü” olarak tanımlanmıştır [37]. Bununla birlikte havaalanında uçuş hakkı edinmiş olan yolcuların ve bu yolculara hizmet için bulunan tüm unsurların bulunduğu yere, uçakların manevra yaptıkları alana “apron” tanımı yapılabilir. Apron alanı içerisinde yolcu indirilmesi bindirilmesi, uçak servisi, teknik servis ve kargo hizmetleri gibi hizmetler verilmektedir.

Devlet Havaalanları ve Meydanları İşletmesi (DHMI) tarafından bu bölümler genel olarak PAT olarak adlandırılmaktadır. PAT tanımı içerisinde Pist, Apron ve Taksi yolları kelimelerinin ilk harflerinin birleştirilmesi ile oluşturulmuş bir kısaltmadır [38].

a. Pist

Havaalanlarının olmaz ise olmaz parçalarından birisi de pistlerdir. Pistlerde aydınlatma anlamında oldukça yüksek bir kurulu güç bulunmaktadır. Bu kurulu gücün harcamakta olduğu enerji yolcu başına belirli bir enerji sarfiyatını göstermektedir. Bu anlamda enerji açısından bu rakamın bulunabilmesi önemlidir.

Bununla birlikte pist civarında bulunan seyrüsefer yardımcı cihazlarının harcamış olduğu yükler de pist sistemlerinin yanında değerlendirilmelidir. Ancak bu cihazların kurulu güçleri aydınlatma güçleri ile karşılaştırıldığında oldukça düşüktür. Bu anlamda bu yüklerin göz ardı edilmesi mümkündür.

b. Taksi sahası

Taksi sahası pistleri aprona bağlamakta olan saha olup geceleri aydınlatılmaktadır. Bu sahanın aydınlatılması sonrasında oluşmakta olan enerji pist aydınlatması gibi yolcu başına bir enerji yoğunluğu sunabilmektedir. Fakat bu sistemler ayrı bir ölçüme maruz kalmadığından dolayı havaalanının genel elektrik enerjisi tüketimi üzerinden hareket edilebilir.

c. Uçak park alanları

Uçakların terminal binasına birleşik ya da terminal binasının uzağında açıkta bulunan bekleme yaptıkları, servis aldıkları, teknik hizmetler alarak yolcu indirme ve bindirme işlemlerini gerçekleştirdikleri bölümlerdir. Bu bölümlerde uçaklar 400 Hz enerjilerini, havalandırma hizmetlerini, yakıt ikmallerini, bagaj yükleme operasyonlarını gerçekleştirmektedirler. Bu uygulamaların her birisinde birçok makine kullanılmakta ve enerji tüketimi yapılmaktadır.

İncelenecek konulardan birisi de budur. Uçak başına yapılmakta olan hizmet süresi bu cihazların tüketmekte olduğu enerjiyi etkilemekte ve böylece çevresel etkiyi arttırmaktadır. Bu cihazların kullanılmasının en büyük sebebi, uçağı olabildiğinde hızlı şekilde tekrar uçuşa göndermek olduğundan bu cihazların kullanımı önemlidir.

Ancak, bu cihazların emisyon değerlerinin azaltılması için DHMİ bünyesinde bagaj operasyonlarının elektrikli hale getirilmesi için bir çalışma başlatılmış ve bu çalışma sonucunda eski cihazlar dışında motorlu cihaz kullanımı yapılmamaktadır.

d. Hangarlar

Havaalanları trafik miktarı arttıkça git gide bakım yapılması ihtiyacının da arttığı binalar haline gelmektedir. Bazı havaalanlarında basit bakımlar yapılırken havaalanı trafiği arttıkça bu havaalanlarının mümkün olabilen en kısa zamanda uçağın tekrar havada olabilmesi için büyük bakımların da yapılabilir hale getirilmesi önem kazanır. Hangar seviyesinde bakımlar gerekli hale geldiğinde hangarların bir enerji sarfiyat merkezi haline geleceği açıktır.

Her hangarda büyüklüğe bağlı olarak artan oranda çalışan ve bu çalışanların ofisler ile hangarın kapılarının açılması ile oldukça büyük bir enerji kaybı oluşacağı kesindir. Aynı zamanda yüksek olan çatı yükseklikleri dolayısıyla aydınlatma için yüksek miktarda enerji de tüketilecektir.

Yolcu uçaklarının bakımları yapılırken ortaya çıkacak enerjinin de bu hesapların içerisine dâhil edilmesi oldukça karmaşık bir hal alabilir. Bu anlamda yolcu uçağı ve diğer uçakların uçuş ve bakım sıklıklarının karşılaştırılması bir ayırım oluşturmaya yarayabilir.

e. Havayolu binaları ve tali binalar

Havayolu binaları yolcu hizmetleri ile ilgili en önemli binalardan birisidir. Teknik hizmetlerin, yer hizmetlerinin ve bölgesel olarak filo yönetiminin belirli bir şekilde planlandığı ve uygulandığı binalardır. Trafik kapasitesine göre, bu binaların içerisinde bulunan makine miktarı, çalışan sayısı ve hatta binanın büyüklüğünde artışlar görülebilir.

Makinelerin çalışma süreleri, çalışanların kullanmakta olduğu binalardaki aydınlatma ve ısıtma gibi ihtiyaçların yolcu başına ortalama etkileyebilecektir. Bu binaların ve araç park sahalarındaki kullanım miktarlarının belirlenmesi önemli olacaktır.

f. Gümrüklü saha

Gümrük işlemleri birçok ülkede farklı işleyebildiği gibi Türkiye’de gümrüklü bölge pasaport ile yolcuların bagajlarını alarak kara sahasına ulaştıkları bölge olarak

isimlendirilebilir. Gümrüklü bölge terminal sahalarında ülkeye giriş tarafında yani geliş bölümü içerisinde bulunmaktadır.

1999 yılında 4458 numaralı kanunda yayınlandığı üzere amacı; “Türkiye Cumhuriyeti Gümrük Bölgesine giren ve çıkan eşyaya ve taşıt araçlarına uygulanacak gümrük kurallarını belirlemektir.” [39]. Gümrüklü saha aynı kanunda 3 nolu maddenin b bendinde yer aldığı üzere, b) “Giriş gümrük idaresi” deyimi, eşyanın Türkiye Gümrük Bölgesine getirildiği ve risk analizine dayalı giriş kontrolüne tabi tutularak geciktirilmeksizin sevk işlemlerinin yapıldığı gümrük idaresini; tanımlamaktadır.

Yolcuların bu bölgede vakit geçirmediği ve bu bölgede olabildiğince hızlı olarak bu bölgeyi terk ettiği düşünülerek bu bölgedeki hesaplamalar kapsam dışı tutulacaktır. Ancak bu sahada bulunan otomasyon sistemleri ve gümrüksüz mağazalar olarak kabul edilen bölgeler genel olarak terminal elektrik tüketiminin içerisinde ifade edilmiştir. Bu ifadeler kullanılarak etki analizinin içerisinde ayrıştırılmadan bulunabilecektir.

3.1.3 Kara tarafı ve idari birimler

Kara tarafı yolcuların işlemlerinin yapıldığı ve uçaklara erişim için herkesin girmiş olduğu bölümler olarak düşünülebilir. Kara tarafı hava tarafı dışında kalan bölgelerdir. Hava tarafı DHMİ tarafından “Bir havaalanında doğrudan uçuş faaliyetlerine dahil olmayan terminal binalarını, diğer tüm yapıları, kullanımlı ya da boş sahaları içine alan, ana giriş yolu/yolları kontrol noktasından başlayarak hava tarafı dışında kalan havaalanı bölümünü.” olarak tariflenmiştir [40]. Ancak terminal içerisinde de olsa binanın ayrılmış bu tarafı kara tarafı olarak görülebilir.

Bu bölge, terminal binasının içerisinde gidiş katında bulunan pasaport kontrol öncesi, geliş katında ise gümrüklü alan öncesine denk gelir. Bu bölgelerde yolcu ve uğurlayıcıları istedikleri gibi dolaşabilirler. Bu bölgelerin sınırlarının içerisinde terminale ulaşım bağlantı yolları, otopark, yolcu ihtiyaçları için kullanılmakta olan araç kiralama, bilet satış ofisleri, emanet bagaj, idari ofisler gibi ofisler ile yiyecek içecek gibi insani birçok ihtiyacın karşılandığı mekânlar bulunmaktadır.

a. İdari birimler

Havaalanları özel işletmeler dahi olsa, yönetmelikler, düzenlenmelerin denetlenmesi ve devletlerin sorumlulukları dolayısıyla birçok kurumun bu kampüsler

içinde bulunmasına ihtiyaç olabilir. Bu sebeple havaalanı kampüslerinin içerisinde devlet binaları ve idari binalar bulunmaktadır. Bu idari binalar, bakanlık binaları, polis, askeriye, itfaiye, gümrük ve işletme temsilcisi binaları olabilmektedir. Bununla birlikte özel hava iletişimi, hava haberleşmesi, hava kurtarma gibi önemli kurumlar da buralarda bulunabilmektedir.

Bazı havaalanları sivil ve askeri olarak karışık halde yapılabilmektedir. Bu anlamda yolcu ile alakası olmayan kurumların çevresel etkinin hesaplanması durumunda hesap dışında tutulması önemli olabilir. Eğer binaların yolcu ile alakası bulunmamakta ise bu binalar içerisindeki enerji ihtiyacının arındırılması için yüzdesel karşılıklara bakılması çözüm olabilir.

Örnek olarak, harici bir gümrük binası sadece kargo hizmetleri ile ilgili ise bu binanın yolcu ile ilgili enerji tüketimi değerlerinden çıkarılması önemli olabilir. Ancak aynı zamanda hem yolcu hizmetlerinin hem de kargo hizmetlerinin buradan yapılıyor olması mümkün ise o sefer bu binanın yolcu enerji tüketiminde görünmesi mantıklı olacaktır.

Aynı şekilde eğer bir askeri birlik havaalanının güvenlik hizmetleri için kullanılmakta ise buradaki enerji tüketiminin yolcu başına pay edilmesi önemlidir. Aynı şekilde askeri birlik kampüs içinde konuşlanmış ancak sahillerde yapılmakta olan kurtarma faaliyetlerinden sorumlu ise yolcu başına enerji tüketiminin hesaplama dışında tutulması uygun olacaktır.

b. Ofis alanları

Havaalanlarında bulunan ticari işletmeler ve devlet kurumları terminal binası içerisinde ve havaalanı kampüsü içerisinde bir faaliyet göstermeden önce ofis kiralamaları gerekmektedir. Terminal binası içerisinde bu tip süreçler sertifikalandırma sonrasında yapılmaktadır [41]. Açılmış olan işyerlerinin bazıları çok yoğun elektrik enerjisi tüketebilmektedirler. Bununla birlikte yiyecek içecek hizmetleri yapan bazı işletmeler ek soğutma tertibatları kullanabilmekte ve terminal içerisinde bulunan hava düzenini etkilememek için önlemlere gerek duyabilmektedirler.

Ofis alanları uçuş hizmetlerini ve buna bağlı olan diğer hizmetleri vermek amacıyla çalışmakta olan personelin bulunduğu noktalarlardır. Bu personel, havaalanı yönetimi ve hizmetleri, yer hizmetleri, havayolu hizmetleri, Very Important People (VIP – Çok Önemli Kişiler) ve Commercial Important People (CIP – Ticari Önemli Kişiler)

hizmetleri, temizlik hizmetleri, güvenlik hizmetleri, teknik hizmetler ve benzeri diğer hizmetlerin sunulması için çalışmakta olan personeldir.

Ofisleri genel olarak yoğun kullanılan ofisler ya da yoğun olarak kullanılmayan ofisler olarak düşünür isek, bu bölümde tüketilmekte olan enerjiyi hesaplamak için kişi başına bir model ileri sürmek oldukça zordur. Genel olarak harcanan enerjinin içerisinde yıllık tabanda yolcu hareketi ile hesap yapıldıktan sonra yolcu başına bir bilgi edinebilmek mümkün olabilir.

3.1.4 Terminaldeki bölümler

Yolcu terminallerinde yukarıda aktarılandan farklı olarak işlevsel olarak ayrılmış bölümler de bulunmaktadır. Bu bölümler basit olarak geliş gidiş olarak ayrılabilir.

a. Geliş bölümü

Havaalanında kara ve hava tarafı gibi başka bir ayırım ise gelen uçaklar ile giden uçakların ayrıldığı geliş ve gidiş bölümleridir. Bazı durumlarda geliş ve gidiş yolcuları birbiri ile karışsa bile genel olarak bir ayırım bulunur. Bu ayırım izafi bir sınır olarak da düşünülebilir. Bununla birlikte genellikle birçok havaalanında gelen ve giden yolcu katlar ile birbirinden ayrılmıştır. Bu ayırım iki ayrı kat ile olduğu zamanlarda çok net olarak görülebilmektedir. Ancak bu iki ayırım noktası havaalanı terminal binalarında alanların birbirine bağlanması ile düzenlenmektedir. Bu ayırım küçük havaalanlarında havaalanının sağ ve sol tarafı ya da orta ve yanları şeklinde de olabilmektedir [42].

Geliş bölümü gelen yolcuların bulundukları bölümlerdir. Bu bölümler genellikle pasaport kontrolü sonrasında ülke sınırlarına girdikten hemen sonra bagajlarını alan yolcuların gümrüklü sahadan çıkmaları ile son bulur.

Bu sırada havaalanı içerisinde gümrüklü bölgede alışveriş yapar ya da insani olan ihtiyaçlarını gidererek bagajlarını alarak terminal ve havaalanı sahasından uzaklaşırlar.

b. Gidiş bölümü

Gidiş bölümü ise yolcuların bagajlarını uçağa yüklenmesi için teslim ettikleri ve sonrasında uçağa binmek üzere köprülerin ya da uçağa doğru taşındıkları diğer taşıt araçlarına doğru geçtikleri ve güvenlik önlemlerinin alınmakta olduğu alan için

kullanılmaktadır. Bu bölümde yolcular ICAO tarafından yayınlanmış standartlar gereğince hangi ülkede bulunulursa o ülkenin yasal düzenlemeleri gereğince uçağa kadar kurallar içerisinde ilerlerler [43]. Bu sırada yolcular konforları için hava sahası ya da kara sahası içerisinde zaman geçirirler.

Havaalanının bu bölgesi sıklıkla uçuş terminallerinin kara tarafına denk gelen bölümlerindeki yoğunluk olarak düşünülebilir. Gidiş bölümü ardından hava tarafında da devam etmektedir ancak Türkiye'deki havaalanı işletme süreci düşünüldüğünde uğurlayıcılar holünün büyüklüğü dolayısıyla insan yoğunluğu ve yolcu yoğunluğu nedeniyle oldukça büyük bir ortamdır. Bu bölgede ısıtma soğutmanın en yoğun olduğu faaliyetler, havaalanının yolcu alanının çatı bölümünün yüksekliği dolayısıyla aydınlatmanın en fazla yapıldığı alan ve bununla birlikte bagaj taşıma işleri ve yolcu ulaşımı ile ilgili otomasyonların bulunması nedeniyle en yoğun otomasyon enerjisinin tüketildiği noktadır diye düşünülebilir.

Havaalanları otomasyon sistemleri zaman kritik süreçleri hızlandırabilmekte ve uçağa bindirilecek yolcuları kısa sürede uçağa binmek üzere hazır edebilmektedir. Havaalanları bu anlamda otomasyon açısından yüksek enerji tüketmektedirler. Buraya kadar anlatılanlar havaalanı sürdürülebilirliği açısından enerji tüketiminin düşürülmesi anlamında düşünülmüştür. Graham ve Guyer sürdürülebilirlik konusunu;

- Gürültü seviyesi düzenlemeleri,
- Sağlık ve yerel nüfus üzerindeki etkiler,
- Altyapı ve ulaşım planlaması,
- Kapasite artırımı ve planlaması,
- Verimli alan kullanımı,
- Su ve hava kalitesi,
- Enerji kullanımının sınırlandırılması

olarak 7 maddede sınıflandırılmıştır [44]. Ancak kapsam olarak enerji tüketimi ele alınmış olduğundan dolayı enerji sarfiyatının düşürülmesi ve hava kalitesi konuları gidiş bölümünde önemli olarak görülmektedir.

Havaalanında gidiş bölümünde bagaj taşıma sistemleri önemli bir enerji ihtiyacı oluşturan kalemdir. Bagaj bantlarının uzun yollar boyunca bagaj ayırma bölümüne kadar tüm bagajları taşıması dünyadaki elektrik enerjisinin %28'ini tüketmekte olan elektrik motorları ile yapılmaktadır [45] Ortalama bir havaalanı için çalışmadığında durdurulan

bagaj sistemi ile yıllık olarak bagaj bantlarının tüketmekte olduğu karbon eşdeğeri Lodewijks tarafından 24 ton CO₂ olarak hesaplanmıştır. Aynı çalışmada yalnız bagaj bant kontrol yazılımlarında yapılmış olan iki düzenleme ile %30 mertebesinde CO₂ emisyon tasarrufu yapılabileceği ortaya konulmuştur [46].

Uzun mesafeli taşıma sistemleri ve kısa mesafeli taşıma sistemleri karşılaştırıldığında birbirlerine göre farklılıklar içerdikleri görülmüştür. Uzun mesafeli sistemlerde güçlü motorlar kullanılmaktayken kısa mesafelilerde toplam motor sayısının artışı dikkati çekmektedir. Her iki seçilmiş yöntem için “soft starter” yani kalkış kontrol sistemleri ya da “switching control” yani anahtarlama ile kontrol gibi yöntemler ile en iyi motor sürüm sistemleri kullanıldığında toplamda %35’e varan maliyet kazancı ve %15’e varan enerji tüketiminde tasarruf sağlanabilecek olduğu tespit edilmiştir [47].

Gidiş katında (ya da küçük havaalanları için gidiş tarafında) yolcuların güvenlik kontrollerinin yapıldığı bölümler, uçağın yolcu alımı zamanının gelmesi için yolcuların bekleyecekleri alanlar, yolcu bilgilerinin alınarak biniş kartlarının üretildiği check-in bölümleri, bu işlemlerin bilgisayarlar ile yolcunun kendisi tarafından yapıldığı bölümler, restoran, kafe gibi yolcuların vakit geçirebilecekleri bölümler, yolcu hizmetleri ya da havayolu, havaalanı şirketlerinin çalışanlarının bulunduğu ofisler gibi bölümler bulunmaktadır. Bu bölümler içerisinde personel kaynaklı ve yolcu kaynaklı enerji sarfiyatları gözlemlenmiştir. Örneğin yolcunun bagajının kontrolü için kullanılan bilgisayarlı x-ray cihazları, yolcu bagajlarını taşımak için kullanılan otomasyon sistemleri, yolcuları katlar arasında taşımak için asansör ve yürüyen merdivenler, uzun koridorlar boyunca yolcu ve el bagajlarını taşımak için kullanılan otomasyon sistemleri, aydınlatma sistemleri, check-in bilgisayar sistemleri gibi birçok enerji noktası kullanılmaktadır. Bununla birlikte nispeten daha yoğun bir enerji olan ısıtma ve soğutma sistemleri de ortamı soğutma noktasında önem taşımaktadırlar. Ortamda kullanılan bilgisayar sistemleri ve yolcu yoğunluğuna göre soğutma ve ısıtma yükleri dolayısıyla havalandırma sistemlerinin harcadıkları enerji de değişim gösterir.

Bu sistemlerin birbirlerine oranla çekmiş oldukları enerjiler arasında farklılıklar bulunmaktadır. Bu enerjilere göre aşağıdaki gruplamaların yapılması uygun olacaktır.

- Havaalanı ısıtması ile oluşan etkiler,
- Havaalanı soğutması ile oluşan etkiler,
- Havaalanı aydınlatması ve bilgisayarlar dolayısıyla oluşan etki,

- Havaalanı otomasyonu ile oluşan etkiler,
 - Asansörler,
 - Yürüyen merdivenler,
 - Yürüyen bantlar,
 - Bagaj otomasyon sistemi ve bantları.

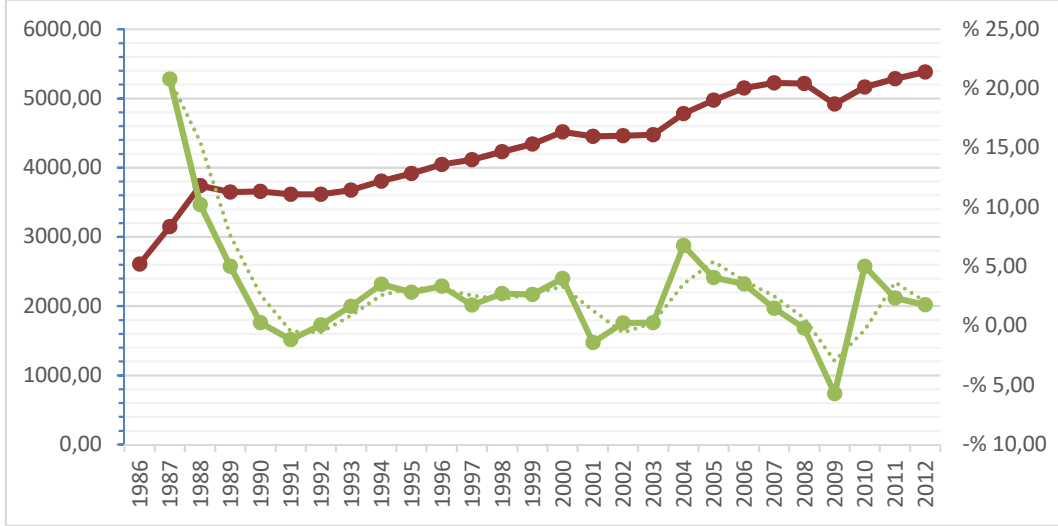
3.2 Havaalanlarındaki Diğer Çevresel Etkiler

Havaalanları dünyanın enerji tüketimi yapılan ve karbon izi dikkate alınması gereken alanlarından. Ancak öncesinde dünya üzerindeki enerji tüketimi ve bununla birlikte yenilenebilir enerji üretim miktarlarının incelenmesi önemlidir. Birleşmiş Milletler İstatistik Bölümü verisine göre enerji tabanlı çevresel veri dünyadaki en yüksek enerji tüketimi G8 ülkelerinde gerçekleşmektedir. Bunların içine sırasıyla Çin, Hindistan ve İran da girmektedir. Gelişmekte olan ülkeler ile G8 ülkeleri olan ABD, Japonya, Almanya, İngiltere, Fransa, İtalya, Kanada ve Rusya [48] 2007 yılında toplam dünya tüketimi olan yaklaşık 10 milyar ton petrole karşılık gelen değerin %39'unu tüketmektedir. Bunların yanında tüketimin ilk iki sırasındaki devlet olan ABD ve Çin bu tüketimin % 40'sini birlikte tüketmektedir [49]. 2007 yılında % 39 olan G8 emisyon değeri 2014 yılında % 52 seviyesine çıkmıştır [50].

Bu büyüklüğü daha da iyi değerlendirebilmek adına ilk 11 ülkenin yenilenebilir enerji üretiminin toplam enerji tüketimlerine oranı önemli olacaktır. Bu değer ise %13 gibi bir değere gelmektedir. Büyüklükleri iyi anlayabilmek adına fosil yakıtların kullanılma oranını hesaplar isek yaklaşık 6,8 milyar ton petrol eşdeğeri enerjinin 890 milyon tonu yenilenebilir değildir. Şekil 3.2'de yıllara göre artmakta olan dünya uçak yakıtı ihtiyacı görülebilir [51]. Grafikte havacılık için tüketilmekte olan bu yakıtın değişimi ve değişimin şekillenmesi adına yaklaşım eğrisi de görülebilir. Bu değişim sağ ekseninde bir sayısına oranla yüzdelik olarak okunabilir.

Havayollarının birlikteliğini oluşturan IATA'nın yürütmekte olduğu bir program altında havayollarının daha düşük karbon salınımı oluşturması ya da karbon salınımının sınırlandırılması adına çalışmalar yapılmaktadır. Havayolları için oluşturulmuş bu programın adı Karbon Dengeleme Programı'dır (Carbon Offset Program). Bu çalışma ile International Air Transportation Association (IATA – Uluslararası Hava Taşıma Birliği) uzun mesafeli uçuşların gerçekleştirilebilmesi düşük karbon salınımları ile yapılmasının

mümkün olmadığını kabul etmiştir. Ancak önerileri ile karbon dengelenmesi için enerji verimliliği, metan üretimi, yenilenebilir enerji yatırımları, hidro-florokarbon bileşenlerinin düşürülmesi gibi projelerde çalışılmaktadır [52].



Şekil 3.2 : Yıllar bazında jet yakıtı tüketimleri

Şekil 3.2’de sunulmakta olan dünya üzerindeki jet yakıt tüketimi artışı grafiğine göre, 2010 yılındaki toplam yakıt tüketimi günlük 5219510 varil olarak gerçekleşmiştir. Bunun ekonomik karşılığı olarak 2010 yılında 138 milyar USD toplam masraf oluşmuştur. Çevresel etkilere bakıldığında ise 1 kg jet yakıtı 3,15 kg CO₂ oluşumuna sebep vermektedir [53]. Sadece günlük olarak dünya çapındaki CO₂ emisyonu oluşumu günlük olarak ortalama kaba 0,81 kg/l jet ağırlığı alınarak 1,5 milyon ton CO₂ emisyonu anlamına gelir.

Bu büyüklüğü daha da iyi değerlendirebilmek adına ilk 11 ülkenin yenilenebilir enerji üretiminin toplam enerji tüketimlerine oranı önemli olacaktır. Bu değer ise % 13 gibi bir değere gelmektedir. Büyüklükleri iyi anlayabilmek adına fosil yakıtların kullanılma oranını hesaplar isek yaklaşık 6,8 milyar ton petrol eşdeğeri enerjinin 890 milyon tonu yenilenebilir değildir.

3.2.1 Sulama ihtiyaçları

Havaalanlarında çevresel etkilerden birisi de su ihtiyacı ve sulama verimliliği olarak nitelendirilebilir. Bu konu havaalanının içinde bulunduğu eko sisteme ne kadar

yük bindirdiğinin anlaşılması amacıyla önem taşımaktadır. Aşağıdaki başlıklarla takip edilip yönetilebilir; [54]

- Binalarda kullanılan su verimliliği,
- Daha az su tüketen peyzaj,
- Yağmur suyu hasadı,
- Akılcı ve yenilikçi atık su yönetimi,
- Araç yıkamasında verimli yöntemler kullanılması

3.2.2 Kullanılan malzemelerin seçimi yönetilmesi

Havaalanından geçen birçok yolcunun, beraberindekilerin ya da bunca kişiye hizmet eden çalışanların oluşturmuş olduğu ihtiyaçların bir şekilde idare edilmesi bunların daha verimli kullanılabilir hale getirilmesi ile çevresel etkiler azaltılabilir. Örnek olarak 2005 yılında yapılan bir çalışmada Portland havaalanının atıklarının yönetimi için çevredeki otellerin ve ikram servisi şirketlerinin bir araya gelerek yapmış oldukları atık yönetimi merkezi ile atık trafiği azaltılmış ve %20 ile 25 oranında atık akışında azalma sağlanmıştır [55].

Atık yönetimi ve kullanılacak malzemelerin seçimi ile ilgili, elektronik malzemelerin seçilmesi, yazıcı kâğıtlarının ve mürekkeplerinin seçimi, uzun ömürlü ofis gereçlerinin kullanılması, tüm cihazların ‘Energy Star’ verimliliklerinin artırılması ve malzeme ömrü ve maliyeti analizlerinin yapılması önemlidir [56]. Bununla birlikte enerji açısından yapılması gereken bir önemli başka madde ise bina adına ‘Bina Enerji Analizi’nin yapılmasıdır. Bu analiz ile binanın toplam enerji ihtiyacının ve yoğunluklarının belirlenmesi tasarımın da kolaylaştırılmasını sağlayacaktır [57].

3.3 Enerji Temelinde Etkiler

Havaalanındaki enerji temelindeki etkileri inceleyebilmek için enerji tüketiminin olduğu noktalara bakmak gerekmektedir. Bütün bir sürecin yolcu gereksinimleri dolayısıyla olduğundan dolayı iki adet sürecin incelenmesi bu ihtiyaçları belirlemekte yardımcı olacaktır. Bunlardan birincisi yolcunun uçağa binış sürecidir. Diğer süreç ise yolcunun uçaktan iniş sürecidir.

Bununla birlikte yolcuların bağı ya da yolcuya bağı süreçlerde de enerji tüketimleri oluşur. Bu yardımcı süreçlerin enerji etkilerinin olduğunun tespit edilmesi ne kadar kolay olsa da bu süreçlerin ölçülebilmesi tespit edilmesi kolay olmayacaktır. Ancak yolcuları direk olarak etkilemekte olan süreçlerin ve bu süreçlere temel oluşturan enerji talepleri ölçülebildiğinden dolayı genel olarak hesaplama ve tespit yoluna gidilmesi gerekecektir.

a. Yolcunun uçağı gidiş süreci

Yolcunun uçağı gidiş süreci basit olarak yolculuk için başlangıç noktasından havaalanına geliş ile başlamaktadır. Havaalanına ulaşım alt süreci olarak tanımlanabilecek bu süreç için yolcunun toplu taşıma araçlarını ya da bireysel ulaşım araçlarını kullanması gerekmektedir. Bu alt süreç yolcunun beraberinde taşıdığı eşyaları ya da canlı hayvanı ile birlikte havaalanına park etmesini ya da havaalanında diğer taşıt araçlarından inmesini kapsar. Buna bağı bir alt süreçler ise havaalanı içerisinde ulaşım alt süreçleri, güvenlik süreçleri ve sonrasında otomasyon süreçleri olarak sınıflandırılabilir. Bu sınıflandırma sırasında yolcunun ek olarak konfor ihtiyaçları da gündeme gelebilir. Konfor ihtiyaçları 3.3.5 başlığı altında detaylı incelenmiştir.

Yolcunun havaalanı içerisinde hareket etmesi alt süreci içerisinde yolcunun öncelikle ulaşım ihtiyaçlarının içerisinde belirtilebilecek yön bulma yardımcıları bulunmaktadır. Yolcunun nereye gideceğı ışıklandırılmış yön levhaları ve uçuş bilgi sistemi gibi bilgi ekranların bulunduğu ve belli bir miktarda enerji tüketimi gösteren ekranlar aracılığı ile yapılabilmektedir. Bu noktada yolcuya tüm süreçlerde hizmet veren çalışanların terminal içerisinde bir noktadan başka bir noktaya taşınması da önemli bir kalem olabilir.

Başka bir süreç ise yolcunun ya da yolcuya hizmet edilmesinde etken birincil ve ikincil çalışanların da ihtiyaçları olan aydınlatma ihtiyacı yolcunun havaalanında hareket etmesinin en büyük yardımcılarında birisi olacaktır. Yolculara direk olarak hizmet sağlayan çalışanlar birincil hizmet çalışanları, bunun dışında kalan tüm çalışanlar ise ikincil hizmet çalışanları olarak sınıflandırılmaktadır. İkincil hizmet çalışanları, lojistik amacı ile bulunan çalışanlar, tüm idari kadrolar ve birincil hizmet çalışanlarına hizmet ya da ürün sağlayan çalışanlar olarak düşünülebilir. Aydınlatma yolcu, birincil ve ikincil hizmet çalışanları için en önemli konulardan birisidir. Bakımı, işletilmesi ve kurulu

gücünün enerji olarak beslenmesi dikkatlice düşünülmesi gereken bir sistemdir. Aydınlatma sistemi göz ardı edilemeyecek kadar çok enerji tüketebilmektedir.

Bununla birlikte başka bir ihtiyaç ise yolcuların havaalanı içerisinde yaşam standartlarını sürdürülebilecek bir ısıtma ve soğutmanın sağlanıyor olmasıdır. Arzu edilen iç hava kalitesini sağlamak amacıyla ısıtma ve soğutma anlamında yerleşik binaların, birincil ve ikincil hizmet çalışanlarının da ihtiyaçlarını karşılayacak bir enerji tüketimi kampüs içerisindeki önemli kalemlerden birisini oluşturmaktadır.

Yolcu açısından bir başka kalem ise havaalanı içerisindeki otomasyon ihtiyaçlarıdır. Otomasyon ihtiyaçları, karmaşık ve sistemsiz açıdan bazen birbirinden ayıramayacak hale gelmektedir. Örnek olarak bir bina yönetim sistemi aynı anda bir sistem iken bagaj taşıma bant sistemini durdurabilen, bu sistemi tekrardan çalıştırabilen, yangın sisteminden sinyaller alarak buna göre akıllı olarak kararlar alabilen ve asansörleri bu aşamada yönlendirebilen bir sistemdir. Başka bir sisteme göre alt sistem olabileceği gibi kendi başına binanın ya da binaların her bir yerine dağılmış sistemlerdir. Otomasyon sistemleri yolcuların hareketlerine ya da yolcuların ihtiyaçlarına karşılık verebilecek sistemlerin bütünü olarak düşünülebilir. Bir başka deyişle yolcuların ihtiyaçlarını yığın halde daha az zamanda bitirebilmek amacıyla enerji kullanan sistemler olarak tanımlanabilir.

Bu tanım ile bagaj bantlarının hareket etmesini sağlayan motorlardan, akıllı ışıklandırmayı sağlayan bina yönetim sistemleri, yolcuları değişik katlara ve uçağa taşıyan yürüyen merdiven ve asansör gibi hareketli sistemlerden bahsedilmiş olmaktadır. Otomasyon ihtiyaçları mimari tasarım ve havaalanının tasarımı sırasında yolcu hareketlerine ve yolcunun uçağa taşınması amacına göre şekillenir ve bu ihtiyaca göre sınırları belirlenir. Böylece havaalanında katlar ya da bölümler arasında hareket kısıtları oluşmamış ayrıca zaman kritik süreçler rahatlıkla idare edilebilir bir hale gelmesi sağlanmış olur.

Havaalanları içerisinde bir başka sistem ise güvenlik ihtiyaçlarıdır. Güvenlik ihtiyaçları içerisinde kapalı devre televizyon sistemlerinden yolcuların arandıkları x-ray istasyonları da içerisinde olmak üzere birçok bileşeni barındırır. Güvenlik süreçleri sırasında kullanılan cihazların tüketmekte oldukları enerjiler zaman içerisinde birim olarak azaltılsa da güvenlik ihtiyaçlarının artıyor olması tüketilmekte olan enerjiyi daha da yukarıya çıkartabilir.

Otomasyon, güvenlik ve bilgi sistemlerini içerisinde almakta olan süreçler ısıtma, soğutma, aydınlatma ve ulaşım ihtiyaçlarına kıyasla daha az enerji tüketimine neden olurlar. Yolcunun uçağa gitmesi sırasındaki süreç bagajların ve yolcunun uçağa bindirilmesi ile son bulacaktır.

b. Yolcunun uçaktan iniş süreci

Yolcunun uçaktan inmesi süreci ile birlikte ortaya çıkacak enerji taleplerini incelemek gerekir. Benzer şekilde uçağa giderken üzerinden geçilen süreçler burada da benzer şekilde işlediği kabul edilebilir. Farklı olarak değerlendirilmesi gereken bir alt süreçler güvenlik ihtiyaçları, konfor ihtiyaçları ve otomasyon ihtiyaçları olacaktır.

Yolcunun bagajları ile birlikte havaalanından ayrılmasına kadar havaalanı içerisindeki ulaşım süreçleri, güvenlik süreçleri, bagaj otomasyonu ve konfor ihtiyaçları dolayısıyla oluşan enerji ihtiyaçları basit olarak düşünüldüğünde uçağa binış sürecine göre daha sade ve kısadır. Bu süreç içerisinde güvenlik gereksinimlerine gümrük açısından ek bir süreç gelmektedir.

3.3.2 Isınma ve soğutma ihtiyaçları

Havaalanları yolcu yoğunlukları göz önüne alındığında oldukça büyük binalar olarak yapılmışlardır. Bu binaların havalandırılması, iç hava kalitesinin korunacak şekilde şartlandırılması yoğun enerji sarfiyatı yapılan kalemlerindendir. Isıtma ve soğutma yükleri mimari detaylar belirlendikten sonra şekillenir ve buna göre soğutucu ve ısıtıcı cihazlar tespit edilir.

Gerekli cihazlar ve ilgili yükler ticari alanların farklı konumlandırmaları ile zaman içerisinde değişse dahi mekanik otomasyon sistemleri vasıtası ile bölgesel olarak esnek halde tutulabilir. Mekanik otomasyon sistemleri bulunan ticari bölgenin örnek olarak bir restoran olarak konumlandırılmasına bağlı olarak soğutma katsayısının artırılması ya da kışın ısıtma ihtiyacının azaltılması gibi yöntemlerle ayarlanabilir. Bu çeşit ayarlamalar enerji ihtiyacının şekillenmesine ve en uygun hale getirilmesine yardımcı olur.

Aynı şekilde yolcuların azaldığı bölgelerde fazlası ile soğutma yapmanın bir faydası bulunmamaktadır. Aynı şekilde yükseklik açısından birkaç katı birbirine bağlayan mahallerde ise fazlası ile soğutma ya da ısıtma yapmak yerine alt taraftan ısıtmanın

yapılması ya da üst taraftan soğutmanın hareketlendirilmesi ısıl ihtiyaçların karşılanması açısından önemli olacaktır.

Isıtma ve soğutma ihtiyaçlarının idari binalarda, tali binalarda, havayolu binalarında ve terminal binalarında da farklı olarak yapılması gerektiği de göz önüne alındığında çözümün oluşturulması enerji sarfiyatı açısından oldukça zahmetli hale gelebilir. Bu zahmetlerin tasarım zamanında çözülmemesi ise emisyon artışlarına, verimsizliğe ve bununla birlikte şikayetlere sebep verebilir.

Enerji ihtiyacının çevresel etkileri düşünüldüğünde emisyonlarının yüksek olduğu yakıtların kullanılması çevresel etkileri arttıracaktır. Enerji ihtiyacının çevresel etkilerinin azaltılması için yeşil yakıtlar denilen geri dönüşebilen enerji üretiminin kullanılmasında fayda bulunmaktadır. Güneş enerjisinin kullanılması, rüzgar verimliliği olan bölgelerde rüzgar enerjisinin kullanılması, biyolojik yakıtların tercih edilmesi çevresel etki değerlendirmesini azaltacaktır. Bununla birlikte binanın tasarımı ile birlikte akılcı ve çevreye dost binaların yapılması da önem kazanır. Çevre dostu binalar güneşin aydınlatma etkisinden yararlanmayı sağlarken aynı zamanda ısıtma soğutma ihtiyaçlarının karşılanması sırasında enerjiye olabildiğince az etki eden bununla birlikte su tüketimini sınırlandıran ve atık yönetimini çözümlemiş binalar olmaktadır.

Havaalanlarında atık yönetimi iki açıdan incelenebilir. Bunlar havaalanı işletmesi ve havaalanı işletmesi ile sözleşmeleri olan diğer ticari işletmelerdir. Bu iki oluşumun aşağıdaki noktalarda atık yönetimlerini düzenlemeleri önemlidir [58].

- Atıkların bertaraf edilmesinin denetlenmesi,
- Atıkların miktarının azaltılması

Bahsi geçmekte olan atıklar, katı atıklar, sıvı atıklar, tehlikeli ve çok tehlikeli atıklar olabilir. Bu atıkların bertaraf edilmesi ve atık oluşumunun engellenmesi için havaalanı içerisinde de tesisler kurulabilir ve çevresel etkiler azaltılabilir [59]. Bu etkilerin azaltılması için havaalanı kampüsünün içerisinde bir arada hareket edilmesinin önemi çok yüksektir.

3.3.3 Ulaşım ihtiyaçları

Ulaşım ihtiyaçlarını iki kademedede incelemek doğru olacaktır. Bunlardan birisi havaalanına yapılmakta olan ulaşım, diğeri ise havaalanı içerisinde yapılmakta olan

ulaşım olarak ayrıştırılabilir. Havaalanına yapılan ulaşımın hangi aşamada hesaplamalara dâhil edilmesi gerektiği ve ulaşım yöntemi sınırlarının belirlenmesi gerekir.

a. Havaalanına yapılan ulaşım

Kapsamı daha detaylı anlatabilmek amacıyla havaalanına hava yoluyla ulaşımı düşünmeksizin kara yoluyla yapılan ulaşımlar dikkate alınacaktır. Deniz yolu ile bağlantılı olabilecek küçük uçakların kalkmakta olduğu göl ya da deniz pistleri göz ardı edilebilecek kadar az trafik oluşturmakta ve çevresel kirliliğe neredeyse hiç sebep olmamaktadır.

Havaalanına ulaşım bu noktada iki yöntem ile yapılabilir.

- Toplu taşıma yöntemi,
- Bireysel ulaşım yöntemleri,
- Karma taşıma yöntemleri,

Toplu taşıma yöntemleri doğası gereği insan başına daha az enerji tüketimi üzerine kurulu uzun vadede hesaplanması gereksiz çevresel etki oluşturacak sistemlerdir. Bu anlamda toplu taşıma ile yapılmakta olan havaalanı erişimlerinin göz ardı edilmesi uygun olacaktır.

Bireysel ulaşım yöntemleri ile havaalanına transferler trafiğin artması ile birlikte oldukça artacaktır. Özellikle trafiğin tıkanması süre açısından uzayan zamanlar ile oldukça fazla çevresel etki oluşturacaktır. Ancak yolcu başına ne kadar çevresel etkinin oluşturulduğunu belirlemek oldukça zordur. Özellikle büyük şehirlerde hangi yolcunun ne kadar uzaklıktan geldiği, kullandığı rota, yakıt tüketim miktarı ve ayrıca bu yolculuğun ne kadarının uçuş verisine ve yolcu taşımasına etki ettiğini hesaplamak için veri bulunmamaktadır.

Bunun yerine bazı kabullenmeler ile hesaplama yapmak daha uygundur. Öncelikle çevresel etkilerin havaalanı kampüsü içerisinde olduğunu kabullenmek ve diğer bireysel ulaşım ihtiyacının şehir trafiği kapsamında değerlendirmek uygun olabilir. Her ne kadar inceleme noktası kampüs içerisindeki etkiler olarak belirlense de yolcunun yolculuğunun evden çıkış ile başladığının düşünülmesi de doğru bir yöntem olabilecektir.

Amerika'da yapılmış olan 365 milyon yolcuyu kapsayan istatistiksel bir çalışmada elde edilen veri dolayısıyla havaalanı ulaşımı açısından en çok tercih edilen durumun özel ulaşım olduğu tespit edilmiştir [60]. Aynı zamanda havaalanına ulaşım ile

ilgili olarak demografik yapının ve havaalanına uzaklığın da etkileri olabilmektedir. Bu etkiler aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- Ekonomik durum,
- Havaalanına toplu ulaşımın kolaylığı,
- Toplu ulaşımın uygunluğu,
- Havaalanı içerisindeki imkanlar,
- Yolcunun taşımakta olduğu yükler.

Çizelge 3.1 : Havaalanlarına yolcu ulaşımı

Ulaşım Yöntemi	San Fransisco	Seattle	Boston	Los Angeles
	%	%	%	%
Özel Araç	37,9	56,8	37,3	49,4
Kiralık Araç	19,8	19,8	12,3	18,3
Taksi	10,4	3,1	20,2	5,5
Tarifeli Özel Ulaşım	6,9	7,7	10,0	7,3
Özel Limuzin	3,7	0,7	8,8	1,7
Paylaşılan Özel ulaşım	12,5	4,2	1,0	5,2
Metro/Raylı Sistem	-	-	7,1	-
Tarifesiz Otobüs	1,0	0,4	-	4,5
Yerel Otobüs	-	0,9	0,2	1,3
Otel Transferi	6,5	5,4	2,0	5,0
Diğer	1,3	1,0	1,1	1,8
Toplam	100,0	100,0	100,0	100,0

Çizelge 3.1’de aktarılan yolcuların havaalanına ulaşımı veri incelendiğinde bireysel ulaşımın % 84,4 gibi bir ortalama ile çok yüksek bir ortalama ile tercih edildiği görülebilir. Bununla birlikte toplu taşımanın oranının ise % 3,9 olduğu tespit edilmiştir. Karma olarak belirtilebilecek ve toplu taşıma ile bireysel taşıma arasında kalan ve gri olarak kabul edilerek hesaplanması zor olan bir durum olan ulaşım şekli ise % 11,8 gibi bir oranda bulunmuştur.

Bu verinin değişkenliği, demografik ve ulaşım şartlarına göre değişmesi, ulaşımın havaalanı kampüsünün içinde kalan kısmı için hesabın yapılmasının değişken sayısının çokluğu yüzünden tez kapsamının dışında tutulması uygun olacaktır.

b. Havaalanı içerisindeki ulaşım

Havaalanları içerisindeki ulaşım havaalanı kampüsünün büyüklüğü, tasarımı ve yolcu trafiği ile doğrudan ilintilidir. Ancak bununla birlikte havaalanında özellikle hava

sahasında uçaklara hizmet açısından en önemli kıstasın zaman olduğu düşünülürse zamanında ulaşmak çok önemli olacaktır. Bu anlamda apron sahası içerisindeki trafik ve cihazların kullanımı önem arz etmektedir.

Apron sahası içerisinde yoğun olarak kullanılan araçlar aşağıdaki gibi listelenebilir [61];

- Teknik bakım araçları,
- Operasyon personeli taşıyan araçlar,
- Bagaj taşıma araçları,
- Yolcu taşıma araçları,
- Bagaj yükleme araçları,
- İkram yükleme araçları,
- Uçak temizlik araçları,
- Yolcu merdiveni araçları,
- Uçak çekme (push-back) araçları,
- Yakıt pompalama araçları ve
- Yakıt taşıma araçlarıdır.

Bu araçların her birisi özel işler için tasarlanmış, oldukça ağır ve güç tüketen cihazlardır. Bu cihazların neredeyse hepsi her uçak servisinde kullanılmaktadır. Örnek vermek gerekirse, teknik bakım araçları ve operasyon personeli taşıyan araçlar her uçak operasyonu için kullanılır. Bagaj taşıma araçları ve bagaj yükleme araçları her uçak operasyonu için kullanılır ancak bagaj yükleme aracının tipi uçağın yığın yükleme ya da konteyner ile yükleme tipine göre değişiklik gösterir. Her uçak operasyonunda kullanılan iki özel araç ise ikram yükleme aracı ve uçak itirme aracıdır. Bunun dışındaki araçlar uçakların operasyonlarının uzak kapılardan yapılması durumlarında kullanılmakta olup bazı durumlarda yolcu taşıma araçları VIP ve CIP yolcularının taşınması amacıyla da kullanılabilir.

Sürekli kullanım ve tüketilen güç açısından bakıldığında emisyon miktarlarının azaltılmasında yapılacak en önemli çalışma bagaj taşıma arabalarının elektrikli cihazlara döndürülmesi. Morrow, Hochard ve Fancfort'un yapmış oldukları analizde görülebilmektedir [62]. Sadece bagaj arabalarının elektrikli hale getirilmesi dolayısıyla havaalanlarında 700 bin ton CO₂, 25 bin 560 ton Hidrokarbon ve 14 bin 551 bin ton NO_x emisyonu tasarrufu yapılacağı hesaplanmıştır. Çalışmalar Amerika Birleşik

Devletlerindeki ortalama büyüklükteki dört havaalanı bünyesinde iki adet havayolu ile yapılmıştır.

Havaalanlarını yeşil olarak tanımlanmasını sağlayan bir etiket ise Yeşil Havaalanı sertifikasıdır [63]. Bu kapsamda yapılması teşvik edilen önemli yatırımlardan birisi de havaalanlarında kullanılmakta olan gpu ve bagaj arabalarının daha az emisyon üreten cihazlar ile değiştirilmesi gerektiği belirtilmiştir.

3.3.4 Aydınlatma ihtiyaçları

Havaalanı bünyesinde, kampüs içerisindeki yolcu ile direk ya da dolaylı aydınlatma ihtiyaçlarını incelemek için genel olarak iki aşamalı olarak düşünmek yararlı olabilir. Binalar ve ulaşım ile ilgili ihtiyaçlar ile uçak temelli ihtiyaçlar. Ancak kesin olarak bir çizgi çizmek mümkün olmayabilir. Örneğin, bagaj taşıma hizmetleri için gerekli olan apron aydınlatması, aynı anda yolcu taşıma hizmetleri için ve ayrıca uçak için her türlü hizmeti kapsayabilmektedir. Bu amaçla sınıflandırmanın fiziksel anlamda yapılması daha doğru olacaktır.

Bu sınıflandırma için Apron Sahası, Havaalanı ve ekli binaları ile Havaalanının Tali Binaları olarak bir ayırım yapılabilir. Yolcu ile ilgili binaların tasarım gereği olarak gün ışığı aydınlatması alması ve gün içinde bu aydınlatmanın konforlu bir şekilde yapılması önemlidir. Bununla birlikte geceleri ışık kirliliğinin oluşmaması için kullanıcıların ayarlayabileceği ya da kullanıcıları rahatsız etmeyecek şekilde tasarlanmış ışık kullanılmalıdır. Bu ışıklandırma kontrastın az tutulması ile birlikte enerji verimli uygulamalar haline dönüştürülebilir.

Havaalanı içerisinde yolcunun rahatlığını sağlayan faktörler tasarım ve koku olurken, yolcunun tedirginliğini arttıran faktörlerin ise organizasyonun işlevselliği, ışıklandırma ve havalandırma, temizlik ile oturma düzeni olduğu ortaya koyulmuştur [64]. Bu sebeple aydınlatma ihtiyaçlarının tasarım sırasında bu açıdan düşünülmesi ve aydınlatmanın yeterli ancak rahatsız etmeyecek bir durumda uygulanması gereklidir.

3.3.5 Konfor ihtiyaçları

Konfor kelimesi Türk Dil Kurumunun (TDK) güncel sözlüğünde “Günlük hayatı kolaylaştıran maddi rahatlık” [65] olarak tanımlanmıştır. Tanımdan yola çıkılırsa hayatın kolaylaştırılması için her bireyin dolayısıyla her yolcunun ihtiyacı birbirinden farklıdır.

Havaalanlarında konforlu seyahat hazırlığı bazı kimseler için özel salonlarda ağırlanmak iken bazıları için ise bir süre beklemek için oturulabilecek bir yer olması olabilir.

Yolcu isteklerinin artmış olduğu durumlarda daha iyi bir ulaşım imkânı için havaalanlarında bankaların ya da havayollarının özel devamlılık programlarının oluşturmuş olduğu cazibeli seçenekler yolcular için bir alternatif oluşturmaktadır. Bu alternatiflerin çekici etkisinin enerji ihtiyacı açısından bir emisyon artışı sağlayacağı gözlenebilmektedir. Sürekli servis edilen yiyeceklerin atık yönetimini ilgilendirdiği, sıcak ve soğuk tutulması gereken yiyecek ve içeceklerin ortam sıcaklığını korumak amacıyla havalandırma ve iklimlendirme üzerine bindirmekte olduğu ek yükler ve özel aydınlatma ihtiyaçları dolayısıyla oluşan yüklerin enerji ihtiyacı noktasında ne kadar bir artışı olacağını anlamlandırmak gerekmektedir.

Söz konusu salonların en eskisi VIP olarak adlandırılan salonlardır. Bu salonları sonrasında CIP olarak adlandırılan salonlar ve sonra da yoğun uçuş programları ya da yoğun ticari faaliyetler sonrasında hediye olarak kullanılan salonlar oluşturmuştur. Bu salonlardan geçen yolcu miktarının toplam yolcu sayısına oranını bir hesaplamak durumu anlamlandırmak için bir yöntem olabilir. Bununla birlikte bir başka yöntem ise bu salonlarda oluşan ek enerji ihtiyacını diğer tüm terminaldeki ihtiyaca oranlamak bir başka anlamlandırma yöntemi olabilir.

Ancak genel olarak bakıldığında söz konusu hacimlerin içerisinde bu ortamlara özel ayrı bir ısıtma soğutma sistemi kullanılmamaktadır. Normal bir ortama oranla daha fazla aydınlatma kullanıldığı kesindir ancak bunun enerji talebinde hesaba katılmaya değecek bir miktar olmadığı da anlaşılmaktadır.

3.3.6 Otomasyon ihtiyaçları

Havaalanlarında yapılmakta olan işin içeriğine bakıldığında bir noktadan başka bir noktaya gitmek isteyen yolcuların bu ihtiyaçlarının yanında diğer yan ihtiyaçlarının da karşılanması ayrıca yolcu beraberinde bulunan bagajların uçağa yüklenerek uçaktan indirilmesi amaçlanmaktadır. Havaalanında otomasyon ihtiyaçları bina kapasitesinin artışı ile birlikte büyük miktarlarda çözülmesi gereken sorunlar olarak sınıflandırılmaya başlanır. Bu büyüklüğü anlatmak için yolcu salonundaki aydınlatma optimizasyonu, ısıtma, soğutma ve havalandırma ile ilgili iç hava kalitesi sorunları, bunun dışında yolcu

ulaşımlarını ve engelsiz havaalanı olabilmek için yapılacak yatırımlar olarak bakılabilir. Bunları sıralamak gerekirse,

- Ortama yönelik aydınlatma miktarının ayarlanması,
- Aydınlatma gücünün ayarlanması,
- Isıtma ve soğutma optimizasyonu,
- Büyük salonlardaki iç hava akışlarının kontrol altına alınması,
- Taze dış hava miktarının yüksek tutulması,
- Bagajların taşınması,
- Bagajların ayrılması ve uçaklara göre dağıtılması,
- Bagajların yolculara geri teslim edilmesi,
- Bina içi ulaşım imkanlarının düzenlenmesi,
 - Yürüyen merdiven,
 - Yürüyen bant ve
 - Asansördür.

Yukarıda bahsedilen konfor ihtiyaçları sürdürülebilir havaalanları açısından incelendiğinde yapım sırasında dikkat edilecek tasarım açısından önemli faktörler aşağıdaki gibi sıralanabilir [66].

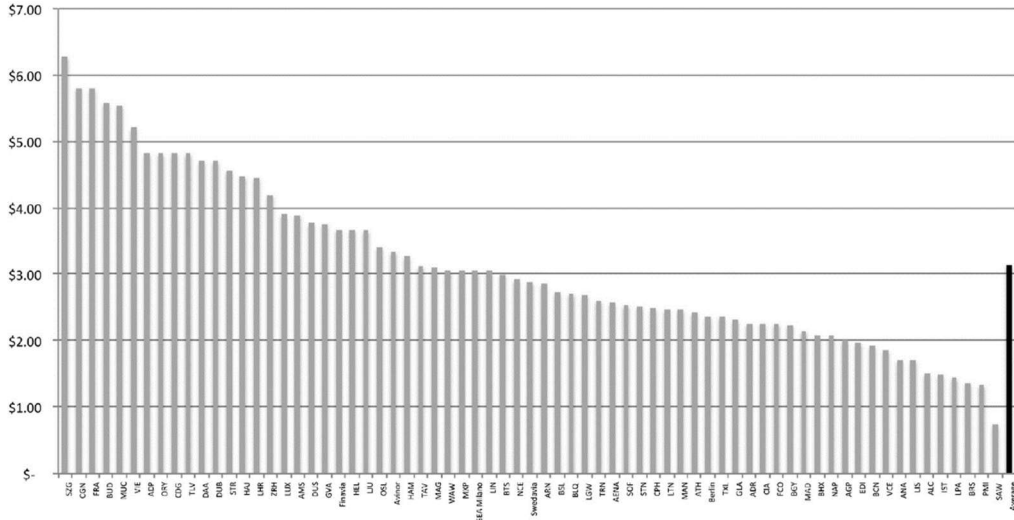
- İç hava kalitesi izlenmesi ve kontrolü,
- Sigara dumanı kontrolü,
- Dış hava temini kontrolü,
- Hava sirkülasyonunun artırılması,
- Düşük seviyeli zararlı madde salınımlı malzeme seçimi,
- Isıl Konforun tasarımı,
- Gün ışığının kullanımı ve
- Ses izolasyonudur.

Buna ek olarak işletme sırasında aşağıdaki noktalara dikkat edilebilir.

- Yüksek performanslı temizlik kullanılması,
- Termal konforun yolcular ya da çalışanlar tarafından ayarlanabilmesi ve
- Yeşil temizlik uygulanabilmesidir.

3.3.7 Güvenlik ihtiyaçları

Havaalanlarında güvenlik ihtiyaçları yolcu trafiğinin 70’li yıllardan günümüze artması ile birlikte değişiklikler göstermiştir. Havayolu ve havaalanı güvenliği bu ihtiyaçların değişimine göre düzenlenmiş ve güvenli yolculuklar için zmler üretilmiştir. Bu anlamda günümüzde yolcu başına havaalanlarında yapılmakta olan harcamaları gösteren bir grafik Şekil 3.3’te görülmektedir [67].



Şekil 3.3 : 2011 yılı Avrupa havaalanlarında yolcu başına güvenlik maliyetleri

Bu maliyetlerin içerisinde personel, bakım, yatırım ve diğer işletme giderleri bulunmaktadır. Genel bir havaalanı incelendiğinde, aşağıdaki özelliklerde sistemlerin konumlandırıldığı görülür.

- Metal dedektörleri,
- X-Ray cihazları,
- Explosive Detection System Cihazları (EDS – Patlayıcı Denetleme Sistemi),
- Explosive Trace System Cihazları (ETS – Patlayıcı madde parçacık testi)
- Risk analizleri,
- Kimlik tespiti,
- Havaalanı vresi güvenlik sistemi,
- Kapalı devre televizyon sistemi ve
- Kartlı geçiş sistemidir.

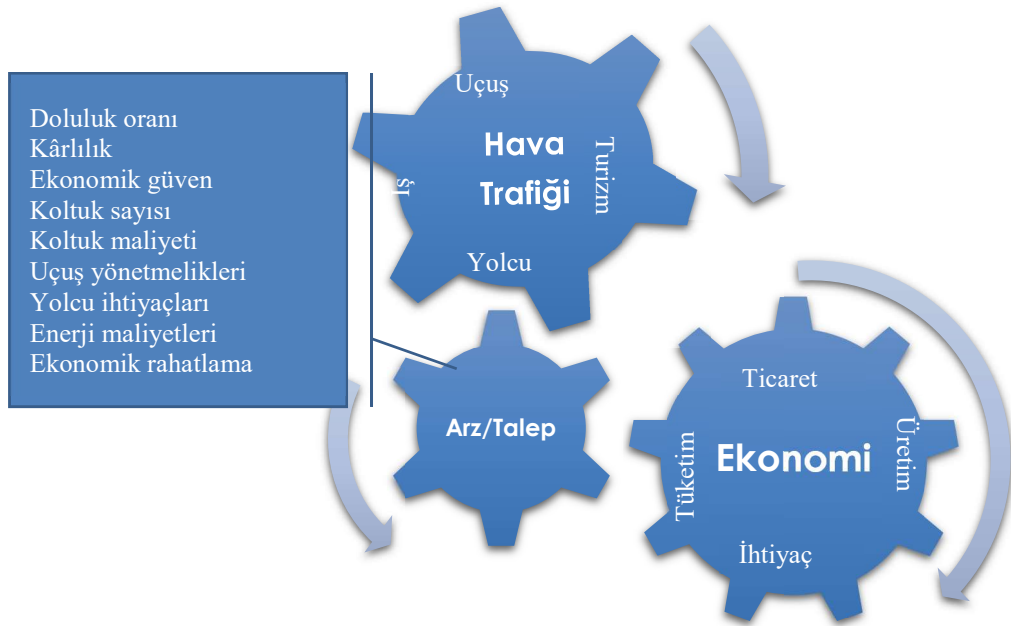
Yukarıda bahsedilmiş olan ve 2011 yılı için ortalama 3 Amerikan Doları seviyesinde gerçekleşmiş olan masraflar büyük havaalanları için maliyetin ne kadar

büyük olduğunu göstermektedir. Ancak bu maliyet daha çok cihazların kullanılması ile ilgili yazılım lisanslarının ve bu cihazları kullanan insan gücünün maliyetleri olarak ortaya çıkar. Bahsi geçen sistemler genel olarak elektronik sistemler olduklarından dolayı bu cihazların işletilmesi sırasında tüketmiş oldukları enerji miktarları havaalanının bilgisayar sistemleri içerisinde değerlendirilecektir.

3.4 Hava Trafiğini Şekillendiren Unsurlar

Hava trafiğini düzenleme ihtiyacı havadaki ucların birbirleri ile çarpışmasını engellemek ve iniş kalkış sırasında güvenliğin sağlanması amacıyla oluşmuştur. Öncelikle uçakların uçtukları rotaya bağlı olarak uçmaları gereken minimum ve ondalıklı irtifalar belirlenerek uçakların güvenli olarak uçmaları sağlanmıştır [68].

Hava trafiğinin şekillenmesi bir saat benzetmesi ile anlatılmak istenirse saatin çarklarını döndüren zemberek ekonomi olacaktır. Ekonominin gücünü vermekte olduğu saat çarkları arz talep dengesini sağlayan parametrelerle hava trafiğini şekillendirecektir. Ekonominin çarklarını üretim ve tüketim ticaret ve ihtiyaçlar ile birbirine bağlıdır. Ekonomi çarkı döndüğünce hava trafiği çarkı da arz/talep çark parametrelerince dönecektir. Bununla ilgili bir görsel çalışması Şekil 3.4’te görülmektedir.



Şekil 3.4 : “Ekonomi” ve “Hava Trafiği”nin ilişkisi için bir önerme

Aynı şekilde hava trafiğinin artışı ters yönlü bir etki de yapabilir. Örneğin artan yolcu trafiği koltuk sayısını arttırma yönünde etkiler oluştursa, bu etkiler sonrasında ekonomide yeni uçaklar üretilmesi ve zaman içinde artan bu üretimler yeni araştırma ve geliştirme faaliyetlerinin yapılmasına imkân sağlayacaktır. Böylece daha fazla yolcu taşıyan uçakların artması ya da havayolu dışında alternatif ulaşım yöntemlerinin ortaya çıkması mümkün olur. Böylece hava trafiği üzerinde azalan bir etki oluşabilir. Arz talep çarkı basit olarak doluluk oranlarının artması ile birlikte karlılığın artması ile şekillenir. Ardından ekonomik güven endekslerinin artması ile birlikte koltuk sayılarının artmasına sebep olur. Koltuk maliyetleri, talebi sabit tutabilirse artış arz artışını da getirecek dengeyi oluşturacaktır. Uçuş yönetmelikleri ve yolcu ihtiyaçları uyduğu sürece çarkların dönmesi devam edecektir.

Maliyetler aynı zamanda enerji gibi ana kalemlerdeki artışlardan direk olarak etkilenmektedir. Bu etkiler ancak ve ancak ekonomik rahatlık mümkün ise katlanılabilir olmaktadır. Önerme çok daha derin incelemelerle süslenebilir. Ancak asıl konu olan enerjinin kullanılması ya da enerjinin verimli kullanılması ile kontrol altında tutulabilecek çevresel etkiler bu noktada şekillenmektedir. Çevresel etkiler bu noktada akılcı çalışmalar ile kontrol altında tutulabilir.

Enerji tüketimleri ana kalemleri uçaklar ile ve onları destekleyen yolcu binalarında oluşmaktadır. Bu binalar çok genel olarak aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- Uçak hareketleri,
- Yolcu terminal binaları,
- Tali binalar,
- Yer hizmetleri,

Bu başlık altında tartışılması ve açıklığa kavuşturulması beklenen konu hava trafiği ile birlikte oluşacak ek enerji tüketimleridir. Ek enerji tüketimi olarak görülebilecek konu normal operasyonun dışında oluşan ve tahmin edilemeyen işletme etmenleridir. Bu konudaki genel kapsam gecikmelerdir.

- Karşı havaalanındaki sorunlar dolayısıyla kalkılacak havaalanından kalkılamaması,
- Kalkılacak havaalanındaki işletme sorunları dolayısıyla kalkış yapılamaması,
- Teknik sorunlar nedeni ile kalkış yapılamaması,
- İniş havaalanı dolayısıyla inişte yaşanacak gecikmeler,

- İnişin başka havaalanına yapılması olarak sıralanabilir.

Yukarıdaki maddelerden ilk ikisi kalkılacak havaalanındaki çevresel etkileri arttırmaktadır. Çevresel etkiler uçağın yolcuları ile motorun çalışır olarak beklemesi açık olarak en baskın etkiyi oluşturacaktır. Bekleme süreleri ile yapılan bir araştırmada Bauerle [68] iki pist kullanmanın önemi belirtilerek saat başına düşen uçak trafiğinin 50 sayısından 70 sayısına çıkarmaya çalışıldığında uçak başına beklemenin 1 dakika sürelerinden 15 dakikaya çıktığını ve 75 uçağa çıkıldığında sürenin 100 dakika ya da daha uzun kadar uzayacağını hesaplamıştır. Teknik nedenlerle de olsa diğer havaalanlarına iniş noktasında kalkamayan uçakların zaten sınırda olan bekleme sürelerini artan şekilde arttıracığı muhakkaktır. Rötarların ve kapasite planlarının enerji açısından çevresel etkileri arttırmadaki etkisi göz önüne alınmalıdır.

Bununla birlikte Evans [69] havaalanlarının en büyük sorunlarından birisinin havaalanı kapasite kısıtlarının olduğunu belirtmektedir. Bu şekildeki bir problemin çözülerek havaalanlarında %25 oranında kapasite artışı yapılmasının mümkün olduğunu ve daha fazla emisyon üretilmesinin engelleneceğini belirtmektedir. Havaalanı sektörünün 1970’li yıllardan günümüze ortalama seviyede %7 büyüdüğü ve birkaç on yıl boyunca %5 seviyesinde büyüyeceği düşünüldüğünde havaalanında kapasite artışının emisyon oluşumunda ve çevresel etkilerin artmasında yapacağı etkinin azaltılması için kapasite planlamaları ve kapasite sorununu daha iyi çözecek işletme çözümlerine gidilmesinde kesinlikle yarar vardır.

Diğer iki maddede bahsedilmekte olan başka havaalanına yönlendirilme ya da havaalanına inme ile ilgili gecikmeler 3000 feet kabul edilen ortalama karışık hava sahası yüksekliği dolayısıyla hesaba katılmayacaktır. Benzer bir kural ICAO manuelllerinde [2] kalkış ve iniş ile ilgili kabullenmelerde de görülebilir; bu kural’a göre minimum yükseklik olarak 3000 feet verilmiştir. Bu şekilde acil durumlar hariç olmak üzere uçakların bu irtifaların çok üzerlerinde uçtukları ve son yaklaşma ile kalkış durumlarında bu yükseklik sınırlarının üzerinde uçtukları bilinmektedir.

İlk üç maddede, bir başka tanımlama ile kalkış havaalanlarında çevresel etkiler oluşmaktadır. Varış havaalanında çevresel etkiler oluşmamaktadır kabullenmesi uygun olacaktır. Başka bir deyişle varış havaalanlarında normal uçuş emisyonlarının dışında bir çevresel etki oluşmamaktadır.

Yolcu sayısının artması ve azalması birçok etkene bağılı olabilmektedir. Bu etkenler arasında siyasi kararlar olabildiğı gibi, iklimsel şartlar, ekonomik şartlar, yakıt masraflarının artması dahi şekillenmesi ile ilgili izler bırakabilmektedir. Bu anlamda Avrupa'nın en yoğun olan 100 havaalanının 2009 ile 2014 yılları arasındaki yolcu sayıları EK-1'de incelenmiştir [70]. Bu incelemenin sonrasında toplamda 6 yıl süren bir periyotta 109 havaalanı bu kapsama alınmıştır.

109 havaalanının 6 yıllık incelemesi içerisinde yıllık olarak en yüksek artma oranı olarak 2009 ile 2010 yılları karşılaştırıldığında % 71,69 oranı ile İstanbul Sabiha Gökçen Havaalanı göze çarpmaktadır. Bu rakama en çok yaklaşan havaalanı ise Romanya Bükreş Henri Coanda Havaalanı % 41,01 ile 2001 yılı ile 2012 yılı arasındaki artış sırasında olmuştur.

Bahsi geçen 109 havaalanı içerisinde ise yolcu sayıları anlamında en çok yüzdesel kaybı veren havaalanı ise İngiltere Liverpool'da John Lennon Havaalanında % 15,00 ile 2011 ile 2012 rakamlarının karşılaştırılması sonrasında bulunmuştur. Bunu takip eden ikinci en hızlı düşüş ise İspanya Sevilla'da San Pablo Havaalanında % 14,08 ile gerçekleşmiştir.

Tüm havaalanlarının ortalama artış ve düşüşlerinin ortalaması alındığında yıllık bazda % 7,97 ile % 1,83 aralığında artışlar görülmüş ve sürekli bir artışın olduğu anlaşılmaktadır. Bu artış grafiğinin standart sapması ise 2,12 puan olarak not edilebilir. Aynı dönemlerde Türkiye'den en çok yolcu yüküne sahip olan havaalanlarını İstanbul Atatürk Havaalanı, Antalya Havaalanı, İstanbul Sabiha Gökçen Havaalanı, Ankara Esenboğa Havaalanı, İzmir Adnan Menderes Havaalanı, Adana Şakirpaşa Havaalanı ve Muğla Dalaman Havaalanı oluşturmaktadır. Bu havaalanlarının yıllar arasındaki artış oranları incelendiğinde ise % 19,56 ile 2009 ile 2010 yılları arasında olmuştur. Bununla birlikte en düşük artış ise % 10,67 ile 2013 yılı ile 2014 yılı karşılaştırıldığında görülmüştür. Bu noktada Türkiye'deki havaalanlarının en yüksek etkisi İstanbul'da bulunan iki havaalanından kaynaklandığı tespit edilebilmektedir. Bu süre içerisinde artış sürekli devam ettiği gibi en düşük % 19,28 büyümüş ve en düşük büyüme oranı % 15,42 olarak tespit edilmiştir.

Bu rakamların değişim oranlarındaki tüm etmenleri tek bir bakışta çözmek mümkün değildir. Örnek olarak Türkiye alındığında ekonomik gelişmenin ve 1990 yıllarından başlayarak arttırılmaya çalışılan milli gelir için belirlenen politikaların olumlu

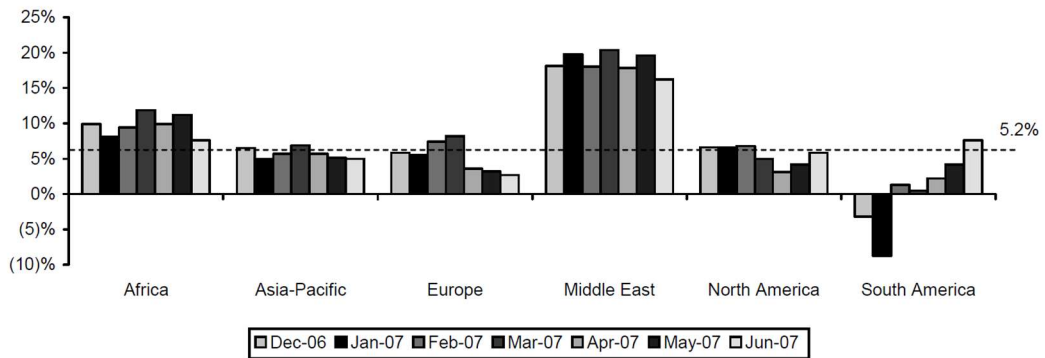
olarak sonuçlanması ile birlikte havayolu trafiğine talep artmış, havaalanı inşaatları ve özelleştirme ya da kiralama modelleri ile hizmet istenilen noktaya gelmiş ve yüksek artış oranları görülebilmektedir. Bu durum politik ve ekonomik iyileşmelere bağlanabilir ancak, turizm hedeflerinin uygulanamaması ya da 1993 yılında yaşanan Irak – Amerika körfez savaşı zamanındaki gibi bir bölgesel krizin oluşturacağı etmenler dolayısıyla havayolu trafiğinde bir durgunluk gözlenebilir. Diğer bir tarafta ise düşen trafik etmenlerinin havayolu trafiğinin oluşması için gerek şartlardan birisi olan yolcu davranışları ve etkileri görülebilir. Bölgesel havaalanı yapılması başka bir havaalanının kapanması ile sonuçlanabilir.

Bu durum basit olarak aşağıdaki dört madde altında incelenerek etkileri değerlendirilebilir.

- Ekonomi,
- Turizm,
- Politika ve
- Planlamadır.

3.4.1 Bölgesel ve ekonomik yolcu etkenleri

Havaalanları vasıtası ile yapılan havayolu yolculuklarındaki en büyük unsur maliyetlerin kontrolleridir. Maliyet kontrolleri ile birlikte havayolları geniş kitlelere bilet satabilir ve böylelikle kilometre başına yolcu karlılığını (RPK – Revenue per Kilometer) ve yolcu taşıma oranını (PLF – Passenger Load Factor) etkilemeye başlayacaktır. Havayolu trafiğinin gelişimi ile ilgili ortaya konulmuş olan bir Bernstein Analizi Şekil 3.5’te görülmektedir [71].



Şekil 3.5 : 2006 ve 2007 yılları için trafik tahminleri

Bu grafikte bazı bölgelerin daha fazla büyüme gösterecekleri tahmin edilirken bazı bölgelerin ise daha az ya da gerileyen büyümeler göstereceği fark edilebilir. Bölgesel olarak havayolu tercihi dolayısıyla havaalanı kullanımı artışı net olarak ekonomik göstergeler ile alakalıdır. Bölgesel yatırımların artışı, ekonominin hızlanması, büyüme artışları bölgesel artışların genel nedenidir. Bunun dışında bölgesel düşüşler ise ekonomik kararsızlık, savaşlar gibi durumlardan etkilenmektedir.

Savaşlar, politik durum değişiklikleri önemli kriterlerden birisi olan havacılığın en yaygın olarak kullanıldığı turizmi etkilemektedir. Turizm bu anlamda ekonomiyi etkilediği gibi ekonomik durumdan da etkilenmektedir. Bu etkiler sonuç olarak politik karmaşanın azalması ile birlikte esas olarak üzerinde durulan güven endeksi ile düzelecektir. Ziyaret edilen ülkelerin kültürel birikimleri, coğrafi zenginlikleri ve sosyal ekonomik cazibeleri turistik olarak bir çekim noktası oluşturacağından dolayı bölgesel olarak trafik miktarını belirli bir oranda sabit tutacaktır.

Ekonomik faktörlerin havacılık üzerindeki bir etkisi de havayollarının sunmakta oldukları hizmetler ile alakalıdır. Bu hizmetler havayollarının enerji maliyetlerini artırır niteliktedir. Sonuç olarak havayollarının sunmuş olduğu bir hizmetteki artış uçak üzerindeki ağırlık etkisini dolayısıyla ek ağırlığın varış istasyonuna kadar taşınması için ek yakıt teminini de gerektirecektir. Bölgesel trafik artışları havaalanları için enerji anlamında bir artışı beraberinde getirecektir.

3.4.2 Havaalanının mimari özellikleri ve enerji etkileri

Havaalanlarında enerji tüketimi binalar açısından ele alındığında bina içerisindeki üç nokta önemli hale gelmektedir. Bunlar aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- Binanın ısıtma, soğutma ve havalandırılması,
- Binanın aydınlatılması,
- Bina içerisindeki otomasyon sistemleri

Binanın mimari durumu bu sıralananlardan ilk iki maddeyi direk olarak etkileyebilmektedir. Bina içinde seçilecek olan malzemelerin ısıl geçirgenlik katsayılarının uygunluğu enerji tüketiminin azaltılmasına, aydınlatma ile ilgili çözümler ise performanslı aydınlatmanın ve kullanılmasına ihtiyaç duyulan enerjilerin azaltılmasına imkân tanıyacaktır. Binaların mimari olarak tasarımında kullanılacak faktörlerden birisi gün ışığının binanın içerisine alınmasıdır. Bu durumun sıcak

bölgelerde radyasyon etkisi dışında ışığın bina içerisine sokulması önemlidir. Bina içerisindeki sera etkisi binanın tekrar soğutulması için enerji tüketimini ortaya çıkaracaktır. Bu sebeple binaların ısıtma, soğutma, havalandırma ve aydınlatmalarının bir bütün çerçevesinde incelenmesi önemlidir.

Bu konuda hizmetlerin sunulduğu ve havaalanlarında kullanılmaya başlanılan bazı ölçüm, puanlandırma ya da sıralama yöntemleri kullanılmaktadır. Bunlardan popüler olan üç tanesine Çizelge 3.3'te yer verilmiştir.

Çizelge 3.3 : Üç popüler çevresel değerlendirme

LEED		
Adı	:	Leadership in Energy and Environmental Design
Açıklaması	:	Binaların, yaşam projelerinin tasarımı, yapımı ve bakımı ile işletilmesine yönelik yeni bir düşünme sistemi geliştirme ve bunu yönetme için kullanılan bir puanlama sistemidir.
Adresi	:	http://www.usgbc.org/leed
BREEAM		
Adı	:	Building Research Establishment Environmental Assessment Method
Açıklaması	:	Projelerin, altyapıların ve binaların master planları için süredürülebilirlik değerlendirmelerini yapan ürün ömrüne yönelik bir yöntemdir.
Adresi	:	
EnEv		
Adı	:	Energy Conservation Regulations (EnEV)
Açıklaması	:	EnEv uygulamı tabanlı, birincil enerji sarfiyatının hesaplandığı zorunlu enerji çerçeve kullanıldığı bir kodu belirler.
Adresi	:	http://www.gbpn.org/databases-tools/bc-detail-pages/germany

4. HAVALİMANLARINDAKİ ENERJİ TEMELLİ ÇEVRESEL ETKİLERİN METODOLOJİK İNCELENMESİ

4.1 Kabuller

Havaalanı yerleşkelerinde bulunmakta olan binalar, bu binalar dolayısıyla yolculuklarına başlayan yolcular ve bu yolcuları taşıyan uçaklar çözülmesi amaçlanan problemin temel parçalarıdır. Bu problemin parçaları derinlemesine irdelendiğinde sorunun bir yöntem ile çözülebilmesi için sınırların belirlenmesi gerektiği gibi havaalanında yapılmakta olan hesapların dayandığı kabullerin de aktarılması önemlidir. Bu kabullere göre tasarlanan yapının bulguları bu kabullerin değişmesi ile farklı bir şekilde ortaya çıkabilir.

Havaalanı terminali binası içerisinde yapılmakta olan enerji tüketimlerinin, apronda uçaklara hizmet veren araçların, uçakların pist başına gitmek için yaptıkları yer manevralarının çevresel etkilerini ortaya koyabilmek için kurulu olarak bulunan güçlerin belirli kullanım oranlarına göre şekillendiği ya da uçakların pist başı yapmak için belirli bir ortalama mesafe kaydettikleri kabul edilmektedir. Temel belirlemeler bu kabullere göre yapıldıktan sonra havaalanına özel hesaplamalarda daha doğru bilgiler girilebilir. Ancak bu bilgiler uçak başına değil yine ortalama bir mesafeye göre yapılacaktır. Bununla birlikte havaalanlarında kullanılmakta olan APU cihazının etkisinin kilometre ve ton başına hesaplanmış olan mPt bilgisinin içinde olduğu kabul edilmiştir. Bu bilgi için ayrı bir hesaplama yapılmayacaktır.

Çevresel etkilerin belirlenmesini ortaya koyan yöntemin çıktılarını tespit için kullanılacak metodun yapısı gereği uçakların ortalama ağırlıklarının kullanılacağı öngörülmüştür. Böylece hesaplama yönteminde genel durumlar ortaya koyulmuş ve böylece bu genel duruma göre çözüm elde edilecektir. Aynı şekilde havaalanına özel olarak doluluk oranlarında değişiklik ve buna paralel olarak çevresel etkilerdeki değişiklik gözlemlenebilir.

Yukarıda bahsedilen durumun dışında yöntemin sunulmasında belirleyici olan hava trafiğinin şekillenmesi, bölgesel trafiğin ve bölgesel ekonomik, turizm gibi etkenlerin uçuşları nasıl şekillendirdiği de bu kabullerin yapılması için birer ayırıcı bilgi olmuştur. Bir başka önemli etken ise havaalanının mimari özellikleri olmaktadır.

4.2 Çevresel Etkilerin Tespiti

Havaalanlarında enerji tüketimlerinin odakları amaç olan yolcunun bir noktadan başka bir noktaya gidebilmesine hizmet edecek şekilde hizmetlerin sunulduğu binalar ve havaalanı açısından hizmetin sonlandığı uçaklar ile sınırlıdır. Bu hizmetler düşünüldüğünde uçağın izafi hızı sağlayabilmek ve havada tutunabilmesi için ihtiyacı olan hıza ulaşmasını sağlayan ivmelenmelerin ve hareketlerin oluşturulması ile yolcuların hizmeti almak için dolaylı ya da direkt olarak kullandıkları binaların içerisinde yapılmakta olan faaliyetler dolayısıyla olmaktadır.

Enerji temelli çevresel etkileri bu iki odak altında aşağıdaki noktalarda incelemek mümkündür.

- Uçak sayısına bağlı olarak – Uçak hareketleri
- Uçak sayısına bağlı olarak – Uçak servisi dolayısıyla
- Günlük temelde – Terminal binası enerji tüketimleri
- Günlük temelde – Tali binaların enerji tüketimleri

Bu gruplar arasında incelenecek enerji tüketiminin dışındaki faaliyetler ya da etkenlerle oluşacak çevre etkileri de bulunmaktadır. Bahsi geçen bu önermenin Bu konu ile ilgili detaylı açıklamalara 4.2.1 Genel Sorunlar başlığı altında yer verilmiştir. Söz konusu çevresel etkiler içerisinde detaylı olarak incelenmesi gereken önemli konulardan birisi de enerji sebebiyle oluşan etkilerin ortaya konulmasıdır. Bir kütlenin içerisine aldığı iki yüz ve daha fazla yolcu ile yanlarında bulunan ağırlıkları, uçağın kendi ağırlığını, uçak içerisinde bulunan ikramları donanımları, ayrıca bulundurduğu yakıtın ağırlığı düşünüldüğünde uçuşu nicelik olarak çok yoğun hidrokarbon tüketimiyle mümkün olabilmektedir. Bununla birlikte Enerji dolayısıyla oluşacak etkileri önemli kılacak olan kriterlerden birisi enerjinin maddi bir karşılığı olmasıdır. Bu işletmelerin maddi yüklerinin oluşmasını ve proje dolayısıyla farkına daha iyi şekilde varılacak olan büyümeye başlayan ekonomiyi ilgilendiren bir durum oluşturacaktır.

Bununla birlikte enerjinin kullanılması ile birlikte oluşan bir çevresel etki ise kullanımın sonrasında oluşacak olan emisyon değerleridir. Emisyon değerlerinin oluşması ile birlikte toplumun diğer nesillerine bırakılacak bir sera gazı etkisi ve bağlı olarak ikincil etkiler ortaya çıkabilecektir. Bunlar, asit yağmurları, sıcaklık artışı, iklimsel değişiklikler, tarımsal etkiler, ekolojik sorunlar gibi çoğaltılabilir.

Enerji temelli çevresel etkilerin değerlendirilmesi ve sonrasında yapılacaklar konusunda bir önerme oluşturulabilmek hedeflenmektedir. Bu anlamda kaba olarak kabullenmeler şunlar olacaktır.

- Uçakların sebep olduğu enerji sarfıyatı,
- Yolcuların oluşturduğu enerji sarfıyatı,
- Yolculara verilen hizmetlerin oluşturduğu enerji sarfıyatı

Ancak uçakların dahi yolcular için inip kalktığı, aynı zamanda tali olarak amacı yolculara hizmet etmek amacıyla aydınlatma ve ısıtma ihtiyacı duyan bürolar ile yolcuların aydınlatma ile ısıtma soğutma ihtiyacını birbirinden direk olarak ayırmak çoğu zaman mümkün olmamaktadır. Yolculara daha iyi hizmet verebilmek için ek olarak inşa edilen binaların, terminallerin ve idari binaların tek bir mantık ile inşa edilmediği ve kapasiteye direk bağlı olarak planlanmadığı yapılan incelemelerle kolaylıkla anlaşılmaktadır. Bunun sebepleri hava ulaşımının çok kolaylıkla büyüüp küçülebilmesidir. Çok sayıda belirlenemeyen değişkenin olduğu bir durumda ilgili hesaplamanın doğru yapılabilmesi ve bir önermede bulunulabilmesi için bazı kabullenmelerin yapılması gerekmektedir.

Bu anlamda enerji açısından yapılmaya çalışılan tespitler bu kabullenmelere göre doğru sonuçları bulmaya yöneliktir. Yukarıdaki üç maddede yapılacak kabullenme yolcu başına düşen enerji temelli etkiyi bulmak için yeterli olacaktır.

4.2.1 Genel sorunlar

Havaalanları yapıldıkları bölgelerde birçok insanın geldiği ve insana hizmetin nitelikleri ve nicelikleri dolayısıyla çevreye etkilerin olduğu büyük yapılardır. Bu anlamda bu yapılar projelendirilirken bir çevresel etki değerlendirmesi yapılması önemlidir. Çevresel etki değerlendirmesinde öncelikle, mevcut projenin özelliklerinin belirlenmesi ve bir fayda analizinin yapılması beklenir. Bununla birlikte proje için seçilen sahanın konumu ve çevresel özelliklerinin belirlenmesi de gerekir. Sonrasında havaalanı gibi bir büyük proje için hava trafiğinin ve dolaylı olarak çevresel etkilerin zaman içerisinde artması konuları değerlendirilir.

Proje için seçilen yerin konumunda bulunan diğer etmenler olan hassas bölgelere göre değerlendirilmesi, askeri yasak bölgelere göre değerlendirilmesi, uçuş için mânia oluşturup oluşturmadığının incelenmesi, proje mülkiyet değerlendirmesi ve projenin

yapıldığında ulaşımın nasıl sağlanacağı konusunda bilgilerin belirlenmesi gerekir. Bu belirlemeler sonrasında sırasıyla,

- Projeden etkilenecek alanın kirlilik yükü,
- Proje alanının mevcut jeolojisi,
- Zemin analizleri,
- Proje alanının depremsel özellikleri,
- Proje alanının diğer doğal afetlere karşı durumunun incelenmesi,
- Proje alanının hidro-jeolojik özellikleri ile hidrolojik özellikleri,
- Projenin içme ve kullanma suyu kaynaklarına olan etkisi,
- Bölgenin mevcut iklimsel özellikleri ve bunlara etkisi,
- Özellikle ortalama rüzgâr etkilerinin incelemeleri,
- Proje alanında yaşamakta olan doğal yaşamın nasıl etkileneceği konusunda incelemeler,
- Ekosistem yapısı ve mevcut orman alanlarının nasıl etkileneceği konularının incelenmesi
- Proje alanı etrafında bulunan tarım ve hayvancılık sahalarının nasıl etkileneceğinin incelenmesi,
- İnsan nüfusunun nasıl etkileneceği

gibi noktalar etraflıca araştırılarak ÇED Raporuna yazılır [72]. Genel olarak havaalanları çevresinde genel çevre problemleri aşağıdaki noktalardaki geliştirmeler yapıldığında çözülmeye başlanılacaktır.

- Hava kirliliğinin azaltılması çalışmaları,
- Çevre bilinci yüksek yönetim anlayışlarının benimsenmesi,
- Toprak sahaların korunması,
- Havaalanı ulaşımının çeşitlendirilmesi,
- Sel suyu ve felaket senaryolarının projelendirilmesi,
- Isı odakları oluşturacak tasarımların düzeltilmesi,
- Doğal ortamın dengesinin korunması ve gece karanlığının sağlanması,
- Su kullanımının azaltılması,
- Atık su arıtması ve atık suyun verimli değerlendirilmesi,
- Katı atıkların yok edilmesi ve denetlenmesi,
- Yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelim,

- Enerji performansının en iyileştirilmesi,
- Efektif ölçme ve değerlendirme,
- Geri dönüşüm kullanımının arttırılması ve özendirilmesi,
- Mevcut kaynakların kullanımına devam edilmesi,
- Malzemelerin tekrar kullanımı,
- Uzun ömürlü malzeme kullanımı,
- Endüstriyel ormanlardan elde edilmiş ağaç kullanımı,
- Kaynak kullanımı için uzun vadeli planların gözden geçirilmesi,
- Çalışan memnuniyeti için iç ortamın kalitesinin arttırılması,
- İşletme ve inşaat için seçilecek araçların çevre duyarlı ve düşük gaz salımlı olması ve
- Eğitimler verilmesi ve çevre bilincinin arttırılmasıdır.

Genel çevresel etkiler değerlendirildiğinde yukarıda sunulmuş olan örneklerin her birinin uzun vadeli planlamalar ile birlikte sabit hale geleceği ve bu şekilde her tür hizmet ve maddi üretimlerin sonucu olarak çevresel etkilerin en aza indirilebileceği düşünülmelidir. Özellikle bu maddelerin birer birer çözülmesi ile daha ileri hedefler konulması gündeme gelebilir. Bu hedefler sıfır karbon salımlı havaalanları gibi hedefler olabilir. Norveç'te Oslo havaalanının sıfır emisyonlu bir havaalanı olabilmesinin ekonomik ve çevresel olarak uygulanabilir olduğu konuşulmaktadır [73]. Bununla birlikte havaalanları için uzun zamandan beri karbon nötr etiketi ile ilgili Airport Council International (ACI – Uluslararası Havaalanları Konseyi) tarafından verilmeye devam edilmektedir [74].

4.2.2 Çevresel etkilerin hesaplanması için seçilecek yöntem

Çevresel etkileri hesaplamak için uçak, araç, doğalgaz çevrim santrali, soğutma kuleleri, elektrik motoru, otomasyon cihazları, elektrik lambası gibi birçok cihaz için etkilerin ortak bir noktada toplanabileceği bir yöntem bulunması zorunludur. Ayrıca birimlerin birbirine çevrilirken bunların birbirine hangi şekilde eşitleneceği konusu da önemlidir. Bu verinin kullanılması ve sonrasında hesapların tamamlanması ile anlamlı bir bilgi elde edilmesi gerekmektedir.

Bu anlamlı bilgi aynı zamanda kolaylıkla kullanılabilir bir veri olmalıdır. Havaalanı başına çıkacak bir yıllık devasa büyüklükteki verinin bir anlamı olmayabilir.

Bu bilgileri uçak başına bir büyüklüğe ya da yolcu başına bir büyüklüğe ya da gün başına bir büyüklüğe indirebilmek önemli olacaktır. Bu anlamda öncelikle gaz emisyonları için bu bilgiler değerlendirilebilir.

En basit ifadesi ile toplam emisyonun hesaplanması birim zamanda oluşan gaz miktarını tanecik miktarı ya da tanecik miktarını daha anlaşılabilir kılmak için ağırlık olarak ifade etmekten geçer. Bu konuda Mazahari uçak motorları için aşağıdaki denklem ile bunu ifade edebilmiştir [75].

$$\sum (x) = ER(x)t = NFF_m^{yakıt} EF(x) \quad (4.1)$$

Denklem 4.1'deki indisler aşağıdan anlaşılabilir.

$E(x)$: Toplam emisyon

$ER(x)$: (x) emisyonunun oranı ya da kg s^{-1} olarak parça sayısı

N : Toplam uçak motoru sayısı

$F_m^{yakıt}$: Toplam yakıt kütle yakış oran sayısı (kg s^{-1} olarak parça sayısı)

Yukarıdaki bilginin bir elektrik motorunun etkisinin ölçülmesi amacı ile bir terminal binasına uygulamak mümkün olmamaktadır. Aynı zamanda uçak motorundan çıkan CO_2 dışındaki çevrimler ile CO_2 eşleniği değerine çevrilmesi gerekmektedir. Bununla birlikte elektriksel tüketimleri bu bilgiye çevirmek, doğalgaz ile ilgili harcamayı bu bilgiye çevirmek ve apronda açığa park etmiş olan uçağın elektrik ihtiyacını karşılayan Yer Güç Birimi (GPU – Ground Power Unit) için dizel yakıtının da karşılıklarını ortak noktaya çekmek gerekmektedir.

Yapılan araştırmalar sonrasında böyle bir çalışmanın ortak bir noktada yapılabilmesi için ihtiyaç duyulan bir hesaplama yönteminin Eko gösterge hesaplaması olduğu görülmüştür. Eko göstergeler boyutsuz veri sunarak bir emisyon tipinin başka bir emisyon tipine döndürülmesine gerek kalmadan sonuca ulaşılmasını sağlamaktadır. Hesaplamaların daha fazla karışmaması ve oldukça büyük veri tabanlarında sonuca ulaşma hatalarından uzaklaşmak için Eko göstergeler ile hesap yapılması uygun görülmüştür.

4.2.3 Eko göstergelerin yöntem için kullanılması

Çevresel etkilerin oluşumu ve bu etkilerin analizi konusunda yapılmakta olan incelemelerden birisi yaşam döngüsü analizidir. Bu analiz bir malzemenin cevher halinden ürün haline dönüşmesine, ardından kullanılmasına ve yaşam ömrünü tamamladığı noktada yok edilmesine ya da geri dönüşümüne kadar geçen tüm evrelerdeki çevresel etkileri inceleyen kavramdır. Bu kavramın sayısal karşılıklarını bulmak için geliştirilmiş yöntemlerden birisi de Eko göstergelerdir. Bu göstergeler, sürdürülebilir bir sistemin oluşturulması için her endüstriyel sektörün kendi faaliyetleri dolayısıyla ortaya çıkan tüm sonuçları belirleyebilecek boyutsuz sonuçlar sunar. Ürün odaklı çevresel yönetim sistemleri (POEM – Product Oriented Environmental Management System) hükümet desteğini de alarak endüstriyel şirketlerin üzerinde çalışmaya başladıkları bir sistem olarak bahsedilen önemli görevleri yapmaya yardımcı olmaktadır. Bu sistemler her ürünün her bileşenin yaşam döngüsünü temel alarak bunların her birini sonunda bir araya getirerek çevresel etkileri hesaplamaya çalışmaktadır.

Eko gösterge sistemi ise yaşam döngüsü tanımlarını ağırlıkları ile hesaplayan bir yöntemdir. Eko gösterge 95 sistemi tasarımcılara bu konuda yardımcı olmaktadır. Ancak tasarımcıların bu uygulamayı kullanırken aynı zamanda çevresel etki uzmanlarına (çevre mühendisleri ya da ilgili uzmanlar ile) da danışmaları gerekebilir. Eko gösterge 99 yöntemi ile bazı noktalar daha da karmaşık hale gelmiş olsa bile daha da kolay hesap yapılabilecek bir yöntem bilim geliştirilebilmiştir.

Eko gösterge hesaplamaları Hollanda ve İsviçre hükümetleri tarafından desteklenerek RIVM yani Ulusal Halk Sağlığı ve Çevre Enstitüsü tarafından geliştirilmiş bir katılımcı proje olarak hayata geçirilmiştir. Bu proje ile Eko göstergeyi hesaplayan bir puanlama sistemi oluşturulmuştur. Bu puanlamaları çetelede göstererek hedef sonuç hesaplanabilir. Tasarım süreçlerinde Life Cycle Assessment (LCA – Yaşam Ömrü Değerlendirmesi) hesaplanması noktasında iki adet önemli prensip bulunmaktadır. Bunlardan birisi parçaların olabildiğince küçük noktalara bölünmesi gerekmektedir. İkincisi ise kolay açıklanabilir olmalıdır.

Bununla birlikte zarar ile ilgili olarak aşağıdaki noktalarda da hesaplamalar yapılabilir.

- Havaalanı kurlumu zamanında yapılan işlerin etkileri,
- Havaalanına gelen yolcuların havaalanı dışı ulaşımalarının etkileri,

- Havaalanında bulunan yeni geliştirme işlerinin etkileri

Bu etkilerin hesaplanması başka proje konuları olarak değerlendirilebilir

Havaalanlarında Eko göstergelerin işletme için de kullanımı bir fırsat doğurmaktadır. Boyutsuz olarak hesaplanabilen bu değerler ile etkinin büyüklüğü, bir elektrik üretim süreci, ya da havaalanında bulunan bir otomasyon sistemi olan asansörün kullanımı ya da bir uçağın piste ulaşmak için yerde gidişini aynı noktada buluşturabilir. Aynı zamanda bu bilgilerin tüm hayat döngüsü sürecini de kapsamı dolayısıyla, hesaplar çevre etkisinin ne durumda olduğunu daha da iyi gösterecektir. Eko göstergeler boyutsuz değerler, gerçek çevre etkisinin gösterilmesi ve değerlerin birbirine çevrilmesi açısından bütün havaalanı yerleşkesinin etki değerlerinin ortaya konulması açısından bir fayda ortaya çıkaracaktır.

Eko göstergeler değerleri, malzemeler, üretim süreçleri, taşıma süreçleri, enerji üretimi ve yok etme/geri dönüşüm süreçlerini kapsar. Malzemeler için kilo başına mili point ya da mPt olarak değerler tanımlar. Üretim süreçlerinde ise üretimin tipine bağlı olarak, metre, metre kare, kilo gibi birim değerler başına mPt olarak değerler tanımlar. Ulaşım ile ilgili olarak ise kilometre ve metrik ton başına mPt değeri bulur. Enerji üretiminde ise elektrik ya da ısı enerjisi birimi başına mPt değeri belirtir. Elektrik enerjisinde kW's değeri örnek olarak verilebilir. Malzemelerin yok edilmesi ya da geri dönüşümü için ise yine kilogram başına bir mPt değeri sunulur.

Yöntemin anlatılması için sunulan basit bir örnekte bir kahve makinasının bütün ömrü incelenmiş ve sonuç açıklanmaya çalışılmıştır. Buna göre kahve makinesi için girdiler aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- Kahve çekirdekleri,
- Filtre için kahve,
- Polisten enjeksiyonu,
- Alüminyum,
- Çelik,
- Cam,
- Su,
- Elektrik Enerjisi.

Yukarıdaki sıralanan maddelerden Polisten enjeksiyonu, alüminyum, çelik ve cam, kilogram başına üretim için etkileri hesaplanmış şekilde üretim değerlerini

oluşturur. Aynı şekilde kahve çekirdeği, kâğıt, su ve elektrik enerjisi ise kullanım etkileridir. Üretimin sonucu ve işletim süresi olarak kabul edilebilecek olan on yıllık etkilerin tamamının hesaplanması ile kahve makinesinin üretim ve işletim etkilerinin tamamı tespit edilebilir. Ancak tüm hayat döngüsünün hesaplanabilmesi için kahve ve kâğıt filtre çöplerinin durumu ile aynı zamanda kahve makinesinin yok edilmesi ya da geri dönüşümünün etkilerinin de ortaya konulması gerekir. Böylece bütün yaşam döngüsü etkileri ortaya konulabilmiş olacaktır. Bu etkilerin içilen kahve bardağı sayısına bölünmesi ile bir kahve bardağı dolusu kahve için çevresel etkiler hesaplanabilir.

Bu yaklaşımdan yola çıkılarak, havaalanının bütün bileşenleri için enerji etkilerini temel alarak bir yaklaşım geliştirilebilir. Böylece havaalanı faaliyetleri için yolcu başına, uçak başına ya da gün başına bir etki değerlendirme yapabilmek mümkün olabilmektedir. Bu uygulamanın kullanılarak havaalanlarındaki işletme faaliyetleri için geliştirilmiş bir yöntem olan MDAS yöntemi Başlık 4.24 altında tanıtılacak ve hesaplamaların sonuçları ilerleyen bölümlerde aktarılacaktır.

4.2.4 Enerji temelli çevresel etkilerin değerlendirilmesi ve MDAS Yöntemi

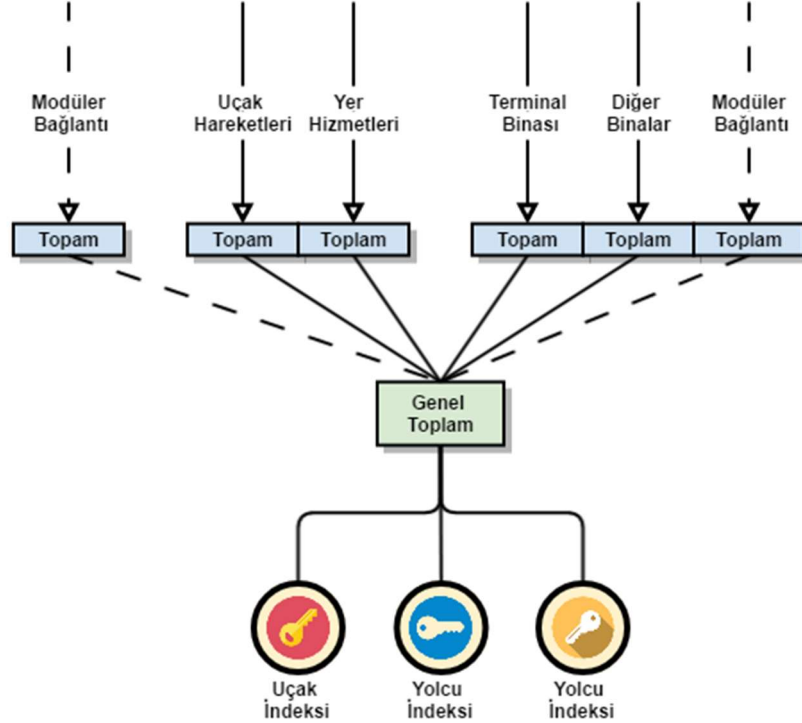
MDAS yöntemi Eko göstergeler kullanılarak havaalanında bulunan enerji temelli çevresel etkileri sınıflandırmak amacıyla tasarlanmış bir yöntemdir. Ana amacın havaalanı kampüsü alanında kalan enerji tüketimleri ile, uçakların kalkış ya da iniş süreçlerinde 3000 feet yükseklik sınırına erişildiği noktanın sınırına kadar oluşan tüm enerji etkilerini hesaplamayı hedeflemiştir. MDAS “Sürdürülebilir Havaalanları” fikri ve teriminden İngilizce olarak türetilmiştir. Açılımı ise Methodology and Definitions for Airport Sustainability olarak belirlenmiştir. Bugüne kadar kullanılmamış bir yöntem ile yukarıda tanımlanmış sorunu çözmeyi amaçlamış olduğundan dolayı tanımlama kavramı da yöntem adı içerisine katılmıştır.

Yapılan araştırmaların sonucunda havaalanı bünyesinde oluşan etkilerin iki ana bölüme ayrılması ile hesaplamaların yapılabileceği anlaşılmıştır. Bu bölümler uçak sayısına bağlı etkiler ile uçak sayısından bağımsız olarak günlük işletme çalışmaları vasıtası ile oluşan etkilerdir. Bu etkileri ise kendi arasında iki alt kırılımda toplamak mümkündür. Bu alt başlıklar uçak başına etkiler açısından bakıldığında uçağın iniş, kalkış ve taksi hareketleri ile uçağa verilen hizmetleri toplayan yer hizmetleri başlıklarıdır.

Günlük açıdan tüketimleri incelemek gerekirse, bu açıdan iki alt başlık olan havaalanı terminal binası ve diğer bina etkileri düşünülmektedir.

Yöntem geliştirilirken Eko göstergelerin boyutsuz sonuçlarının kullanılması sebebi ile MDAS Yöntemi içerisine eksiklerin rahatlıkla eklenebilmesi mümkün olabilecektir. Yöntem geliştirilebilir ve büyütülebilir yapısı ile daha kapsamlı sonuçların elde edilebilmesini sağlayabilir. Yöntemin yapısını anlatan bir çizim şekil 4.1’de görülebilir. Şekilde yöntem içerisine noktalı çizgiler ile belirtilen hesaplama kanallarının ilerde eklenebileceğini göstermektedir.

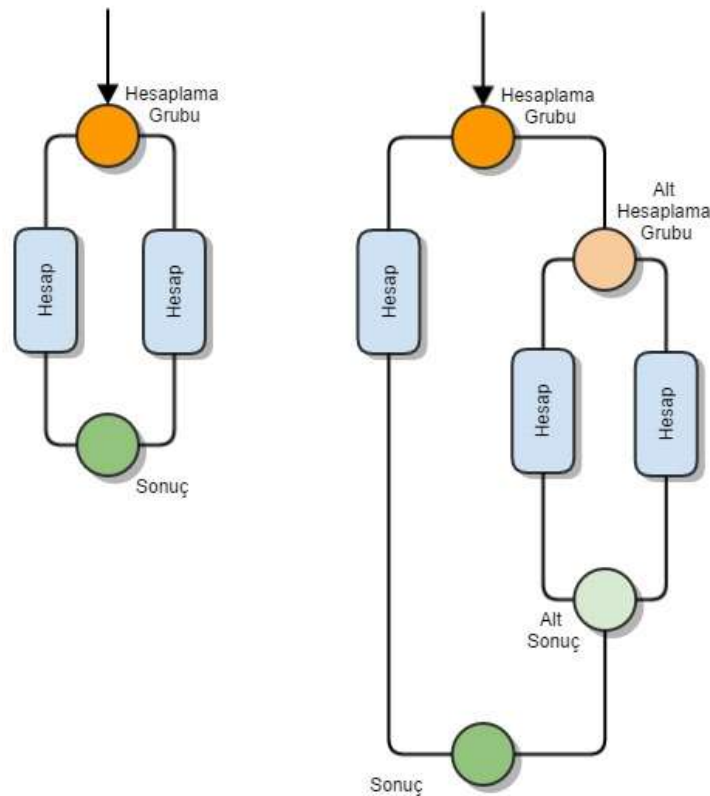
MDAS Yönteminin bir başka noktası ise her birleşim notasında bir gösterge alınabilmesi ve ileride şu an için belirlenmiş olan ihtiyaçlar dışında bir anahtar göstergeye ihtiyaç duyulduğunda eklenebilmesidir. Bununla birlikte MDAS yöntemi boyutsuz çıktıları dolayısıyla hesaplama yapabilmek açısından esnekliğe sahiptir. Bu esneklik ile ilgili görsel Şekil 4.2’de görülebilir. Bu görselden de anlaşılacağı üzere, bir hesaplama çizgisi ileride sonuçlarını birleştirmek üzere ikiye ayrılabilir ya da ayrılmış kollarından birisi tekrar ikiye ayrılarak sonuçları en son noktada toplanabilir.



Şekil 4.1 : MDAS Yöntemi modüler hesaplama kavram haritası

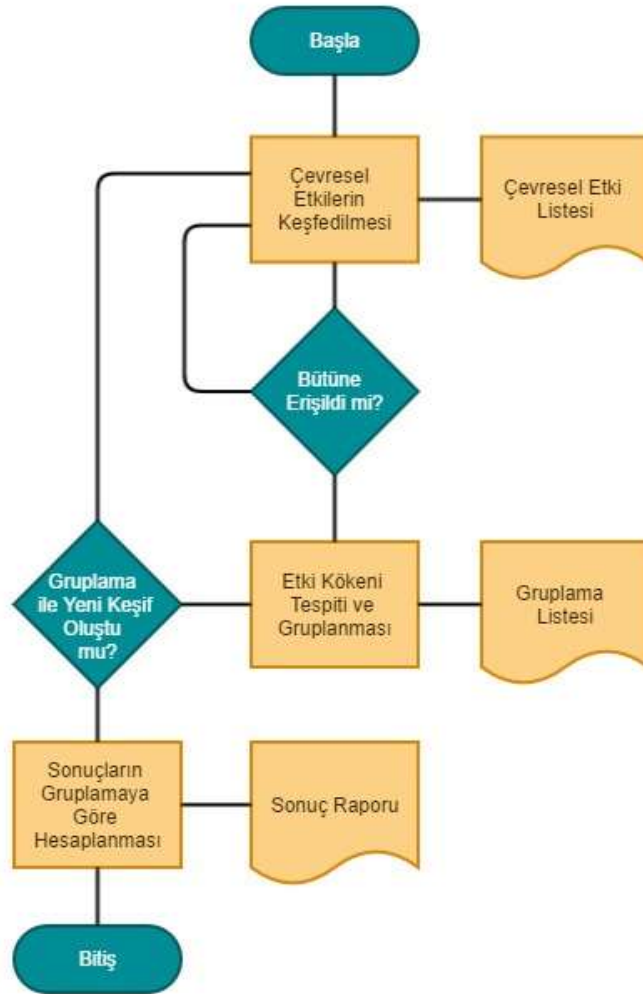
Detaylı açıklama yapılması gerekirse, hesaplama akışı ortaya konulurken ana fikir işin yapılması sebebi olarak düşünülmüştür. İşin asıl yapılma sebebi insanların bir noktadan bir noktaya hızlı olarak ulaşma ihtiyacıdır. En büyük etmen olduğu bulunmuş olan uçakların tüketmekte olduğu yakıt dolayısıyla oluşan çevresel etkilerin düşünülmesi adına uçağın ana değişken olarak alınması önemlidir. Bununla birlikte uçak sayısı ile direkt olarak bağlı olmayan günlük enerji tüketimi değerleri de bulunmaktadır. Ayrıca, 'yolcu sayısının büyüklüğü' düşünüldüğünde nicelik açısından yolcu sayısının tespiti kolay ve en hızlı çıkış noktası olacaktır.

Yolcu sayısı için belirli yan etkilerin değerlendirilmesi önemli olabilir. Bunlar, yolcular ile birlikte gelen uğurlayıcılar, yolculara hizmet eden çalışan ve çalışan için kullanılmakta olan enerji sarfiyatı değerleri olacaktır. Bu değerlerin içinden hesaplanabilir ve kayda değer verinin hesaba katılması değerlendirilmelidir.



Şekil 4.2 : MDAS Esnek Hesaplama metodolojisi

Enerji sarfıyatı dolayısıyla oluşan etkilerin değerlerine yolcu sayısı ile doğru orantılı olarak arttığı düşünülen uçak sayısı parametresi ve dolayısıyla bu uçağa gerekli hizmetleri verecek olan yer hizmetleri ihtiyaçları olmaktadır. Bu konu apron içerisinde oluşan enerji sarfiyatları ile ilgilidir. Uçak başına hareketler içerisinde değerlendirilmesi daha uygun olacaktır. Uçak başına hareketler yöntem içerisinde dönemsel yoğunluklara göre, uçak boyutuna göre ve uçağın yerde almış olduğu hizmetin terminalde olup olmadığına bağlı olarak değişecektir. Bu bilgilerin hesaba katılması ön görülmüştür.



Şekil 4.3 : MDAS etki değerlendirme ve analiz süreci

MDAS metodu ile havaalanı yerleşkesindeki enerji temelli etkilerin ortaya çıkarılması için hesaplamaların hangi mantık temelinde düşünüldüğünü aktarmak adına Şekil 4.3'te bir akış şeması oluşturulmuştur. Akış şemasında havaalanında oluşan etkilerin düşünülmesi ve bütüne ulaşılması için bir örnek görülmektedir. Bu örnek

kapsamında bütün etkiler kapsama alınmış ve bu etkilerin gruplanması yöntemi aktarılmaya çalışılmıştır.

İnsan ve makine için gerekli enerji miktarlarını yolcu sayısı parametresine dayalı olarak düşünülmesi ileriki ihtiyaçların anlaşılmasına yardımcı olabilir. Şekil 4.4'te havaalanında oluşan etkilerin uçak bileşenine dayalı etkilerini gösteren bir mantıksal akış görülebilir. Bu şemada hangi parametrenin hangi değere bağlı olarak hesaplandığı anlatılmaya çalışılmıştır.

Bu şekilde tasarımsal olarak MDAS yöntemi için aşağıdaki kolaylıkların olduğu söylenilebilir.

- Süre değişkeninden bağımsız olarak sınırların belirlenmesi imkânı,
- Hesaplamanın birleştirilmesi açısından uygulama kolaylığı,
- Sonuçların indeks oluşturabilmesinden dolayı bir derecelendirme ve değerlendirme kolaylığı,
- Sonuçlar dolayısıyla yorumlanma kolaylığı.

Bununla birlikte bir diğer kolaylık ise veri giriş kolaylığı olarak belirtilebilir. Enerji tüketim noktalarının oldukça fazla olduğu havaalanlarında her bir nota için hesap yapılması ve bunların toplanılması öncelikle hesabı sonuçlandırabilmek açısından büyük emekler sarf edilmesini gerektirmektedir. Ardından bunların yorumlanması için gruplandırılması ve karşılaştırılması gerekir. Bu anlamda MDAS Yöntemi bir zaman avantajı sunmaktadır.

4.3 MDAS Yöntemi Bileşenleri ve Veri Hazırlığı

Havaalanı kampüsü içerisinde yoğun olarak enerji tüketen etmenler incelendiğinde bunların aşağıdaki gibi şekillendiği anlaşılmaktadır.

- Uçak hareketleriyle,
- Uçaklara verilen yer hizmetleriyle,
- Yolcu terminalleri ve binalarındaki enerji tüketimiyle,
- Hizmet binalarındaki enerji tüketimiyle,
- İdari binalardaki enerji tüketimiyle,
- Yolcu hareketlerine bağlı olarak,

Bu sebeple bütün bu etmenlerin hesaplanması için başlangıç kaynağının tespiti gerekmektedir. Elbette tüm havaalanı kampüsünün kurulmasının sebebi turizm, iş ya da merkezi olarak uçak hareketliliği oluşturan yolcu istekleri dolayısıyla seyahat edilmesi konusu gündeme gelmektedir. Her ne kadar her yatırımın ya da hareketin temelinin yolcu isteği olduğu kesin olsa bile, uçak sayısının ve yolcu miktarı birbirinin bir fonksiyonudur. Ancak bu fonksiyon havaalanının önemli bir konumunun olması, ekonomi, turizm gibi bileşenler dolayısıyla her zaman değişim gösterebilecek bir durumdadır.

Bu anlamda, enerji tüketiminin en çok yoğun olarak yapılmakta olduğu düşünülen uçak hareketlerini temel alarak hesaplamayı yapmak gerekecektir. Bununla birlikte hesaplama bu uçak sayısı temel alınarak yapılsa dahi, bazı detay hesaplamalar ise yolcu sayısına ve günlük kullanımlara bağlı olarak yapılmalıdır. Bu nedenle yolcu sayısının ve etkilerinin neler olduğu dikkatle incelenmelidir. Uçak doluluk ya da yolcu yoğunluk parametreleri bu sayıya ulaşmak için kullanılabilir. Bununla birlikte havaalanı içerisindeki hareketliliğin bağımlılığı hesaplama yapmak için incelenmelidir.

Şekil 4.4'teki uçak başlangıcı ile çıkılan hesaplama adımları bu sebeple üç grupta toplanmıştır. Bunlar;

- Uçak temelindeki çevresel etkiler,
- Yolcu sayısına bağlı çevresel etkiler,
- Günlük ihtiyaç sonucu oluşan çevresel etkiler,

olarak gruplanmıştır.

Tanımlanmış olan bu üç gruptaki etkilere ulaşmak için Şekil 4.4'te gösterilmiş birçok verinin elde edilmesi, hesaplama yöntemlerinin ortaya çıkarılması ve bu yöntemlerinin gerektiğinde ispatlarının yapılması gerekmektedir. Önerilecek yöntem ile bu sürecin hızlandırılması ve bir çözüme kavuşturulması mümkün olabilecektir.

Uçak temelindeki çevresel etkilerin hesaplanabilmesi için havaalanını kullanmakta olan uçakların gövde büyüklükleri verisi önemlidir. Bu sayede uçakları etkilerine göre ayırmak mümkün olacaktır. Uçaklar, havaalanlarında geniş ve dar gövdeli olarak (wide body and narrow body) ikiye ayrılmaktadırlar [76]. Bu veri aracılığıyla uçakların yapmış oldukları hareketler ile tüketmiş oldukları enerji, dolayısıyla oluşan etkiler belirlenebilecektir. Çevresel etkileri değerlendirmek için ölçüt zaman ya da uzaklık olacaktır.

incelemektedir [77]. Buradan elde edilen veriye göre motorların en yüksek performansı kalkış sırasında kullandıklarını görülmektedir.

Taksi sırasında oluşacak etkilerin sınıflandırılması için toplam yakıt tüketim oranları kullanılabilir. Genellikle büyük havaalanlarında trafik yoğunluğuna bağlı olarak pist ve terminal kapasitelerinin de etkisiyle taksi mesafelerinin aynı olmasına rağmen sürelerin uzadığı görülebilmektedir. Bu durumda normal bir taksi süresine oranla yoğun zamandaki oranın karşılaştırılması ve uçakların hangi oranda taksi sürelerinin uzadığının hesaba katılması gerekebilir. Yoğun havaalanlarında taksi sürelerinin uzaması artan yakıt tüketimi ve dolayısıyla çevresel etkileri arttırmaktadır [78]. Yoğun saatlerdeki bir gecikme diğer saatleri de çok hızlıca etkileyebilmektedir. Havaalanlarının uçak başına taksi sürelerini kaydediyor olması kendi çevresel etkisini ölçmesi anlamında önemli olacaktır.

Uçak sayısının belirlenmesi, taksi süreleri, uçakların tipleri ve kalkış miktarları ile birlikte çok önemli bir ayağın kampüs içerisinde uçak temelindeki enerji kaynaklı çevresel etkilerin hesaplanması yapılabilecektir.

Uçak temelli bir başka önemli konu apronda bulunan ve uçağa hizmet veren cihazların uçak tiplerine göre vermekte oldukları hizmetleri belirleme konusudur. Bu hesaplama uçak tipine ve uçağın havaalanında kalma süresine göre değişir. Bununla birlikte yolcu sayısına göre çok fazla farklılık göstermez. Ancak yolcu tipi bu hizmet ile ilgili bazı değişiklikler gerektirebilir. Bu anlamda yolcuların içerisinde CIP ya da VIP olmaması, bir başka deyişle ucuz maliyetli (Low Cost Flight) uçuşların almakta olduğu hizmet ile tüm hizmetleri sağlayan (Full Service Carrier) uçuşların arasında farklılıklar bulunmaktadır.

Bununla birlikte servis veren şirketlerin artıyor olması enerji tüketimi etkisini arttırabilir. Ayrıca servis çeşitliliği ve süresi de bir etken olarak düşünülebilir. Bu bakış açısı ile düşük maliyetli uçuşlara göre tam servis sağlayan uçuşların daha fazla emisyon oluşturduğu kabullenilebilir. Tüm bunlara ek olarak yer hizmeti veren şirketlerin artması da bir etken olabilir. Ancak bu etken kullanıma dayalı bir etken olarak ihmal edilebilir bir düzeyde olacaktır. Kullanılmakta olan ekipman artabilecek olsa dahi, bu ekipmanların kullanılma süreleri değişmeyeceğinden dolayı işletim dolayısıyla oluşacak çevresel etkilerin sabit kalacağı görülebilir. Uçak başına alınacak hizmetler aşağıda açıklanmıştır.

Servisler temel olarak üçe ayrılabilir;

- Yolcu indirme bindirme hizmetleri,
- Kargo ve bagaj hizmetleri,
- Uçuşa hazırlık ile ilgili hizmetler.

Yolcu indirme ve bindirme ile ilgili hizmetler eğer uçak binaya yanaşarak yapılmaktaysa bu hizmetin bina içerisinde tüketilen enerji ile ilişkilendirilmesi daha doğru olacaktır. Eğer açığa park etmiş olan bir uçağa merdiven yanaştırılması gerekirse bu apron bünyesinde hesaplanması gereken bir enerji tüketimi olarak sınıflandırılmalıdır. Havaalanının büyüklüğüne göre açığa yanaşma ve bina merdivenlerini kullanma konusunda bir kabullenme ya da bilgi bu hesaplamayı yapmaya yeterli olacaktır. Dolayısıyla geniş gövdeli ve küçük gövdeli uçaklar için açığa yanaşma oranları bir hesaplama değişkeni olacaktır. Bununla birlikte yolcuları apron içerisinde istenilen bölgeye taşımak için de başka bir enerji tüketen cihaz olan otobüs kullanılması gerekmektedir. Bu da açığa yanaşma durumu ile ilgili hesaba katılacak bir değişkendir.

Uçağın gövdesi içerisinde bulunan alanlara bagajların yüklenmesi yöntem açısından önemlidir. Büyük gövdeli uçaklara içerisine bagajlar, taşımaları (konteyner) ile konulurken küçük gövdeli uçaklarda bu yöntem yığılarak bagaj koyulması yapılır. Bu iki yükleme yöntemi için farklı iki tip cihaz kullanılması gerekmektedir. Genel olarak iki cihazın büyüklükleri ve enerji tüketimleri birbirinden farklıdır. Havaalanı binası yerine açığa park edilen uçağa yerdeki enerji ihtiyaçları için ise bir adet GPU bağlanır.

Servise hazırlık hizmetleri ise uçak içerisindeki temizlik hizmetleri, uçağın yakıt alması, yiyecek ve ikram servislerini alması, hat bakım hizmetleri olarak düşünülebilir. Bu hesaplamalar kampüs içerisindeki hesaplamaların uçak hareketlerine dayalı ayağının bitirilmesini sağlayacaktır. Hesaplamaların diğer kısımları için yine yolcu sayısı bilgilerine ve günlük bazda oluşan enerji tüketimlerine bakılması gerekmektedir.

Havaalanı kampüsünün içerisinde bir başka enerji tüketim noktası ise yolcuların geçiş yapmış olduğu ve bu yolculara gerekli hizmeti veren personelin bulunduğu binalardaki ısıtma soğutma, aydınlatma, otomasyon, bilişim ve diğer hizmetlerin elektrik ihtiyaçları olarak sıralanabilir. Binalardaki ısıtma ve soğutma ihtiyaçları ısıl konfor olarak adlandırılabilir. Bu konfor ihtiyacı, yolcuların üşümedikleri ya da terlemedikleri, içeride de hava akımının çok süratli olmadığı ve nemlendirme şartlarının ideal olduğu koşullar olarak düşünülebilir. Böyle bir ortamın sağlanabilmesi için harcanan enerjinin

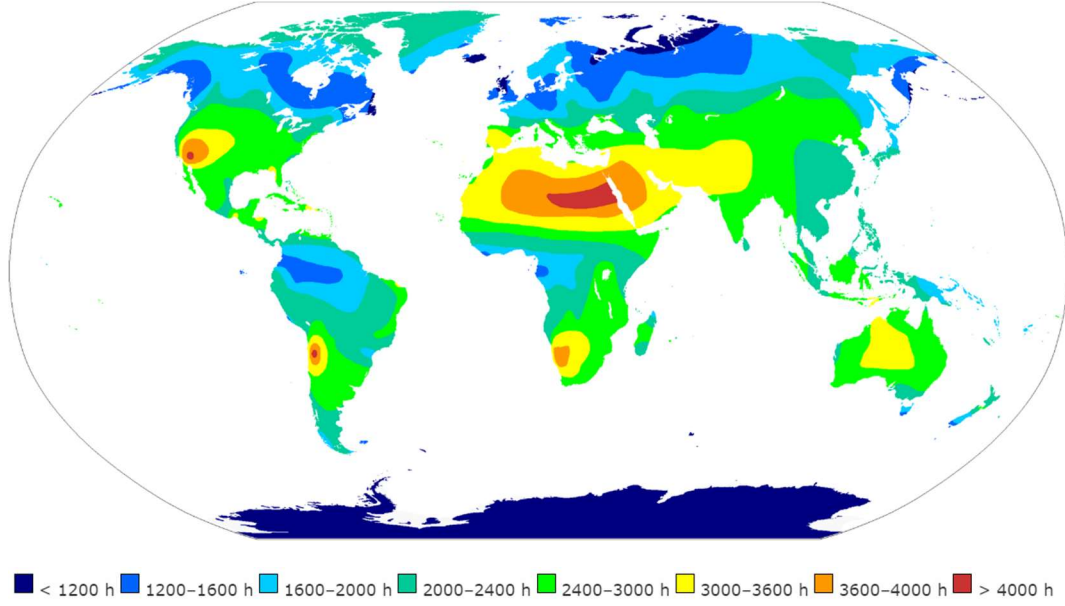
ya da harcanması istenilen enerji için bir çevresel etki oluşabilecektir. Isıl ihtiyacı hesaplarken dikkate katılması gereken değerlerden birisi ise dış ortamın bulunduğu ortamın ne kadar soğutulması ya da ısıtılması gerektiği ile ilgili hesaplama. Bunun için en önemli etkenlerden birisi de dış ortam sıcaklıklarının ortalamalarıdır. Bu ise coğrafi bölge katsayısı olarak düşünülebilir. Bu hesaplamaların hepsinin yapılması yerine havaalanının kurulu gücünün sorularak havaalanı çalışma saatleri ve işletme açısından kullanım sıklığı ve süreleri hesaplanarak bir çıkarım sağlanabilir.

Bu şekilde bir yöntem ile hesaplama yapmak hesapların gereksiz karışıklığını da önleyecektir. Kullanıcı için bütün verinin girilmesi uygulamayı da kullanılmaz hale getirecektir. Hesaplama yöntemi bu binalarda ölçülmüş olan enerji tüketimlerini ya da gelecek bir zaman için hesaplama yapmak adına kurulu gücün ne kadarının hangi sıklıkta kullanıldığına odaklanarak yapılmalıdır. Bu şekilde gelecek bir zaman için ne kadar enerji tüketimi ve çevresel etki oluşturulacağı hesaplanabilecektir. Söz konusu verinin bulunması yolu ise toplam enerji sarfiyat ölçümlerinin elde edilmesi olabilir. Bu enerji sarfiyatı ölçümleri bazen şebekeden alınan elektrik ile, bazen doğalgaz ya da benzeri başka bir yakıt yakarak karşılanabildiğinden bu yakıtların bulunması önemlidir. Bazı durumlarda ise bu enerji ihtiyacı kampüs içinde bulunan doğalgaz ile yapılan çevrim santrallerinin atık gazları ile karşılanabilmektedir. Her şekilde ortaya çıkan bir emisyon miktarı bulunmaktadır

Ortaya çıkan çevresel etki miktarının hesaplanması için gerekli en önemli adım şebekeden elde edilmekte olan birim elektrik enerjisi için ortaya çıkacak etkinin tespit edilmesi olacaktır. Bu anlamda ülkeler adına üretilen elektriğin hangi oranlarda hidrokarbon, nükleer ve geri dönüştürülebilen oranlarda olduğunun bilinmesi gerekir Bunun için uluslararası ve ulusal istatistikler göz önüne alınarak bir kabullenme yapılabilir [79, 80]. Bu kabullenme ile emisyon miktarlarında bir belirleme yapılabilir.

Coğrafi durumdan etkilenmekte olan bir başka değişken ise aydınlatma ile ilgili değişkendir. Bulunulan bölgenin gündüz daha az aydınlatmaya ihtiyaç duyması fakat soğutma açısından daha az enerji tüketmesi mimari olarak çözülebilir. Hesaplamalarda ı ışık alma süresinin elektrik tüketimi için bir hesaplama yöntemi olabilir. Aydınlatma ihtiyacı havaalanı gibi büyük binalarda tamamen karanlık olan alanlarda sürekli bir ihtiyaçtır. Bunun da ötesinde güvenlik açısından kameraların kayıt yapabilme özelliği dolayısıyla sürekli olarak aydınlatılması gereken noktalar da bulunmaktadır. Ancak, Şekil 4.5'te doğrudan görüleceği üzere direk gün ışığı alma süreleri açısından kullanılabilir

bir grafik görülmektedir [81]. Bu bilgiler havaalanları arasında hesaplama yapılırken ortalama olarak güneş ışığından yararlanma sürelerini karşılaştırmak için kullanılabilir.



Şekil 4.5 : Coğrafi olarak dünya üzerindeki yıllık ortalama saat olarak güneş enerjisi alma süreleri

İnsan hata faktörünü ortadan kaldırmak ve yolcuları daha kolay şekilde uçağa götürebilmek amacıyla kullanılmakta olan IT ve Otomasyon sistemlerinin tüketmiş olduğu elektrik enerjisi oldukça yeşil olarak değerlendirilebilmektedir. Yapılan bir araştırmaya göre dünya üzerinde 2013 yılı içerisinde bir dakika içerisinde 204 milyon elektronik posta, 5 milyondan fazla Google araması, 1.8 milyon Facebook beğenisi, 350 bin tweet gönderimi yapılıyor [82]. Dünya üzerinde bulunan veri merkezlerinde harcanan enerjinin 2005 ile 2010 yılları arasında %56 seviyesinde artarak dünya üzerinde üretilen enerjinin % 1.3'ü seviyesine çıktığını ve 2015 yılı itibarı ile 2010 yılına oranla %28'lik bir artış daha olduğu bilinmektedir [83]. Bu ise dünya üzerinde üretilmekte olan enerjinin

% 1,6 oranında bir kısmının küresel veri merkezlerinde tüketilmesi anlamına gelmektedir.

Sadece ABD kurulmuş olan veri merkezlerinin 34 adet termik santralin ürettiği olduğu elektrik enerjisinin tamamını tükettiği düşünüldüğünde elektrik tüketimi açısından bilgi işlem sistemlerinin önemi ortaya çıkmaktadır. Bu anlamda havaalanlarındaki bilgi işlem sistemlerinin tüketmekte olduğu enerjinin hesaplanması önemlidir. Bir havaalanı terminal binasında genelde bir adet ana bir adet ise yedek olmak

üzere iki sistem odası bulunur. Orta büyüklükte bir havaalanında, 50 civarında bu odalara bağlı dağıtım odası bulunur.

Havaalanında bulunan bir sistem odasının içerisinde bulunmakta olan sunucuların güçlerinin toplamının tamamının ısıya dönüştüğü kabul edilir ise tüm güç kadar soğutma gücüne ihtiyaç duyulmaktadır. Elbette soğutma cihazlarının çevrim katsayılarının (COP) yüksekliği ile ihtiyaç duyulmakta olan soğutma yükü azalacak olsa da bu oranın bire bir kabul edilmesi mümkündür. Soğutma yükünün bina sistemi içinde hesaplandığı düşünülürse bir sistem odasının enerji ihtiyacının binanın ihtiyacının % 0,8'i seviyelerinde olacağı hesaplanabilir [84]. Aynı şekilde dağıtım odalarında bulunmakta olan yangın algılama sistemleri, kamera sistemleri, kartlı geçiş sistemleri ve bilgi işlem dağıtım anahtarlama cihazları gibi sistemlerin bahsi geçen 50 adet dağıtım odasında ortalama 2 kW gibi bir kurulu gücü tuttukları kabullenilmektedir. Bu odalardaki enerji ihtiyacının kurulu gücün % 20'sini aşmadığı ölçülebilmektedir. Böylece toplam enerji miktarı saatlik olarak 75 kW olarak bulunabilir. Bu ise 3 MW güç çekmekte olan bir havaalanının % 0,7 mertebesinde bir güç tüketimi anlamına gelmektedir. İki verinin toplamı ise % 1,5 seviyesinde bir değere denk gelmektedir. Sistem odası ve dağıtım odalarının enerji ihtiyacını % 1,5 olarak hesaplamak mümkündür. Genel elektrik tüketiminin içerisinde oldukça düşük bir noktaya denk gelmesi dolayısıyla ve bu tüketimlerin havaalanlarında genel soğutma ve havaalanının elektrik kapasitelerinin içinde yer aldığı bilindiğinden dolayı ayrıca hesaplanmasının yapılmasına gerek yoktur

Benzer bir hesaplamayı havaalanının bagaj taşıma ve ayırma sistemi için yapmak gerekirse, en büyük ve yoğunluklu güç ihtiyacının bantları döndürmek için kullanılmakta olan elektrik motorları vasıtası ile oluştuğu görülebilecektir. Orta büyüklükte bir havaalanında bir bagaj taşıma sistemi için yaklaşık olarak 300 adet elektrik motoru kullanılır. Bu motorların ağırlıklı ortalaması alındığında ortalama olarak 1 kW değeri bulunur. Yoğun sezonlarda ve yoğun olmayan kış sezonlarında bu motorların kullanılma süreleri farklıdır. Yoğun sezonlarda bu motorlar günde toplam 10 saat kadar çalışırken yoğun sezonlarda bu süre 12 saate kadar uzayabilmektedir. Havaalanı daha uzun sürelerde yolcu kabul edebilmesine rağmen bu sürenin kısaltılmasının sebebi, bagajsız yolcular ile sürekli bagajlı yolcu gelmemesi olarak belirtilebilir.

Ağırlıklı ortalamanın 10 saat olarak kabul edilebileceği düşünüldüğünde saatlik olarak 125 kW mertebesinde bir güç tüketildiği görülmektedir. Bu veri ortalama olarak 3MW güç ihtiyacına ihtiyaç duyan bir havaalanı için % 4,1 gibi bir değere eşit olmaktadır.

Bununla birlikte yolcu taşıma ve ilerletmeler için yaklaşık 50 ile 90 arasında asansör, yürüyen merdiven ve yürüyen bant bulunmaktadır. Bu sayının 70 olarak kabullenilmesi uygun olacaktır. 70 adet cihazın bir gün içerisinde 6 saat kadar aktif olarak çalıştığı bilinmektedir. Çalışmadığı zamanlarda bu cihazların kendini durdurduğu ve yavaş kalkarak yavaş durduğu tespit edilebilir. Bu şekildeki bir cihazın ağırlıklı ortalama ile saatlik yükünün kullanmış oldukları 2kW'lık motorlar ile 35 kW'lık bir enerji ihtiyacı bulunduğu hesaplanır. Bu ihtiyacın karşılığının % 1.1 olduğu bulunur. Çalışma koşullarına göre değerlendirilmiş verinin hesapları dördüncü bölüm içerisinde detaylı olarak yapılmıştır.

Aynı hesapların terminal binası ile birlikte havaalanı işlevlerinin devam ettirilmekte olduğu diğer tali binalarda da yapıldığı bilinmektedir. Havaalanı terminal binalarının büyüklüğü ve işlevselliği dolayısıyla ihtiyaç duymakta olduğu otomasyon sistemi fazlalığı tali binalarda bu kadar yoğun olarak bulunmamaktadır. Bu anlamda havaalanlarının terminal binalarında bulunmakta olan otomasyon sistemlerinin dışındaki tüm hesaplamalar tali binalar için de yapılacaktır. Havaalanı işletimini yapan kurumlar tarafından verilecek olan bilgiler doğrultusunda hesaplanması yeterli olacaktır.

Bu verinin hesaplanabilmesi için maviyle belirtilmiş olan değerler olan,

- Isıtma ve soğutma ihtiyaçları,
- Aydınlatma ihtiyaçları,
- IT – Otomasyon ihtiyaçları ve diğer

bilgilerinin alınması yeterli olacaktır.

Bu bilgilerin dışında kalan verinin hesaplamalar yöntemi ile bulunmaya çalışılması hesaplamalarda birçok hatanın yapılmasına yol açacaktır. Her havaalanının aynı olmaması, işletme şartlarının farklılığı, yolcu ihtiyaçlarının değişikliği, havaalanında kullanılmakta olan ek hizmetler, çevresel etkilerin değişiyor olması gibi birçok neden hesapların sonuçlarının her havaalanına uymamasına yol açacak ya da birçok ek kriter getirilmesine sebep olacaktır. Havaalanı kurulu güçlerinin işletim süreleri ve sıklıkları ile birlikte düşünülerek hesaplanması daha verimli ve kullanıcıyı yormayacak bir yöntem olacaktır.

Yolcu sayısı ya da almış oldukları hizmetler etkeni ile oluşacak etkiler direk olarak yolcu ulaşımı, yolcu davranışı, yolcu uğurlayıcı ya da karşılayıcı etkileri ve havayolu sayısını etkileyebilmektedir. Bunun dışında dolaylı olarak yer hizmetleri

şirketlerinin sayısını da etkileyebilmektedir. Yer hizmetleri sayısının artışının uçaklara verilmekte olan hizmetleri yapmakta olan personel ve ekipman açısından bir artışın olacağını ancak işletme açısından toplam olarak kullanılan birim hizmet açısından bir değişikliğe yol açmayacağına daha önce aynı bölüm içerisinde değinilmişti. Yolcu sayısı artışı ile havayolu sayısının artması buna bağlı olarak da yer hizmeti şirketinin artışı bu nokta da enerji tüketimini arttırmayacaktır. Bu enerji tüketimini artırıcı temel etken sadece gelen uçak sayısının artışı olacaktır.

Aynı şekilde havayolu şirket sayısının artıyor olması “Acaba hizmet verilecek uçak sayısının da artışına yol açmakta mıdır?” sorusunun yanıtını bulmak önemlidir. Yolcu sayılarının artışı 3. Bölümde 3.4 nolu başlıkta “Hava Trafiğini Şekillendiren Unsurlar” altında açıklanmıştır. Anlaşılacağı üzere havaalanı uçuşlarına yeni bir rota eklenmesi ya da çıkarılması tamamen başlangıçta politik ya da stratejik bir karar olsa da bu rotanın ya da yeni açılacak bir havayolunun sürecinin devam ediyor olması tamamen ekonomik bir karardır. Havayollarının ekonomik ve karlı olmayan bir uçuşu sürdürmesi mümkün değildir. Bu konu ile ilgili güncel ve eski bazı haber başlıkları kapanan havaalanı hatları ve ekonominin havayollarına etkisi [85, 86] da görülebilir.

Dolayısıyla havayolları açısından uçak doluluk katsayısı olarak da bilinen bir performans verisi uçuş devamlılığı ve havayolu uçuş sürekliliği için en önemli karardır [87]. Bu şekilde yolcu artışının uçuş sayısı dışında ek bir hesap gerektirmediği anlaşılmaktadır. Yolcu sayısı artışı ya da düşüşüyle birlikte geçici bir etki olsa da çevresel etkilerin hesaplanması için mutlaka uçak sayısının temel alınması gerektiği açıktır.

Bir diğer etki olan yolcu davranışı ve yolcu uğurlayıcı etkileri hesaplama yöntemi açısından genel ya da uluslararası kriterlere sahip değildir. Örneğin dönemsel olarak artan yolcu uğurlayıcıları sayısı Türkiye’de dini turizmin yoğunlaştığı dönemlerde farklı olabilmektedir. Bir başka bakış açısıyla çok lüks hizmetler verilen Ortadoğu ülkelerinde ise enerji tüketimi yolcu başına değil yolcu tipine göre değişebilmektedir. Bununla birlikte havaalanlarında yolculara geçici sürelerle konaklama hizmetinin verildiği saatlik modeller bulunmaktadır. Tüm bunlar hesaba katıldığında yolcu ve yolcu uğurlayıcı ya da karşılayıcıları için yapılacak hesaplamalar uygun bir hesaplama yönteminin bulunamaması ve buna bağlı hesaplama ara yüzünde kullanıcıyı yoracak kadar fazla veri istenmesi de anlamsız olacaktır. Özellikle yolcuların çok düşük bir miktarının kullandığı hizmetler yüzünden bu hesaplamaların yapılması sonucu da

etkilemeyecektir. Sonuç olarak bu hizmetlerin tüketmiş olduğu enerji miktarı havaalanının kurulu gücünün önemli bir miktarına denk gelmektedir.

Yolcuların havaalanına geliş biçimleri havaalanının bulunduğu bölge, havaalanının bir metropol oluşu ve toplam gelen yolcu sayısı düşünüldüğünde oldukça farklılıklar gösterir. Yolcuların bir kısmı toplu taşıma biçimini zaman ve ekonomik açıdan uygun bulurken bazıları aynı konuda bireysel ulaşımı tercih edebilmektedir. Yolcu davranışlarının bu anlamda incelenmesinin ayrı bir çalışma konusu olacağı düşünülerek bu konu çalışmaya dahil edilmemiştir.

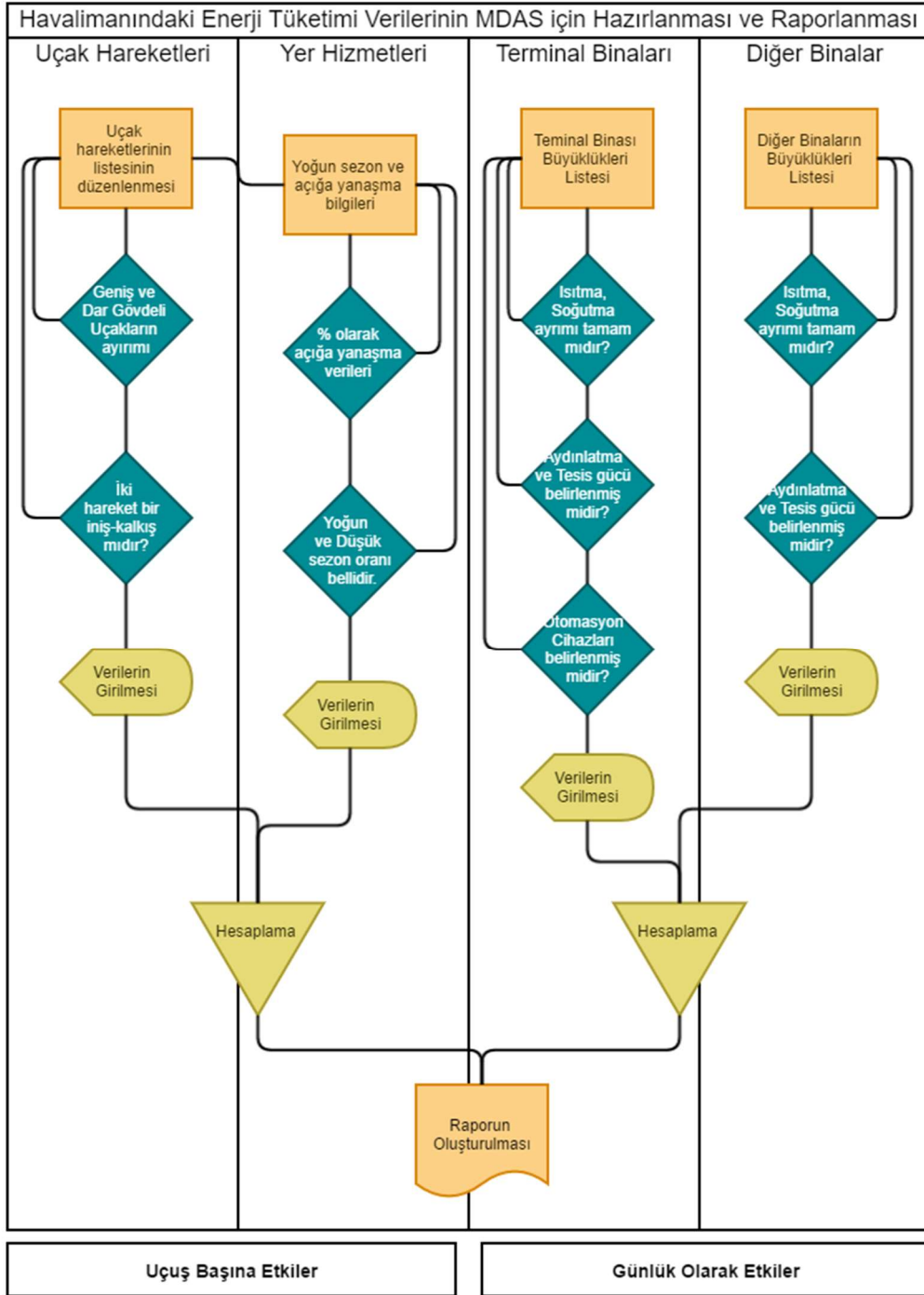
Bu aşamada anlatılanlar sonrasında hesaplamaların iki grupta ve dört ana noktada yapılması uygun olacaktır. Bunlar uçağa ve günlük kullanıma bağlı etkileri olmak üzere;

- Uçak hareketleri dolayısıyla oluşan etkiler,
- Yer hizmetleri dolayısıyla oluşan etkiler,
- Havaalanı terminal binaları dolayısıyla oluşan etkiler,
- Tali binalar dolayısıyla oluşan etkiler,

olarak sıralanabilir.

Yukarıdaki anlatımlarda değerlendirildiği gibi enerji dolayısıyla oluşan çevresel etkilerin hesaplanması yöntemi genel olarak dört kadranda değerlendirilecektir. Bu kadrantlar ise iki grupta ele alınmıştır. Gruplar uçak sayısına göre oluşan enerji dolayısıyla oluşan etkiler ve günlük kullanım dolayısıyla oluşan etkiler şeklindedir. Uçak sayısına göre oluşan etkiler her uçak hareketinde rutin olarak yapılan işlemler içerisinde uçakların almış oldukları servisler, uçakların hareketleri gibi hareketlerin ya da çalışmaların oluşturmuş olduğu etkiler kullanılmaktadır. Bu çalışma ve hareketler “Uçak Hareketleri” ve “Yer Hizmetleri” olarak ikiye ayrılarak değerlendirilir Bununla birlikte günlük bazda yapılan faaliyetler ile ilgili olarak her gün yapılmakta olan ve uçak hareketlerinden bağımsız olarak yapılan çalışmaların toplandığı hesaplamalardır. Bu gruptaki hizmetler ve faaliyetler uçakların sayısına direk olarak bağlı olmayan ve uçak gelse de gelmese de yapılmış olması ön görülen çalışmalardır. Örnek vermek gerekirse, havaalanı binasının aydınlatması ve ısıtması gibi hizmetler ve çalışmalar uçakların kalkış ve iniş hareketlerinden bağımsız olarak oluşmaktadır. Bu gruptaki enerji tüketimi dolayısıyla oluşan çevresel etkiler ise “Havaalanı Terminal Binası” ve “Tali Binalar” olmak üzere ikiye ayrılırlar.

İleride detayları ile anlatılacak olan bu bilgilerin elde edilmesinde hesaba katılacak verinin önemi bulunmaktadır. Hesaplamanın yapılabilmesi için havaalanı bünyesinden alınacak bu dört kadranlı verinin Şekil 4.6'daki akış şemasına uygun olacak şekilde hesaplanması sonuç almayı kolaylaştıracaktır.



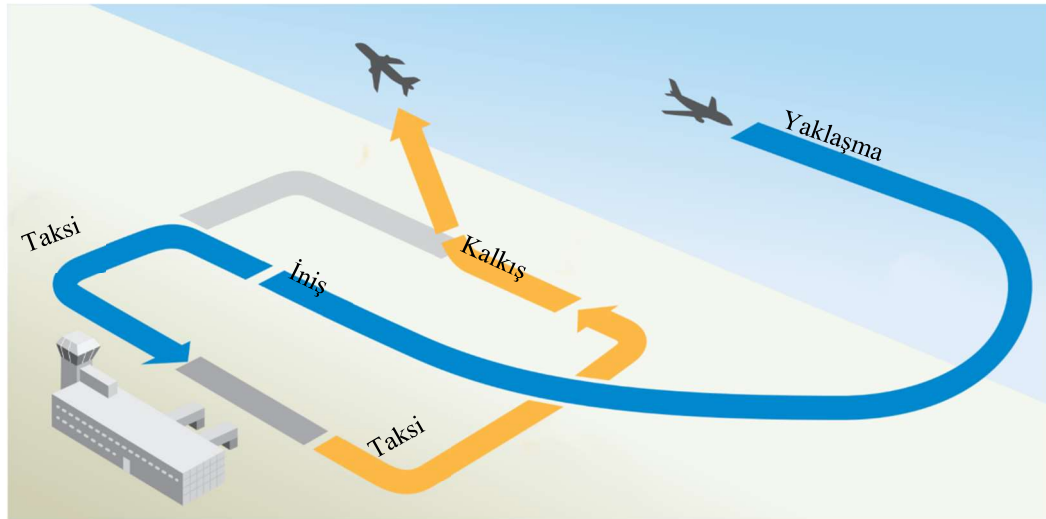
Şekil 4.6 : MDAS için veri hazırlama akış şeması

4.4 Uçak Hareketleriyle Oluşan Etkiler

Uçak hareketleriyle oluşan etkiler genellikle sanılanın aksine kalkış ile değil iniş ile başlamaktadır. Havacılıkta iniş – kalkış olarak adlandırılan bu durum terminolojide LTO kısaltması ile ifade edilmektedir. İniş ve kalkış şeklinde düşünülmesinin sebebi uçak ile ilgili tüm operasyonların uçağın havaalanına gelmesi ve havaalanından hizmet alarak ayrılması şeklinde olduğu içindir. İniş ve kalkış sürecini ifade eden bir tasarım Şekil 4.7’de görülebilir.

Havaalanına uçağın gelişi ve gidişi sırasında oluşan döngü ya da işletme süreci ise şu şekilde sıralanabilir;

- Uçağın son yaklaştırmaya başlaması,
- Pistte inişi,
- Terminal binasına yaklaşma ve iniş taksi süreci,
- Terminal binasına park etmesi,
- Hizmetleri alınması,
- Pistte doğru ilerleme ve kalkış taksi süreci,
- Uçağın kalkış yapması



Şekil 4.7 : İniş ve kalkış süreci¹

Uçakların uçması için ihtiyaçları olan göreceli hız dolayısıyla kanat yüzeyleri arasında oluşan basınç farkı uçağın uçmasını sağlamaktadır. Bir insanın ağırlığı için

¹ Şekil 4.7 içerisindeki görseller easa.europa.eu sitesinden temin edilmiştir.

gereken kanat yüzeyinin ağırlığı için bir gövde yapısının ağırlığı kanat yüzeyini arttıracaktır. Ayrıca bu ağırlığı taşıması için ihtiyaç duyulan tepki gücü, bu tepkiyi yolculuk boyunca sağlaması için ihtiyaç duyulan yakıt düşünüldüğünde bir yolcu için yolcunun ağırlığının oldukça üzerinde bir ağırlığa ihtiyaç duyulacaktır.

Ekonomik Tatil Havayolları şirketi gibi gerçekte olamayan bir havayolu günümüzde en çok tercih edilen Boeing 737 tipi uçaklar için gözden çok fazla yolcu taşıma hedefini gerçekleştirmek için uçağın yapılandırılmasına bağlı olarak 215 yolcuya kadar yolcu alabilir [88]. Bununla birlikte yolcu için ihtiyaç duyulan ağırlık için ortalama bir yolcunun ağırlığı 75 kg, el bagajı 8 kg ve ortalama bagaj ağırlığı olarak ise 10 kg olarak hesaplanabilir. Böylelikle ‘Ekonomik Tatil Havayolları’ için taşıyacağı gerçek en yüksek ağırlık 19995 kg olarak bulunacaktır. Bu bilgiler f “Uçuş ağırlığının hesaplanması” başlığı altında detaylı olarak verilecektir.

Boeing 737 uçakları için 215 koltuk kapasitesine sahip olabilecek uçak modeli Boeing 737-800 olabilir. Bu uçak için ise MTOW yani kalkış için müsaade edilen en yüksek ağırlık verisi Boeing cetvellerinden 85139 kg olarak okunabilmektedir. Ekonomik Tatil Havayolları uçağın ağırlığı da dahil olmak üzere yaklaşık 20000 kg ağırlık uçurmak için 85139 kg’lık bir kütleyi havalandırmak zorundadır. Bu yapılandırma için en çok 5700 km kadar yol gidebilecektir [89]. Aynı zamanda bu mesafeyi gidebilmek için kullanacağı yakıt hacmi 29666 litre olacaktır. Bu yakıtın ağırlığı normal şartlar altında hesaplandığında 23675 kg olarak bulunabilir [90]. Basit olarak bu hesabı yorumlamak gerekirse Ekonomik Tatil Havayolları yolcuların ağırlığı olan yaklaşık 20000 kg yükü ve uçağın kuru yükü olarak kabul edilebilecek 38244 kg ağırlığı 5700 km kadar uçurabilmek için gittikçe azalacağı da göz önünde tutularak kendi kendini de hesaba katacak 23675 kg yakıtı ihtiyaç duymaktadır.

Yolcu başına ve aynı zamanda çevre için en ekonomik koşullar değerlendirilirse havayolu açısından taşınacak birim ağırlık uçağın toplam ağırlığının %27 sini oluşturmaktadır. Bir başka deyişle uçağın yolcuları bir yerden bir yere götürmek için kullandığı ağırlıkların dörtte üçü diğer dörtte bir olan amaç ağırlığının taşınması için kullanılacaktır.

Bu süreç içerisinde hesaplamanın yapılabilmesi için iki ayrı bilgi önem taşımaktadır. Uçağın ne kadar mesafe ve ne kadar süre ile bu hareketleri yaptığıdır. Uçağın, uçuş pistine indikten sonra terminal binasına doru ya da uçuş için terminal binası

ya da aprondan uçuş pistine doğru hareketleri her zaman aynı olmasa da bunun için bir yaklaşım geliştirilebilir. Ancak iniş ve kalkış için başlık 1.2 Sınırlar içerisinde bahsedilen 10 NM mesafesinin kullanılması yeterli olacaktır. Uçak hareketlerinin enerji tüketimi dolayısıyla etkisinin hesabının yapılabilmesi için uçak gövde özellikleri başına uçağın yapmakta olduğu birim uzaklığın kabullenilmiş olan mesafe boyunca yaptığı toplam enerji tüketimi aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$STE_{iLTO} = \sum_{a.c=1}^{a.c=n} ei_L d_L + \sum_{a.c=1}^{a.c=n} ei_{TO} d_{TO} + 2 \left(\sum_{a.c=1}^{a.c=n} ei_i d_i \right) \quad (4.2)$$

Yukarıda belirtilen Denklem 4.2'deki simgelem aşağıdaki gibidir.

STE_{iLTO} : İniş kalkış süreci için toplam uçak sayısına göre milipoint (mPt) olarak etki indeksi

$a.c$: Uçak sayısı

n : Toplam uçak sayısı

ei_L : Uçak inişi için birim kilometre başına mPt olarak etki indeksi

d_L : Uçak için iniş mesafesi

ei_{TO} : Uçak kalkışı için kilometre başına mPt olarak etki indeksi

d_{TO} : Uçak kalkış mesafesi

ei_i : Uçak için taksi yaparken oluşan boşta çalışma etki indeksi

d_i : Uçak için taksi yaparken gidilen taksi mesafesi

Yukarıdaki denklem 4.2'den de anlaşılacağı gibi bir yıl boyunca gerçekleşen her iniş ve kalkış etkinliği birbiri ile birleştirildiğinde bu uçaklar için yapılmış olan toplam bir indeks ortaya çıkacaktır. Fark edildiği üzere iniş için, kalkış için ve taksi hareketleri için farklı indisler gösterilmemiştir. Bu indeksin hesaplanabilmesi için uçağın Eko göstergeler açısından hareket durumuna göre etkisinin çıkarılması gerekmektedir. Örnek olarak taksi yolu boyunca harcanacak yakıtın kalkış boyunca harcanacak yakıtı oranı nedir sorusunun cevabı bu indisin bulunmasına yardımcı olabilecektir.

4.4.1 Havaalanları için ortalama taksi mesafesinin hesaplanması

Her havaalanının büyüklüğü, şehir içerisindeki konumu, arazi kısıtlarına göre pistin şekillendirilmesi, bu piste ulaşım için taksi yollarının konumlandırılmasını ve uzunluğunu değiştirecektir [91]. Bu sebeple her havaalanı için ortalama taksi uzunluklarının istenilmesi havaalanı etkisini değiştirecektir. Havaalanının bu bilgiyi bir performans göstergesi olarak kullanmaması ya da saklaması durumunda ise bu bilginin ortalama bir bilgi ile değiştirilmesi önemli olabilir. Bu ortalama değerin bulunması için büyük ya da küçük olmayan ortalama havaalanlarından yirmi beş havaalanındaki değerler kullanılmıştır.

Çizelge 4.3 : Yirmi beş havaalanının pist ve taksi özellikleri

Havaalanı	Maksimum Taksi (m)	Minimum Taksi (m)	1. Ortalama Taksi (m)	2. Ortalama Taksi (m)	Pist Uzunluğu(m)
Malpensa	5410	1180	2440	2610	4000
Arlanda	3430	670	2280	2120	2870
Brüksel	4430	1000	2710	2210	3213
Düsseldorf	4040	1000	1180	1350	2775
Dublin	2600	640	800	1030	2330
Londra Stansted	4190	620	950	1800	3000
Portela	3550	1410	1940	2330	3065
Vantaa	3460	1620	1690	1980	3183
Atina	4580	800	2940	2420	4045
Cenevre	3210	1170	1690	1860	3810
Hamburg	4020	460	2870	1800	3055
Pulkovo	2980	1510	2190	2220	3530
Málaga	3810	1090	1880	1470	3080
Vnukovo	3910	840	1100	1350	3240
Nice	2650	820	1730	1300	2695
Václav Havel	4220	800	2740	2340	3420
Adnan Menderes	3240	1360	2420	2120	3200
Frederic Chopin	3340	1090	1530	1770	3230
Londra Luton	241	1670	2000	1870	2020
Gran Canaria	3090	960	1620	1870	3065
Edinburgh	2270	500	1430	1740	1915
Sevilla	2800	1050	1620	2580	3400
Esenboğa	4140	658	3920	1170	3770
Tegel	2620	1040	1210	1920	3030
Manchester	3640	1040	2140	2120	2870

Yukarıdaki sunulmuş olan Çizelge 4.3'te de görülebileceği üzere minimum ve maksimum taksi uzunlukları belirli bir kümelenme göstermemektedir. Bu nedenle ortalama iki taksi mesafesi daha alınarak aritmetik ortalama ile havaalanı için yukarıda seçilmiş havaalanları ortalama büyüklükte olup havaalanı üst sınırdaki kullanılmamaktadır.

Bu havaalanları için en düşük ve en yüksek taksi uzunluklarının bu anlamda enerji etkisinin düşük olacağı düşünülebilir.

Ortalama taksi sürelerinin de belirli bir grupta olmaması rahatça anlaşılabilir. Bu değerler de çok kesin bir şekilde bir veri ortaya koyamamaktadır. Bununla birlikte birbirinden çok farklı olabilecek ortalama erişim sürelerinin havaalanlarında bir istatistik olarak tutulmadığı da saptanmış, tarama sonuçlarında bu konu ile ilgili elle tutulur bir veri yakalanamamıştır.

Yukarıda belirtilen sebepler dolayısıyla ortalama taksi mesafelerinin aritmetik ortalamalarının alınması bir çıkarsama yapmak için yardımcı olacaktır. Bu anlamda ortalama büyüklükteki bir havaalanı için taksi mesafesinin 2173 m olduğu kabullenilebilir. Bu değerin taksi süresi hesaplanmasında kullanılması uygun olacaktır.

Taksi süreleri kalkış ve inişler için farklılık gösterebilmektedir. Özellikle büyük havaalanları için taksi yapa kuralları günün saatlerine ve hava durumu özelliklerine göre anlık değişebilmektedir. Bu bilgilerin havaalanı tarafından tutuluyor olması ortalama taksi uzaklıklarının bulunmasına yardımcı olabilir.

4.4.2 İniş ve kalkış için eko göstergelerin hesaplanması

Eko göstergelerin hesaplanması için Tasarlayıcılar için Eko göstergeler [92, 93] manüellerinden öğrenilen uçak bilgileri aşağıdaki gibidir. Bu değerlerden de görülebileceği gibi tanımlanan mPt değeri uçağın ağırlık birimi metrik ton başına, her gittiği mesafe birimi olan km başına doluluk değeri yüzdesi başına verilmiş olan değerdir. Bir başka deyişle uçağın kat edeceği toplam mesafe ve uçağın ağırlığı ile çarpıldığında uçağın vermiş olduğu toplam çevresel etki değeri mPt cinsinden boyutsuz olarak bulunabilecektir. Çizelge 4.4'te Eko gösterge değerleri görülebilir.

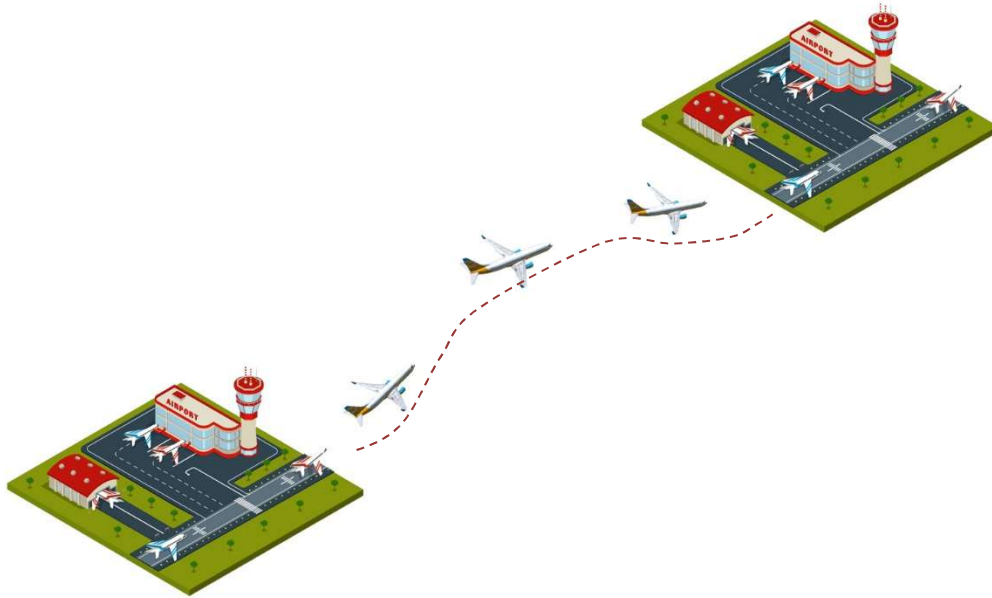
Çizelge 4.4 : Uçuşlar için milipoint (mPt) değerleri

Ulaşım tipi	Gösterge Değeri	Açıklama
	mPt metrik ton ve km başına	
Ortalama hava yolculuğu	78	%78 Doluluk ile (Tüm uçuşların ortalaması)
Küçük gövdeli uçak	120	Boeing 737 %62 doluluk ile (Tüm Boeing 737 uçağı ortalamaları)
Büyük gövdeli uçak	80	Boeing 747 %78 doluluk ile (Tüm Boeing 747 uçağı ortalamaları)
Büyük gövdeli uçak	72	Boeing 767 ya da MD 11 %71 doluluk ile (Tüm Boeing 767 ve MD 11 uçakları ortalamaları)

4.4.3 Ortalama uçuş mesafelerinin bulunmasının önemi

Çizelge 4.4'te görülebileceği üzere hesaplanmış olan veri havaalanını ilgilendirmekte olan iniş – kalkış sürecine göre hesaplanmamıştır. Bu veri uçak temel alınarak hesaplandığından dolayı kalkış havaalanından varış havaalanına doğru hareketin tamamını bir başka deyişle, bir yolcunun bakış açısından uçuşu ele almıştır. Tez süresince hesaplanmaya çalışılan verinin tamamı havaalanı kampüsünde yapılmakta olan enerji tüketimlerinin çevreye olan etkisini hesaplamaya yöneliktir.

Şekil 4.8'de görüldüğü gibi kalkış havaalanı olan A'dan iniş Havaalanı olan B'ye uçakların gidiş mesafesi her havaalanına göre farklılık gösterir. Çizelge 4.4'te verilmiş olan değerlerin ortalama veri üzerinden bulunduğu açıktır. Bu bilgiler uzun ve kısa uçuşların bir ortalaması olarak uçuş boyunca sabit olduğu kabul edilen veridir. Ancak uçak başına yapılan hesaplama yerine havaalanındaki iniş – kalkış süreci için hesaplama yapılması düşünüldüğünde ortalama uçuş uzunluğunun bulunması ve bu uzunluk içerisinde uçuşun fazlarına göre kullanılmakta olan yakıt miktarının uçuş fazlarına göre oranlanarak yeniden değerlendirilmesi gerekmektedir.



Şekil 4.8 : Kalkış ve iniş havaalanlarına genel bir bakış²

² Şekil 4.8 içerisindeki görseller 123rf.com sitesinden temin edilmiştir.

Bir başka önemli konu ise mPt verisinin uçağın sadece enerji ihtiyacını değil, üretim ve yok etme süreçlerini de kapsıyor oluşudur. Örnek olarak bir Boeing 737 uçağın yaklaşık olarak kuru ağırlığının en yüksek kalkış ağırlığı, yolcu ağırlığı ve maksimum yakıt ağırlığı bilgileri çıkartılarak elde edilebilir. Bu bilgi detayları ile f başlığının içinde aktarılacaktır. Uçağın kuru ağırlığı bilgisinin 41140 kg olduğu bulunacaktır. Bu bilgi aynı zamanda birçok uçak için üretici kitaplarında bulunabilen bir bilgidir. İşletme boş ağırlığı ya da Operational Empty Weight (OEW – İşletme Boş Ağırlığı) olarak aranabilir [94].

Eko göstergelerin tasarımcılar için kitabından sayfa 39'dan elde edilebilecek bir kg alüminyum materyali için 780 mPt harcanmaktadır. Daha detaylı uçağın malzeme olarak ağırlıklarını detaylandırmak mümkün olabilir. Ancak sadece uçağın döküm alüminyum ile üretildiği düşünülse dahi, üretim açısından etkisi 32089200 mPt olacaktır. Bu bilgiyi uçağın ömrü boyunca yapacağı sefer sayısı olan ortalama değeri günde iki uçuş ve Çizelge 4.5'te gösterildiği üzere 18,5 yıl amortisman ömrü temel alınarak hesaplandığında 13505 uçuş olarak bulunacaktır [95]. Toplam etki mil başına 2,1 mPt olarak çıkmaktadır. Uçuş başına toplam etkinin mil başına 120 mPt metrik ton km olduğuna göre toplam etki hesaplandığında bir uçuş başına toplam etkinin 10060459 olduğu hesaplanır. 10 milyon içerisindeki 2.1 mPt olan bir etkinin hesaplara katılması doğru olmayacaktır.

Bununla birlikte unutulmaması gereken bir konu ise hesaplamaların üretim açısından abartılmış olduğudur. Plastik bileşenlerin üretim etki değerinin 20 de biri, olduğu atlanmamalıdır. Küçük gövdeli uçakların Türk Hava Sahası içinde beş bacak olarak bilinen gün içinde beş kez uçuşması da eklendiğinde söz konusu verinin uçuş başına etkisinin milyonda bir mertebesine ineceği unutulmamalıdır. Aynı zamanda üretim çevre etkisinin enerji konusunda bir etkisi bulunmamaktadır ve uçak malzemesinin üretildiği ya da uçak malzemesinin birleştirildiği bölgede bir etkiye sahip olduğu da kolaylıkla anlaşılabilir. Bu iki görüş ve çevresel etkinin milyarda bir mertebesinde olması çevresel etkinin ancak ve ancak yakıt harcaması noktasında olduğu ve bunun hesaplanmış mPt değerine eşit olduğu kabul edilecektir.

Bu sonuç büyük gövdeli uçaklar için hesaplandığında ise toplamda üretim açısından 137490600 mPt etki oluşmuş ve aynı zamanda uçuş başına 126862995 mPt etki oluşturuyor olduğudur. Basit olarak bir uçuş ile üretim açısından tüm etkiler tek başına oluşturulmaktadır. Bu anlamda büyük gövdeli uçaklar için de üretim

etkileri göz ardı edilecek ve toplam metrik ton başına mesafe etkisinin hepsinin uçak yakıtının yakılması dolayısıyla olduğu kabul edilecektir.

Çizelge 4.5 : Havayollarının uçak amortisman süreleri

Havayolu/Yıl	En Düşük	En Yüksek
	Yıl	Yıl
Air Astana	10	20
Air China	15	30
Air France-KLM Group	20	25
EasyJet Aircraft	23	23
Emirates Group	15	15
Kenya Airways	17	17
Lufthansa Group	20	20
Singapore Airlines	15	20
South African Airways	5	20
Turkish Airlines	20	20
Ortalama	16	21
Ortalama	18,5	

Bu noktada ortalama mesafenin bulunması uçuş açısından çok önemli olduğu kabul edilecek ve ortalama uçuş mesafesi verisi kullanılacaktır. Bu aşamada yapılan araştırmalar sonrasında bu veriyi sağlamak için öne çıkan ortam Eurocontrol DDR2 veri tabanı olmuştur [96]. Doğrudan Talep edilen Bilgi Havuzu ya da DDR2 Direct Demand Repository 2 olarak isimlendirilmiş bir platformdur. Bir ara yüz kullanıcıların kayıt olma işlemlerinden sonra kendilerine ait sorgulamaları yapmakta oldukları bir veri tabanıdır [97].

Bu veri tabanından elde edilen veri S06 şeklinde ilgili veri tabanında ait özellikte ve büyük boyutlarda olması nedeniyle sorgulanmasını güçleştirmektedir. Örneğin Boeing 737 800 uçağı için 2015 yılına ait bütün Türkiye Hava Sahası verisi toplamda 307920 adet uçuş için toplamda yaklaşık 15 milyon kayıttan oluşmaktadır. Verinin bu çeşit uygulamalarda analiz edilmesi pratik ve teorik olarak mümkün değildir. Bu sebeple ayrı bir veri tabanı içerisine aktararak ilgili sorgulamalar yapılmıştır.

4.4.4 Eurocontrol veritabanları ve DDR2 SO6 veri çıktıları

Eurocontrol dörder haftalık periyot ile sabitlenmiş bir metodoloji ile haftalık olarak AIRAC ismi verilen verileri toplamaktadır. Bu periyotlarla toplanan veri 56 günde

çift AIRAC periyodu ya da 28 günde tek AIRAC periyodu olarak yayınlanır ve Aeronautical Information Regulation And Control teriminin baş harfleri kullanılarak üretilmiş bir terimdir [97]. Bu veri uçuş rotasının tüm parçalarını, uçağın kalkış ve varış limanlarını, uçağın tipini, rota içerisinde bulunan tüm uçuş bölümlerini ve bunun benzeri tüm uçuş bilgilerini içerisinde saklayan veridir. Bu verinin listesi aşağıda görülebilir. Bahsi geçen veri sorgu sonrasında SO6 adı verilen yığın veri olarak kullanıcıya ulaştırılabilmektedir [98].

1. Parça belirteci (Segment Identifier),
2. Uçağın kalkış limanı (Origin of Flight),
3. Uçağın varış limanı (Destination of Flight),
4. Uçak tipi (Aircraft Type),
5. Parça belirteci zaman başlangıcı (Time Begin Segment),
6. Parça belirteci zaman bitişi (Time End Segment),
7. Parça belirteci uçuş yüksekliği – Başlangıç (FL Begin Segment),
8. Parça belirteci uçuş yüksekliği – Bitiş (FL End Segment),
9. Durum (Status),
10. Uçak ismi (Callsign),
11. Parça Belirteci tarih başlangıcı (Date Begin Segment),
12. Parça belirteci tarih bitişi (Date End Segment),
13. Parça belirteci enlem başlangıcı (Latitude Begin Segment),
14. Parça belirteci boylam başlangıcı (Longitude Begin Segment),
15. Parça belirteci enlem bitişi (Latitude End Segment),
16. Parça belirteci boylam bitişi (Longitude End Segment),
17. Uçuş belirteci (Flight Identifier),
18. Ardışık parça belirteci (Sequence),
19. Parça belirteci uzunluğu (Segment Length),
20. Parça belirteci benzerliği ya da rengi (Segment Parity/Color),

Bahsi geçen veri birbirinden boşluk karakteri ile ayrılmış olarak gelmektedir. Bilgilerin yığın olarak kullanılması mümkün değildir ve bunları inceleyecek programlara göre şekillendirilmesi gerekmektedir. Bunun için Microsoft Excel uygulamasından

yararlanılmıştır. SO6 verisi için genel tabir olarak csv yöntemi kullanılmıştır. CSV, Comma Seperated Values anlamına gelen bir ayırıcı karakter ile bilgilerin birbirinden ayrılması mantığında düzenlenmiştir. SO6 için boşluk karakteri “ ” kullanılmıştır. Veri tabanı için tablo tasarımını gösteren bir açıklama Çizelge 4.6’da yer almaktadır.

Microsoft Excel uygulaması ile bu veri pratik olarak incelenebilecek formata çevrilmiş olabilse dahi, incelenecek olan kayıt sayısı arttığında pratik çözümler elde edilememektedir. Bu sebeple SQL veri tabanı kullanımı ile veri başka bir SQL veri tabanına aktarılarak sorgulama yapılabilir hale gelmektedir. Sorgulamanın birkaç milyon kayıt arasından istenilen şekilde yapılabilmesi için veri tabanındaki bazı alanların dizin olarak düzenlenmesi gerekmektedir. Bu amaçla oluşturulmuş olan veri tabanı tablosuna Çizelge 4.6’da yer verilmiştir.

Çizelge 4.6 : Veri tabanı yapısı

Sıra No	İsim	Veri Tipi
1	Segment_Identifier	varchar(12)
2	Origin_Of_Flight	varchar(4)
3	Destination_Of_Flight	varchar(4)
4	Aircraft_Type	varchar(4)
5	Time_Begin_Segment	Int(11)
6	Time_End_Segment	Int(11)
7	FL_Begin_Segment	Int(11)
8	FL_End_Segment	Int(11)
9	Status	varchar(1)
10	Callsign	varchar(12)
11	Date_Begin_Segment	Int(11)
12	Date_End_Segment	Int(11)
13	Latitude_Begin_Segment	float
14	Longitude_Begin_Segment	float
15	Latitude_End_Segment	float
16	Longitude_End_Segment	float
17	Flight_Identifier	Int(11)
18	Sequence	Int(11)
19	Segment_Length	float
20	Segment_Parity_Color	Int(11)

Bu çizelgedeki özelliklerin uygulanması yapılacak sorgunun başarılı olması için önemlidir. Önemli konulardan birisi sayı olarak tutulacak veri ile harf sayı karışık (alfa sayısal) olarak tutulacak verinin durumu olmaktadır. Sayı olarak tutulacak veri ardışık parça belirteçleri boyunca parça belirteci segmentlerini toplamayı ya da benzer şekilde süre toplamını bulmaya yardımcı olacaktır. Toplamların bulunması için SQL veri tabanlarının “SUM” yani toplama fonksiyonu kullanılmaktadır. Bununla birlikte alanların küçük tutulması milyon satırlar söz konusu olduğunda sorguların hızlanması ve veri tabanının daha az yer kaplaması adına önemlidir.

Bir başka önemli konu ise veri tabanlarının hangi arama ve sınıflandırma yöntemine göre oluşturulacağı ve bu veriyi saklayacağıdır. Ücretsiz ilişkisel veri tabanlarının içerisinde bulunan MySQL (Maria DB) ile PostGre SQL veri tabanlarının arasında bir kıyaslama yapıldığına MySQL’in yapılandırma ayarlarının kolaylıkla yapılabilmesi dolayısıyla seçilmesi daha uygundur. PostGre SQL bu konuda daha profesyonel ayrıca daha kararlı yapısı nedeniyle yavaş olduğu bilinmektedir [99]. Bu sebeple MySQL ile sorgu yapılmasının uygun olacağı anlaşılmıştır. Ancak MySQL içerisinde kullanılmakta olan arama ve sorgu motorlarının özelliği önemlidir. Seçenekler MyISAM, InnoDB, MERGE ve HEAP arama motorlarının kullanılması gerektiği şeklinde daralmaktadır. Bu motorlardan MyISAM kullanıcıların ve uzmanların hız bakımından yapmış oldukları tecrübeler ile öne çıkmaktadır [100]. Tablo MyISAM arama motoru ile yapılandırılmış ve SQL sorguları yazılmıştır.

SQL sorguları aşağıdaki gibidir. Bu SQL sorguları ile yapılmak istenilen ortalama bir uçuş mesafesinin bulunmasıdır. 4.4 “Uçak Hareketleriyle Oluşan Etkiler” bölümünde anlatıldığı üzere ihtiyaç duyulan veriden birisi de uçağın yolculuğu boyunca, yani uçağın kalkış havaalanında pist başında hazır bulunuşu bir başka deyişle taksi hareketinin sonu itibarı ile başlayan ve sırasıyla hızlanma, kalkış, tırmanma, düz uçuş, alçalma, iniş ve durma hareketlerinden sonra iniş havaalanında taksi hareketine başladığı zamana kadar tüm hareketlerinin toplamı için ortalama uzaklık bilgisinin bulunması gerekliliğidir. Bu sorgunun açılımı aşağıda görülebilir. Bahsi geçen veri Boeing 737-800 uçağı için 611,03 NM, Boeing 747-400 uçağı için 3761,58 NM ve Boeing 767-300 uçağı için 2272,31 NM olarak bulunmuştur.

```

SET @rank=0;
select
    @rank:=@rank+1 AS rank,
    Flight_Identifier,
    SUM(Segment_Length) AS 'NM' from ths_2015_b738 where
    (Origin_Of_Flight not like Destination_Of_Flight)
group by Flight_Identifier with rollup; SET @rank=0;

```

Sorgular üç adet tabloda yapılmıştır. Bu tablolar sırası ile ths_2015_b738, hhs_2015_b744 ve ihs_2015_b763 tablolarıdır. Bu tabloların açıklamaları aşağıdaki görülen Çizelge 4.7'deki gibidir. Veri tabanı isimlendirme şablonu olarak XXX_XXXX_XXXX kullanılmıştır.

Çizelge 4.7 : Veri tabanı Tabloları

Tablo İsmi	XXX	XXXX	XXXX
ths_2015_b738	ths : Türk Hava Sahası	2105 Yılı	b738 : Boeing 737-800
hhs_2015_b744	hhs : Hollanda Hava Sahası	2015 Yılı	b744 : Boeing 747-400
ihs_2015_b763	ihs : İngiliz Hava Sahası	2015 Yılı	b763 : Boeing 767-300

Yukarıda verilmiş veri tabanı isimleri için yapılmış sorgular sonucunda bulunan veri için toplam olarak aşağıdaki çizelgede görülen kayıt sayıları kullanılmıştır. Boeing 737-800 uçağının daha fazla tercih edilmesinin sebepleri uçuş sayısının fazlalığı ile anlaşılmaktadır. SQL sorgu cümlesinde görüleceği üzere Flight identifier olarak görülen uçuş ayrıştırıcısı bu uçuşların toplamalarının uçuş numarasına göre gruplanmasını sağlamıştır. En son olarak bulunan toplam büyüklük ise uçuş sayısına bölünmüş ve sonuç elde edilmiştir. Sonuçlar Çizelge 4.8'de görülebilir.

Çizelge 4.8 : Toplam uçuş kayıtları

Tablo İsmi	Toplam Kayıt Sayısı	Ortalama Uçuş Mesafesi
ths_2015_b738	307920	611,03 NM
hhs_2015_b744	9582	3761,58 NM
ihs_2015_b763	18487	2272,32 NM

Boeing 737 uçakları için Türkiye, Boeing 747 uçakları için Hollanda ve Boeing 767 uçakları için İngiltere'nin seçilmesinin sebebi olabildiğince daha fazla uçak seçebilmek ve bu uçaklar ile birlikte ortalama sonucun daha doğru hale getirilmesi ve

standart sapma deęerinin dūřūrölmesidir. Bu řekilde daha doęru bir bilgi edinilebilecektir.

4.4.5 Uçuşun fazları boyunca enerji açısından çevresel etkilerin incelenmesi

Uçuř boyunca oluşan etkilerin üretim sūrelerinden ayrıştırılması sonrasında uçuř boyunca bu etkilerin değişiminin incelenmesi havaalanı iniř ve kalkış sūreleri açısından nasıl oluştuğunu gōsterebilecektir. Bu anlamda, uçuşun evrelerinin incelenmesi ve evrelerde uçak motorunun tepkisi, dolayısıyla yakmış olduğu yakıtın miktarının değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu şekilde yakıtın uçuř fazına gōre oranı uçuř fazlarına gōre eko gōsterge miktarının değişiminin anlaşılmasını sağlayacaktır.

Uçak boyunca uçak motorunun nasıl hareketler yaptığını ve ne kadar yakıt yaktığını anlamak için bazı verinin deęerlendirilmesi gerekir. Bu veriden birisi uçuřun hangi fazında ne kadar yakıt yakıldıęının tespit edilmesi olabilir. Bir bařka yōntem ise uçuřun hangi fazında ne kadar gūce ihtiyaç duyulduęunu ōlmek ya da hesaplamak olabilir. Bunların dıřında bir yōntem ise uçak motorunun tūm deęerlerini incelemek ve bunlara gōre karar vermek olabilir. Bu çeřit bir çalıřmayı yapmakta olan bir Avrupa kurumu olan ICAO ve EASA uçuř gūvenlięi veri tabanları sayesinde bu bilgileri elde edebilmek mūmkūn olabilmektedir.

Bu bilgiler uçuř gūvenlięi arařtırmaları ile birlikte ōlūlmektedir. Ancak uçak ile ilgili bir verinin ōlūlmesi uçuř gūvenlięini uçaęın kalkıřı ve iniři kadar ilgilendirmemektedir. Bu bilgi uçaęın dūz uçuř bilgileridir. Bu bilgiler havayolu hedeflerine gōre deęiřiklik gōsterebilmektedir. Bazı havayolları dūz uçuř sūresince dięer uçaklardan daha hızlı uçmayı tercih edebilir. Bazı havayolları ise hızlarını dūřūrerek uçuř ekonomisi ile ekonomik uçuřları deęerlendirmek isteyebilir. Sōz konusu sebeplerle uçuř sūresi boyunca elde edilen bu veri uçuř gūvenlięi adına EASA tarafından deęerlendirilmemektedir. Ancak bu veriye ulařmak mūmkūndūr. Yapılacak olan etki deęerlendirmesi için ortalama bir deęer hesaplanmış ve kullanılabilir durumdadır. Ařaęıdaki gōrūlen izelge 4.9’da uçuř fazlarına gōre uçak motorlarının gū parametreleri gōrūlmektedir [101, 102].

Çizelge 4.9 : *Uçuş evrelerine göre uçak motoru tepki oranları*

Uçuş Evresi	Tepki Yüzdesi
	%
Taxi	7,00
Runway	100,00
Takeoff	100,00
Climbing	85,00
Cruise	~25,00
Descent	~25,00
Landing	30,00
Runway'	30,00

4.4.6 Uçuş ağırlığının hesaplanması

Uçaklar ile ilgili çevresel etkilerin boyutsuz olan eko göstergeler ile yapılabilmesi için önemli parametrelerden birisi de bu hesap için ortaya konulmuş olan uçak doluluk miktarının kullanılması ve uçak başına bir ortalama verinin ortaya çıkarılması olacaktır. Her uçağın havayolu şirketinin standartlarına, yolculuk mesafesine ve içinde bulunan yolcu sayısının, bilet satışına ve bu satılmış biletlerin trafik, uçuş hakkı, vize işlemleri gibi birbirinden oldukça farklı işletme şartlarına göre ortaya koymak ve hesaplamak ve bunların her birisini ağırlık bilgisine çevirmek ve ayrıca tüm uçakların verisini bir yıl boyunca toplayarak yolcu sayısına göre bir çıkarımda bulunmak kolay olamayacaktır. Bu sebeple eko göstergeler için önceden hesaplanmış olan küçük gövdeli uçak ortalaması olan değerin kullanılması daha da uygun olacaktır. Bu bilgiler Çizelge 4.10'da gösterilmiştir [101].

Çizelge 4.10 : *Büyük ve küçük gövdeli uçaklar için eko göstergeler*

Uçak Tipi	Eko Gösterge - mPt
Diğer Uçaklar	78
Boeing 737	120
Boeing 747	80
Boeing 767	72
Geniş Gövdeli Uçaklar	76
Küçük Gövdeli Uçaklar	120

Yukarıdaki çizelgede görüldüğü gibi büyük ve küçük gövdeli uçaklar dışında diğer uçaklar olarak belirtilen veri bu sınıflandırmanın dışında kalan iş jetleri şeklindeki

uçaklar için hesaplanan bir bilgidir. Tüm hesaplanmış veri milipoint cinsinden ve (km-ton)⁻¹ olarak verilmektedir. Başka bir deyiş ile uçak başına etkinin bulunabilmesi için uçağın gitmekte olduğu mesafenin ve uçağın ağırlığının tespit edilmesi gerekmektedir. Uçakların havaalanı içerisinde hesaplanacak olan mesafe verisi bir sonraki başlık olan 4.4.7 “Uçuş evrelerinin uzunlukları ile fazlar boyunca kullanılan yakıt miktarına göre Eko göstergenin ağırlıklı karşılığının hesaplanması” başlığı altında daha detaylı ele alınacaktır. Bu bölümde sadece uçakların ağırlıklarının hesaplanması irdelenecektir. Bu tez boyunca sadece en çok kullanılmakta olan küçük gövdeli ve büyük gövdeli uçaklar ele alınacağından dolayı iki uçak tipi için ağırlıkların hesaplanması önemlidir. Eko göstergeler için yayınlanmış olan el kılavuzlarından anlaşılabileceği üzere büyük gövdeli uçak için % 78 oranında bir doluluk ve küçük gövdeli bir uçak için % 62 oranında bir doluluk kabullenmesi yapılmıştır. Bahsi geçen doluluk miktarları için hesaplamaların yapılabilmesi için öncelikle uçakların ağırlıkları ile ilgili tanımlamalar değerlendirilmiştir. Bu tanımlamalar aşağıdaki Çizelge 4.11’de görülmektedir [103].

Çizelge 4.11 : Uçak ağırlıkları terimleri

Terim	İngilizce Karşılığı	Türkçe Karşılığı
MDTOW – MTOW	Maximum Design Take-off Weight – Maximum Take-off Weight	En Yüksek Tasarım Kalkış Ağırlığı – En Yüksek Kalkış Ağırlığı
MDLW – MLW	Maximum Design Landing Weight – Maximum Landing Weight	En Yüksek Tasarım İniş Ağırlığı – En Yüksek İniş Ağırlığı
OEW	Operational Empty Weight	İşletmesel Boş Ağırlık
	Payload	Kaldırılabilir yük
MFW	Minimum Flight Weight	En Düşük Uçuş Ağırlığı
MEW	Manufacturer’s Empty Weight	Üreticinin Boş Ağırlığı
AZFW	Actual Zero Fuel Weight	Gerçek Sıfır Yakıtlı Ağırlık
AGW	Actual Gross Weight	Gerçek Tam Ağırlık
TF	Total Fuel	Toplam Yakıt Ağırlığı

Çizelge 4.12’den de anlaşılabileceği üzere havacılıkta kullanılmakta olan birçok ağırlık bulunmaktadır. Bu ağırlıklar uçağın tasarımı sırasında bulunmuş olan kanatların kaldırabileceği ağırlıklar ve bu ağırlığın güvenle uçabilmesi için ve uçağın gerekli itki kuvvetinin sınırlarında işletilebilmesi için gerekli hesaplama denklemlerinde kullanılır. Çalışma kapsamında ihtiyaç duyulan nokta, uçağın % 62 ve % 78 noktasında yüklü ağırlığı için uçağın hangi yükü barındırdığını ortaya koyabilmektir.

Çizelge 4.12 : Küçük ve Geniş gövdeli uçaklar için eko göstergeler için kullanılacak uçuş ağırlıkları

Uçak Tipi	MTOW	En yüksek Yolcu Ağırlığı	En Yüksek Yakıt Ağırlığı	Uçak başına Eko Gösterge Ağırlıkları
Küçük Gövdeli Uçaklar				
Airbus 320	73500	18600	31400	54500
Airbus 321	93500	23400	45400	67356
Boeing 737	79016	20540	37876	56817
Boeing 757	113400	31600	49750	82487
Geniş Gövdeli Uçaklar				
Airbus 330	233000	51700	109900	197448
Airbus 340	380000	67200	203000	320556
Boeing 747	412760	67900	228920	347459
Boeing 777	351510	68500	182810	296221

Hesaba Katılacak Kalkış Ağırlığı	Küçük Gövde =	65290,23
Hesaba Katılacak Kalkış Ağırlığı	Geniş Gövde =	290421,4

Söz konusu yük değerinin bulunabilmesi için aşağıdaki denklemi kullanmak gerekir.

$$W_{ei} = MTOW - (TF_W + TP_W) (1 - \text{Yükleme Oranı}) \quad (4.3)$$

Yukarıdaki gösterilmiş olan Denklem 4.3'te kullanılmış olan simgeleme aşağıdaki gibidir. Aşağıda görülebilecek olan Çizelge 4.11'de ise bu hesabın sonuçları ve geniş gövdeli uçak ve küçük gövdeli uçaklar için ortalama ağırlıklar bulunmuştur.

W_{ei} : Uçak çevresel etkisi için kullanılacak olan ağırlık, kg

TF_W : Toplam Yakıt, kg

TP_W : Toplam yüklenebilecek faydalı yük, kg

Yukarıdaki gösterilmiş olan Çizelge 4.12'de uçak ağırlıklarının küçük ve büyük gövdeli uçaklar için sonuçlarının hesaplanması ile bir uçak tipine göre hangi verinin kullanılacağı tespit edilmiştir.

4.4.7 Uçuş evrelerinin uzunlukları ile fazlar boyunca kullanılan yakıt miktarına göre Eko göstergenin ağırlıklı karşılığının hesaplanması

Başlık e ve başlık c’de anlatıldığı üzere ağırlıklı olarak uçuş evrelerine göre belirlenmesi ile Eko gösterge tarafından uçuş boyunca ortalama olarak bulunmuş olan değerlerin uçuşun kalış iniş kısmına karşılık gelen tarafları bulunabilecektir. Bunun için öncelikle uçuş için bulunmuş olan ortalama uzaklık verisinin f başlığında hesaplanmış olan uçuş kalkış ağırlığına göre hesaplanmış olan eko gösterge ile çarpılması ve bu değerlerin uçuş evrelerine göre mesafelere ve motor tepki oranlarına göre derecelendirilerek tekrar bulunması gerekmektedir. Bu işlem aşağıdaki gibi matematiksel olarak ifade edilebilir. Öncelikle uçuş mesafesinin bileşenleri Denklem 4.4’deki gibi ifade edilebilir.

$$L_F = L_{RWY} + L_{TO} + L_{CLI} + L_{CRU} + L_{DES} + L_{APR} + L_{RWY'}, \quad (4.4)$$

Denklem 4.2’deki simgeleme aşağıda belirtilmiştir.

L_F	: Uçuş için toplam uzunluk, NM
L_{RWY}	: Kalkış havaalanı pist uzunluğu, NM
L_{TO}	: Kalkış mesafesi, NM
L_{CLI}	: Tırmanma mesafesi, NM
L_{CRU}	: Düz uçuş mesafesi, NM
L_{DES}	: Alçalma mesafesi, NM
L_{APR}	: Yaklaşma mesafesi, NM
$L_{RWY'}$	: İniş havaalanı pist uzunluğu, NM

Kalkış ve iniş için mesafe sınırın 10 NM olduğunu ve tırmanma ile alçalma için bu değer 30 NM olduğu düşünüldüğünde Çizelge 4.9’da iletilmiş veri ile bütün uçuş segmentlerinin değerleri ağırlıklandırarak bulmak gerekmektedir. Bu değere ulaşmak için mil başına ağırlıklı etki çarpanını bulmak gerekmektedir. Ağırlıklı etki çarpanı denklem (4.3)’deki gibi hesaplanabilir.

$$A_{WM} = \frac{L_F \cdot ei}{\sum_{L_x} (L_x \cdot P_{Thrus})} \quad (4.5)$$

Denklem 4.5'te görülen simgeleme aşağıdaki gibidir.

- A_{WM} : Uçak motorunun güç etkisine bağlı olarak bulunan ağırlıklı ortalama
- ei : Uçak tipi için Eko gösterge değeri, mPt
- L_x : Uçuş segmenti, Denklem 4.5'deki her bir uçuş segmenti için hesaplanacaktır, NM
- P_{Thrust} : Uçak segmenti güç yüzdesi, %, Çizelge 4.9'dan elde edilecek uçuş segmenti ile ilgili güç yüzdesi bilgisi ile hesaplanacaktır.

Denklem (4.3) ile hesaplanmış olan bilginin hesaplanması sonrasında bu bilgi her uçuş bölümünde toplam etkinin çıkartılması için kullanılacaktır. Bu kez uçuş bölümü için kullanılacak tüm Eko gösterge bilgisinin hesaplanabilmesi için ağırlıklı etki çarpanının uçuşun ilgili bölümündeki ağırlıklı etkisiyle çarpılması ve birim uzaklığa indirilmesi gerekmektedir. Bu işlem için Denklem 4.6 kullanılacaktır.

$$ei_{F-Seg} = A_{WM} L_x \quad (4.6)$$

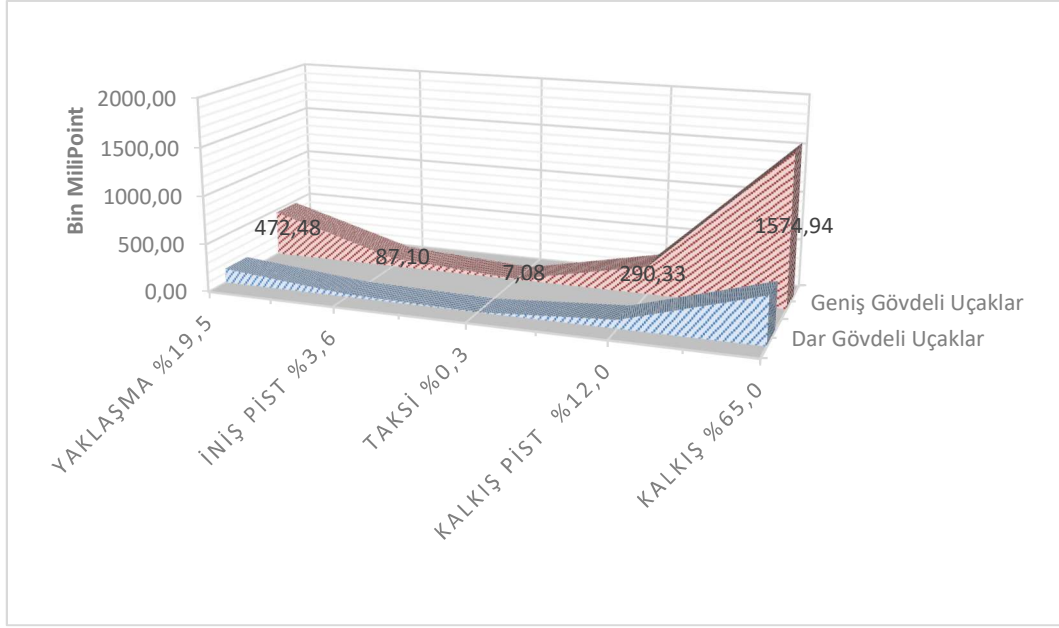
Denklem 4.6'da görülen simgeleme aşağıdaki gibidir.

- ei_{F-Seg} : Büyük gövdeli ya da küçük gövdeli uçak için uçuş bölümüne ait Eko Gösterge değeri, mPt, Ton başına

Denklem (4.5), (4.6) kullanılarak hesaplanmış veri aşağıdaki Çizelge 4.14'te ve Şekil 4.9'da görülebilir. En yüksek oranın kalkış sırasında olduğu gözlemlenmektedir. Bir LTO sürecinin en yüksek etkisi %65 gibi bir oran ile kalkış sırasında oluşmaktadır.

Çizelge 4.14 : Bir uçak için LTO Sürecine özel Eko gösterge değerleri (mPt)

Yaklaşma (10 NM)	İniş Pist (1,84 NM)	Taksi (1 km)	Kalkış Pist (1,84 NM)	Kalkış (10 NM)	Toplam (taksi dışında)
Küçük gövdeli uçak					
147578,34	27204,78	2211,73	90682,59	491927,81	757393,51
Büyük gövdeli uçak					
472480,61	87097,67	7080,98	290325,56	1574935,38	2424839,22



Şekil 4.9 : LTO Sırasında oluşan etkilerin LTO fazına göre değişimleri

4.5 Yer Hizmetlerinin Oluşturduğu Etkiler

Havaalanlarında uçakların kalkışa hazırlanması için oldukça yoğun bir çalışma ortamı bulunur. Bu çalışma ortamı zaman kritik süreçleri düzenleyebilmek için bir başka deyiş ile uçak gelip tüm yolcularını indirip yarım saat içerisinde tekrar kalkabilmek için zamanla yarışılır. Her havayolunun yerde kalma hedefi farklı olmasına karşın genel olarak bu süre düşük bütçeli havayolları için yarım saat diğer havayolları için bir saat olarak düşünülebilir. Bu sürenin öncesinde bütün çalışmaların aşağıdaki noktalara göre tamamlanmış olmalıdır.

- Uçağın yer elektrik ve havalandırma cihazlarına bağlanması,
- Uçakta bulunan tüm yolcuların, bagajların, kargoların ve gerekiyorsa personelin hızlıca boşaltılması,
- Uçak açığa yanaşmış ise merdiven yanaştırılması ve yolcuların otobüsler ile terminale götürülmesi,
- Uçağın temizlik işlerinin yapılması,
- Uçağın ikram ile ilgili hazırlıklarının yapılması,
- Uçağın teknik hazırlıklarının yapılması,
- Uçağa uçacak yolcuların bagajlarının yüklenmesi,
- Uçağın yolcularının bindirilmesi,

- Uçağın geri ittirilerek motor çalıştırmasının sağlanması,

Uçağın hareketine hazırlanırken alacağı servisler uçak başına oluşan etkiyi tanımlamak için kullanılacaktır. Bu hizmetlerin tamamı yer hizmetleri olarak isimlendirilebilir. Yer hizmetleri, uçak yerde ve uçmuyorken alınan hizmetlerinin bütünüdür. Bu bütün içerisinde

- Uçaklar yerdeyken ihtiyaç duydukları enerjiyi alacakları GPU cihazları,
- Uçağın park ettiği noktadan havalanmak üzere taksi hareketine başlayacağı noktaya götüren Push Back (Geri İtekleme) araçları,
- Yolcuların ya da uçağa hizmet verecek çalışanların uçağın içine girmelerini ya da uçaktan inmelerini sağlayan yolcu merdiven araçları,
- Terminal binasından uzakta park etmiş uçaklara yolcu taşımak için kullanılan yolcu otobüsü araçları,
- Uçakların tekrar uçabilmeleri için yakıt ikmalini yapan yakıt pompalama araçları,
- Yolcular için havada yapılacak yeme içme, su, tuvalet gibi ihtiyaçları için yerde kullanılan Catering and Service (İkram ve Hizmet) araçları,
- Yolcuların bagajlarının taşıyıcılar ile yüklenmesi için kullanılan Cargo and Container Loader (Yük ve Taşımalık Yükleme) araçları,
- Yük ve Taşımalık kullanılmayan uçaklar için yolcu bagajlarını yüklemek için kullanılan Belt Loader (Şerit yükleyici) araçları,
- Bagajların yüklendiği taşımaları ya da kasaları çekmek için kullanılan çekici (Baggage Carts) araçları,
- Uçakların tuvaletlerine hizmet vermek için kullanılan hizmet (Lavatory Service) araçları,
- Uçaklar yerde uçuş arasında yapacakları teknik hizmet araçları,

Şeklinde listelenebilecek cihazlar ya da araçlar kullanılmaktadır.

Bu aşamaların yapılabilmesi adına birçok cihaz, alet ve araç kullanılmaktadır. ICAO Havaalanı Hava Kalitesi dokümanında yukarıdaki adımlar aktarılmaktadır [104]. Bütün yukarıdaki aktivitelerin içerisinde uçaklar ile ilgili enerji sarfiyatı yapılan ortak noktaların belirlenmesi ve uçak başına bir modelin oluşturulması gerekmektedir. Bu sebeple her uçak başına bir seçim oluşturulması gerekmektedir. Bununla birlikte uçaklar için uçağın büyük gövdeli ya da küçük gövdeli olması bir etkindir. Bu sebeple büyük

gövdeli uçaklarla küçük gövdeli uçaklara verilecek hizmetler dolayısıyla da bu uçaklar için harcanacak enerji miktarları değişecektir.

Benzer bir bakış açısından bir başka kriterin daha değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu ise açığa yanan uçaklar ile terminal binasına yanan uçakların aldıkları hizmetlerin farklılaşmasıdır. Bu farklılaşma kullanılacak enerji miktarını değiştirecektir. Basit bir örnek vermek gerekir ise uçağın alacağı elektrik ve havalandırma hizmeti terminal binasına yanaştığında havaalanının kurulu gücü içerisinde kalacaktır ve etkisi bu iş için bir ek bir enerji sarfiyatını gerektirmeyecektir. Ancak uçak açığa yansa yer güç ünitesi bu iş için ayrıca çalıştırılmak zorunda kalacaktır. Bir başka örnek ise uçağa yolcuları taşımak için kullanılacak olan otobüsler ile ilgili olacaktır. Her küçük gövdeli uçak için açığa park edildiğinde iki servis otobüsü, her büyük gövdeli uçak için ise dört büyük gövdeli yolcu otobüsü servis verecektir.

Bu kriterlerin hesaplanabilmesi için kullanıcıdan yoğun sezon ve düşük sezon için yer hizmetleri grubundaki enerji sarfiyatları dolayısıyla oluşan etkinin uçak başına hesaplayabilmek adına kullanıcıdan aşağıdaki verinin alınması gerekli olacaktır.

- Düşük sezon küçük gövdeli uçak açığa yama oranı,
- Düşük sezon büyük gövdeli uçak açığa yama oranı,
- Yoğun sezon küçük gövdeli uçak açığa yama oranı,
- Yoğun sezon büyük gövdeli uçak açığa yama oranı,
- Düşük sezon ile Yoğun sezon uçak sayıları oranı,

Havaalanları bünyesinde yapılan gözlemlere göre, cihazların kullanım oranlarını gösteren bilgiler Çizelge 4.14'te görülebilir.

Bu gözlemler sonrasında açığa yama ve terminale yama verisi sırası ile Denklem 4.7, 4.8, 4.9 ve 4.10 ile hesaplanabilir.

$$ei_{HN} = \frac{\sum_i ei_{Si} n_i P_{Ti} + \sum_j ei_{Sj} n_j P_{Tj}(1 + R_j)}{2} \quad (4.7)$$

ei_{HN} : Yüksek sezondaki uçakların küçük gövde için etkileri etkileri, mPt

ei_{Si} : Her terminale yama durumunda kullanılacak araç eko gösterge değeri, mPt

Çizelge 4.14 : *Havaalanlarında her uçak başına kullanılan araç ve cihazlar*

	Açığa Yanaşma		Terminale Yanaşma	
	Küçük Gövde	Büyük Gövde	Küçük Gövde	Büyük Gövde
Yer Güç Birimi	1	1	0	0
Pushback Narrow Body	1	0	1	0
Pushback Wide Body	0	1	0	1
Passenger stairs	2	3	1	1
Passenger buses	2	4	0	0
Fuel Hydrant Truck	1	1	1	1
Catering and service Truck	1	1	1	1
Cargo and container Loader	0	1	0	1
Belt Loader	1	0	1	0
Bagaj Taşıma Arabası	1	2	1	2
Lavatory Service	2	4	2	4
Technical Service	1	1	1	1

ei_{Sj} : Her açığa yanaşma durumunda kullanılacak araç eko gösterge değeri, mPt

n_i : Her terminale yanaşma durumunda kullanılacak araçların kullanılma sayısı

n_j : Her açığa yanaşma durumunda kullanılacak araçların kullanılma sayısı,

P_{Ti} : Kullanma süresi ve oranına bağlı olarak hesaplanmış güç değeri, zaman bilgisinden arındırılmıştır, kW

P_{Tj} : Kullanma süresi ve oranına bağlı olarak hesaplanmış güç değeri, zaman bilgisinden arındırılmıştır, kW

R_j : Açığa yanaşma oranı, %

Yukarıda Denklem 4.7 için açıklanmış olan veri aşağıda düşük sezon küçük gövdeli uçaklar için aşağıdaki Denklem 4.8'deki şekilde hesaplanabilir.

$$ei_{LN} = \frac{\sum_i ei_{Si} n_i P_{Ti} + \sum_j ei_{Sj} n_j P_{Tj}(1 + R_j)}{2} \quad (4.8)$$

ei_{LN} : Düşük sezondaki uçakların küçük gövde için etkileri, mPt

Denklem 4.9 ve 4.10’da ise sırasıyla geniş gövdeli uçaklar için aynı yöntemle hesaplanabilir.

$$ei_{HW} = \frac{\sum_i ei_{Si} n_i P_{Ti} + \sum_j ei_{Sj} n_j P_{Tj}(1 + Rj)}{2} \quad (4.9)$$

$$ei_{LW} = \frac{\sum_i ei_{Si} n_i P_{Ti} + \sum_j ei_{Sj} n_j P_{Tj}(1 + Rj)}{2} \quad (4.10)$$

Yukarıdaki denklemler olan 4.9 ve 4.10’da verilen simgeleme aşağıda görülebilir.

ei_{HW} : Yüksek sezondaki uçakların büyük gövde için etkileri, mPt

ei_{LW} : Düşük sezondaki uçakların büyük gövde için etkileri, mPt

Yukarıdaki verinin düşük sezon ve yüksek sezondaki uçak sayıları ile çarpılması sonucunda ise yer hizmetleri için veri bulunabilecektir. Uçak başına hesaplanmış örnek sonuçlar Çizelge 4.15’te görülebilir.

Çizelge 4.15 : Örnek doluluk verisi

Yoğun sezon için açığa yanaşma oranları		%
	Küçük Gövde	50,00
Açığa yanaşma oranı	Geniş Gövde	30,00
Düşük Sezon için açığa yanaşma oranları		
	Küçük Gövde	10,00
Açığa yanaşma oranı	Geniş Gövde	20,00

Çizelge 4.16 ile tespit edilmiş kullanım verisi ile Çizelge 4.17 ile verilmiş olan örnek açığa yanaşma verisi dikkate alındığında Denklem 4.7, 4.8, 4.9 ve 4.10 ile yapılmış olan hesaplamalar ile aşağıdaki Çizelge 4.16’da görülen değerler bulunabilir.

Aşağıdaki çizelgede yoğun sezon ve düşük sezon için uçakların açığa yanaşma ve terminale yanaşma oranları için sonuçlar paylaşılmıştır. Hesaplama yaparken bunun dikkate alınmaktadır. Bu hesaplamada küçük ve geniş gövdeli uçaklar için kullanılacak olan değerler bu verinin alınması ile değişmelidir. Yapılacak olan hesaplamalarda bu oranlar havaalanı bilgilerine göre değişecek şekilde hesaplanmıştır. Böylelikle küçük gövdeli bir uçak başına yoğun sezonda ne kadar enerji etkisi çıkacağı belirlenmiştir.

Çizelge 4.16 : Örnek veri üzerinden hesaplanan tespit edilmiş uçak başına Yer Hizmetleri araçlarının ve cihazlarının oluşturmuş olduğu Eko gösterge değerleri

	Yüksek Sezon		Düşük Sezon	
	Küçük Gövde	Büyük Gövde	Küçük Gövde	Büyük Gövde
Yer güç birimi	22,95	13,77	4,59	9,18
Küçük gövdeli uçaklar için geri itirme aracı	2,4225	0	2,4225	0
Büyük gövdeli uçaklar için geri itirme aracı	0	10,2	0	10,2
Uçak merdiveni	2,48625	2,652	1,82325	2,3205
Yolcu otobüsleri	5,1	6,12	1,02	4,08
Yakıt ikmal aracı	11,22	11,22	11,22	11,22
Hizmet ve ikram aracı	9,945	9,945	9,945	9,945
Kargo ve taşımaklık yükleme aracı	0	7,65	0	7,65
Bagaj şerit yükleyici	2,5245	0	2,5245	0
Bagaj Arabaları	10,3275	13,42575	7,5735	10,3275
Tuvalet temizleme hizmet aracı	12,24	24,48	12,24	24,48
Teknik hizmet aracı	2,55	2,55	2,55	2,55
	81,76575	102,01275	55,90875	91,953

Bu verinin de incelenmesi ile havaalanı için Denklem 4.11 ile apron bölgesindeki uçuşa hazırlık etkilerinin toplamı bulunabilir.

$$STEi_{HND} = ei_{HN} + ei_{LN} + ei_{HW} + ei_{LW} \quad (4.11)$$

$STEi_{HND}$: Apron bölgesindeki uçuşa hazırlık sırasında oluşan etkilerin tamamı, mPt

Bunun dışında daha az ve uçak sayısı ile bağı bulunmayan cihazlar ya da araçlar da olabilir. Bu cihaz ve araçlar aşağıdaki gibi sıralanabilir,

- Terminal apron sahasında uçuşların denetlenmesi için yapılan çalışmalar,
- Terminal apron sahasındaki temizleme YAMAHA (Yabancı MADde HASarı – FOD – Foreign Object Damage) çalışmaları,
- Yangın söndürme faaliyetleri,
- Yolcu trafiği dışında kalan askeri ve kargo trafiği,
- Genel havacılık faaliyetleri,
- Soğuk zamanlarda kullanılan buz engelleme cihazları kullanımı.

4.6 Havaalanı Terminal Binalarının Oluşturduğu Etkiler

Yolcular için bir noktadan başka bir noktaya gitme sorununun çözümü geçmişten günümüze içerisinde zaman ve ekonomi açısından evrilmiş ve amaçlara uygun şekillerde çözümler bulmuştur. Halen bu sorun çözümlerini arasa da uçmak şu an için genel prensipler açısından çözümlerini bulmuştur. Havaalanları bir noktadan başka bir noktaya uçarak gitmeyi arzulayan yolcular için karayolu, demir yolları ya da deniz yolları gibi ayrı bir seçenek oluşturan toplanma noktalarıdır. Havaalanları uçuşmanın doğası gereği çabuk bir şekilde hızlanmayı ya da yavaşlamayı bir başka deyişle güvenli ivmelenmelerini sağlayan düzeneklere göre tasarlanmıştır.

Havaalanları, uçakların güvenli yüksek hıza ulaşması için ya da yüksek hızdan güvenli durabilmeleri için oluşturulmuş pist etrafına ya da genellikle pistlerin merkezine konumlandırılır. Bu pistlerin etrafında çevrelerinde güvenli alanın ardında birçok tali bina bulunur. Terminal binaları ise genel olarak en orta noktaya yapılır ya da pistlere erişimin kolay olduğu noktalara konumlandırılır.

Havaalanı sahası içerisinde bulunan binalar ve cihazlar için harcanmakta olan elektrik enerjisi, doğalgaz enerjisi ve apron dışındaki tüm enerji tüketimleri dolayısıyla oluşan etkiler burada incelenebilir. İki şekilde enerji hesaplamaları yapılabilir. Bunlar,

- Havaalanında bulunan araçların etkileri ve
- Havaalanı binalarının etkileridir.

Havaalanı binaları yolcu hareketlerini kolaylaştırmak üzere uçağın yerde kalma süresini kısaltarak uçuşun teknik bakış açısından, yolcu bakış açısından ve finansal açıdan daha verimli yapabilmek adına tasarlanmıştır. Yolcuların uçağa hareketleri, güvenlik aşamaları, dokümantasyon aşamaları, kontroller, bagajların işlenmesi sonrasında yolcular uçak havaalanına inip terminal binasına yanaştığında binmeye hazır olacak şekilde ya da terminal binasından yolcular ve bagajların uzak bir uçak park yerine götürülmesi üzerine tasarlanmıştır. Bununla birlikte yolcuların diğer ihtiyaçlarından olan yeme, içme, kültürel ihtiyaçlar, alışveriş, ısınma soğutma aydınlık gibi konfor şartları, bilgi ve iletişim imkanları ve lüks ihtiyaçları gibi tali gereklilikler de havaalanları içerisinde konumlandırılmıştır.

Bu aşamaların her birisi düşünüldüğünde terminal binaları içerisinde ana enerji tüketim kalemleri ısıtma, soğutma ve havalandırma, aydınlatma, otomasyon olarak düşünülecektir. Havaalanında bulunan önemli kriterlerden birisi de yangın tedbirleridir.

Bu sebeple havaalanında çok sınırlı bölüme doğalgaz gibi direk yanıcı malzeme tedariki yapılır. Doğalgaz genelde havaalanı servis hazırlığı yapılan bodrum katlarında ısıtma kazanlarının bulunduğu bölgelerde, yemek hazırlıklarının yapıldığı mutfaklarda bulunur. Yangın duman yönetimi önemli bir konu olduğundan, ayrıca yangın riskini azaltmak için üst katlarda iyi derecede hava emişi olan davlumbazlarla elektrik enerjisi ile pişirme işleri yapılır. Bu sebep dolayısıyla bu tarz fazla enerji gerektiren faaliyetleri gruplamak ve hesaplamak havaalanında kolay olmamaktadır. Kurulu gücün bilgisinin kullanılması bu anlamda önemli olacaktır. Havaalanı kurulu gücü üzerinden çevresel etki değerlendirilmesi yöntemine gidilecektir.

Bu durum birkaç kabullenme ile hesaplanabilir. Havaalanı için aydınlatma yapılan kısmının kurulu gücünün bilgisi kullanıcıdan istenecektir. Bu bilgi aydınlatmanın 11 saat 28 dakika kullanıldığı bilgisi ile çarpılacak ve günlük havaalanı aydınlatması bilgisi ortaya çıkacaktır. Çizelge 4.17’de dünyanın çeşitli kıtalarında bulunan enlem ve boylamındaki yerler ile Türkiye’den şehirlerin de içinde olduğu tam karanlık süreleri görülmektedir [105, 106].

Dünya üzerinde genel olarak uçuşların Amerika, Avrupa, Avustralya üzerinde olduğu ve aynı zamanda henüz oluşmakta olan ticaret yolunun etkisi dolayısıyla uzak doğu ve Amerika üzerinde olduğu Şekil 4.9’dan görülebilir. Bu bilgi havaalanlarının aydınlatma amacıyla bulunduğu noktanın genel olarak 11 saat 50 dakika civarında olduğunu göstermektedir. Ancak, Bu konuda bir ortalamanın alınması doğru olacağından dolayı hesaplamalar 11 saat 28 dakika karanlık süresi temel alınarak yapılacaktır.

Yıllar içerisinde bu rotaların içerisinde doluluk açısından en yoğun hatların bulunduğu havaalanlarında gelişmeler olacağı görülebilir. Bu noktada yapılmış olan bir çalışma aşağıdaki rotalarda gelecekte uçuş sayısı açısından bir artış olacağını ortaya koymaktadır [107]. Bu konu havaalanı açısından orta ve uzun vadede bir büyüme ortaya koyacaktır. Bu büyümenin enerji tüketimi açısından etkileri olması muhtemeldir. Şekil 4.10’da uçak rotaları ile ilgili bir görsel paylaşılmıştır [108].

- Jeju – Seoul
- Rio de Janeiro – Sao Paulo
- Osaka – Tokyo
- Sapporo – Tokyo
- Melbourne – Sydney

Çizelge 4.17 : *Dünya üzerindeki değişik bölgeler için gün ışığından arda kalan karanlık süreler*

	Boylam	Enlem	Tam Karanlık Süresi		
			Toplam dakika	Saat	Dakika
Kütahya	N39 42	E029 26	708,3551913	11	48
İstanbul	N41 01	E028 55	708,0218579	11	48
Sofia	N42 18	E023 52	707,6748634	11	48
Berlin	N52 23	E013 41	703,8333333	11	44
Altay	N51 01	E084 23	704,5	11	45
Oslo	N69 27	E025 51	501,8770492	08	22
Ontario	N45 30	W078 14	706,7021858	11	47
Pacollo	S19 04	W068 52	713,5601093	11	54
Auckland	S36 45	E174 35	713,1912568	11	53
Galapagos	S00 16	W091 22	713,2486339	11	53
		Ortalama	688 dakika	11	28

- Fukuoka – Tokyo
- Pekin – Şangay
- Hong Kong – Taipei
- Cape Tow – Johannesburg
- Bombay - Delhi



Şekil 4.10: *Havayolları için rota bilgileri görseli*

Aynı durum ısıtma ve soğutma faaliyetleri için de kullanılabilir. Ancak havaalanının kaç gün boyunca ısıtıldığı ya da soğutulduğu bilgisinin alınması ve hesapların bu veri üzerinden yapılması gerekecektir.

Bu bilginin dışında havaalanlarında doğalgaz çevrimi kullanıldığında atık ısı kullanım mümkün hale geleceğinden dolayı ısıtma ve soğutma için atık ısı kullanımı mümkün olabilir. Bu bilginin girilmesi ile sadece elektrik üretimi için bir etki oluşacak ve ısıtma ve soğutma için bu etki sıfır kabul edilecektir.

Havaalanlarında kullanılan önemli bir enerji tüketim merkezi ise otomasyon ve bilişim sistemleridir. Bilişim sistemleri günümüzde eski sistemlere oranla daha fazla sanal ve bulut çözümlerine doğru gitmesi dolayısıyla oldukça az elektrik tüketmektedir. Tüketilen elektriğin büyük kısmı odaların soğutulması için kullanılmaktadır. Bu anlamda havaalanının kurulu soğutma gücünün içerisinde olan bu değerin göz ardı edilmesi uygun olacaktır. Ancak birçok elektrik motoru kullanılan havaalanındaki otomasyon sistemlerinin hesaba katılması önemli olabilir.

Havaalanında yapılmış olan gözlemlerde ve bakım kayıtlarının düzenlenmesi çalışmalarında havaalanlarındaki asansör, yürüyen merdiven ve yürüyen bant gibi cihazların kullanım oranlarının Çizelge 4.18’de olduğu şekilde olduğu saptanmıştır.

Çizelge 4.18 : *Havaalanlarındaki otomasyon cihazlarının kullanım gözlemleri*

		Güç	Yükleme Oranı	Çalışma süresi	Çalışma Sayısı	Toplam çalışma süresi
		kWs	%	dakika	adet	saat
Otomasyon	Asansör	5	30,00	1	120	2
	Yürüyen Merdiven	5	50,00	2	250	8,33333
	Yürüyen Bant	5	20,00	3	200	10
	Bagaj Sistemi	0,1	20,00	15	40	10

Çizelge 4.18’den veri bilgisi asansör, yürüyen merdiven ve yürüyen bant gibi cihazların toplam kullanım süreleri bize toplam tüketimi verecektir. Havaalanında bulunan toplam sayıların verilmesi ve tespit edilmesi ile birlikte otomasyon sistemleri kullanımı ile tüketilen toplam enerji dolayısıyla ortaya çıkacak olan çevresel etki miktarını aşağıdaki Denklem 4.12 ile hesaplamak mümkündür.

$$ei_{T.A} = [C_{A.L}(F_{A.L}E_{A.L}Tw_{A.L}) + C_{A.E}-(F_{A.E}E_{A.E}Tw_{A.E}) + C_{A.T}(F_{A.T}E_{A.T}Tw_{A.T}) + C_{A.B}-(F_{A.B}E_{A.B}Tw_{A.B})]ei_{EM} \quad (4.12)$$

- $ei_{T.A}$: Terminal içerisinde kullanılan otomasyon sistemleri için toplam bir günlük Eko Gösterge değeri mPt/gün
- ei_{EM} : Bir elektrik motorunun kW's başına yapmış çevresel etki değeri, mPt
- $C_{A.L}$: Terminalde bulunan asansör sayısı
- $C_{A.E}$: Terminalde bulunan yürüyen merdiven sayısı
- $C_{A.T}$: Terminalde bulunan yürüyen bant sayısı
- $C_{A.B}$: Terminalde bulunan bagaj otomasyon sisteminin metre olarak büyüklüğü
- $F_{A.L}$: Bir asansör için ortalama kurulu elektrik gücü, kW's
- $F_{A.E}$: Bir yürüyen merdiven için ortalama kurulu elektrik gücü, kW's
- $F_{A.T}$: Bir yürüyen bant için ortalama kurulu elektrik gücü, kW's
- $F_{A.B}$: Bir metrelik bagaj bant sistemi için ortalama kurulu elektrik gücü, kW's
- $E_{A.L}$: Asansörün kurulu gücünün kullanma oranı, %
- $E_{A.E}$: Yürüyen merdivenin kurulu gücünün kullanma oranı, %
- $E_{A.T}$: Yürüyen bantların kurulu gücünün kullanma oranı, %
- $E_{A.B}$: Bagaj bantlarının kurulu gücünün kullanma oranı, %
- $Tw_{A.L}$: Bir asansörün bir gün içerisindeki çalışma süresi, saat
- $Tw_{A.L}$: Bir yürüyen merdiven için bir gün içerisindeki çalışma süresi, saat
- $Tw_{A.L}$: Bir yürüyen bant için bir gün içerisindeki çalışma süresi, saat
- $Tw_{A.L}$: Bir asansörün bir gün içerisindeki çalışma süresi, saat

Yukarıda verilmiş olan boyutlu değerlerin hepsi hesaplamalar il gün başına Eko gösterge verisi olarak ortaya çıkacaktır. Çizelge 4.15 de gösterilmekte olan verinin denklem (4.12) de yerine konulduğunda bir gün için otomasyon sistemleri tarafından havaalanında tüketilmekte olan enerji dolayısıyla oluşan çevresel etki hesaplanmış olacaktır. Bu verinin hesaplanabilmesi için havaalanına bağlı olarak değişen otomasyon büyüklüklerinin bulunması gerekecektir. Bununla birlikte havaalanında otomasyon

sistemlerinin dışında bulunmakta olan aydınlatma, ısıtma ve soğutma gibi etkiler de bulunmaktadır. Bu etkiler aşağıda hazırlanmış olan Çizelge 4.19’da sunulmuştur.

Çizelge 4.19 : *Aydınlatma, ısıtma ve soğutma için havaalanının yükleme oranları ve çalışma süreleri*

	Sistem Yükleme Oranı	Toplam Çalışma Süresi
	%	saat
Aydınlatma	50,00	11,5
Isıtma	70,00	24
Soğutma	70,00	24

Çizelge 4.20’de belirtilmiş veriye göre havaalanının kurulu kapasitesi istendikten sonra havaalanının verisi Denklem (4.13), (4.14) ve (4.15)’e göre hesaplanabilir.

$$ei_{T.L} = (F_{L.T}P_{L.T}Tw_{L.T})ei_L \quad (4.13)$$

Denklem 4.13’te aktarıldığı üzere havaalanının aydınlatması için günlük etkinin bulunması amacıyla, terminal binasının kurulu aydınlatma gücü, bu gücün yükleme oranı ve havaalanının aydınlatma yapmış olduğu süreler kullanılacaktır. Çıkan sonuç havaalanının terminal binasında bir günlük elektrik kullanımı dolayısıyla oluşan etkiyi boyutsuz olarak vermiş olacaktır. Denklemde kullanılan simgeleme aşağıda listelenmiştir.

$ei_{T.L}$: Terminal içerisinde yapılmakta olan aydınlatma faaliyetleri için toplam bir günlük Eko Gösterge değeri mPt/gün

ei_L : Elektrik aydınlatması için kW’s başına çevre etkisi, mPt

$F_{L.T}$: Terminalde kurulu bulunan aydınlatma gücü, kW’s

$P_{L.T}$: Terminalde kurulu bulunan aydınlatma gücünün yükleme oranı, %

$Tw_{L.T}$: Terminalde bulunan aydınlatma sisteminin çalışma süresi, saat

$$ei_{T.H} = C_{H.T}(F_{H.T}P_{H.T}Tw_{H.T})ei_H \quad (4.14)$$

Denklem (4.14)'te ısıtma için kullanılmakta olan enerji dolayısıyla oluşmakta olan çevresel etkinin nasıl hesaplanacağı gösterilmiştir. Bu durumda kurulu ısıtma gücünün terminal için öğrenilmesi ısıtma yapılan süre ile birlikte ısıtma sisteminin yükleme oranı ile hesaplanması günlük olarak ne kadar çevresel etki oluştuğunun hesaplanmasını sağlayacaktır. Denklemde gösterilmekte olan simgelem aşağıdaki gibidir.

- $ei_{T.H}$: Terminal içerisinde yapılmakta olan ısıtma faaliyetleri için toplam bir günlük Eko Gösterge değeri mPt/gün
- ei_H : Isıtma için kW's başına çevre etkisi, mPt
- $F_{H.T}$: Terminalde kurulu bulunan ısıtma gücü, kW's
- $P_{H.T}$: Terminalde kurulu bulunan ısıtma gücünün yükleme oranı, %
- $T_{WH.T}$: Terminalde bulunan ısıtma sisteminin çalışma süresi, saat

$$ei_{T.C} = \left(\frac{F_{C.T} P_{C.T} T_{WC.T}}{C_{C.T}} \right) ei_C \quad (4.15)$$

Denklem 4.15'te soğutma için oluşan çevresel etkinin nasıl hesaplanacağı gösterilmiştir. Bu durumda kurulu soğutma gücünün terminal için öğrenilmesi ve soğutma yapılan süre ile birlikte yükleme oranı ile hesaplanması günlük olarak ne kadar çevresel etki oluştuğunun hesaplanmasını sağlayacaktır. Denklem 4.14 ve 4.15 ile hesaplanmış olan çevresel etkiler için $ei_{T.C}$ ve $ei_{T.H}$ değişkenleri Çizelge 4.17'de belirtilmiştir. Denklem 4.15'te kullanılmış olan simgeleme aşağıdaki gibidir.

- $ei_{T.C}$: Terminal içerisinde yapılmakta olan soğutma faaliyetleri için toplam bir günlük Eko Gösterge değeri mPt/gün
- ei_C : Soğutma için kW's başına çevre etkisi, mPt
- $C_{C.T}$: Soğutma sisteminin COP değeri,
- $F_{C.T}$: Terminalde kurulu bulunan soğutma gücü, kW's
- $P_{C.T}$: Terminalde kurulu bulunan soğutma gücünün yükleme oranı, %
- $T_{WC.T}$: Terminalde bulunan soğutma sisteminin çalışma süresi, saat

Terminalde diğer hizmetler için kullanılmakta olan elektrik enerjisinin oluşturduğu etkilerin de hesaba katılması ile terminal için tüm enerji tüketimleri kapsam içine alınmış olacaktır. Bunun için terminal binasına ait olan elektrik enerjisi tüketimini için çevresel etki miktarı Denklem 4.16 ile hesaplanabilir. Değerler Çizelge 4.20’de görülebilir [92].

$$ei_{T.O} = (F_{O.T}P_{O.T}Tw_{O.T})ei_{EM-L} \quad (4.16)$$

Denklem 4.16’da görülmekte olan simgeleme aşağıdaki gibi açıklanmıştır.

- $ei_{T.O}$: Terminal içerisinde kullanılan diğer elektrik enerjisi için Eko gösterge değeri mPt/gün
- ei_{EM-L} : Elektrikli diğer cihazlar için kW’s başına çevre etkisi, mPt
- $F_{O.T}$: Diğer elektrik cihazları için kurulu güç, kW’s
- $P_{O.T}$: İşletme diğer gücüne yükleme oranı, %
- $Tw_{O.T}$: Teminalin gün içindeki işletme süresi, saat

Çizelge 4.20 : Terminal binası içerisindeki ana enerji kalemleri için mPt değerleri

Enerji Tüketimi Tipi	mPt
Isınma Soğutma	
Doğal Gaz	0,063
Elektrik	0,67
Aydınlatma	
Elektrik	0,67
Otomasyon	
Asansör	0,67
Yürüyen Merdiven	0,67
Yürüyen bantlar	0,67
Bagaj Taşıma	0,67

Terminal binasının günlük işletme enerji tüketimi ve buna bağlı çevresel etki miktarları Denklem 4.12, 4.13, 4.14, 4.15 ve 4.16 ile hesaplanmış durumdadır. Bu bilgilerin ısıtma ve soğutma yapılan sürelerin gün olarak tespit edilmesi ile birlikte hesaplama yapılabilir. Bu hesaplama aşağıdaki gibi Denklem 4.17’de gösterilmiştir.

$$STEi_{TRM} = \sum_1^{n_h} (ei_{T.A} + ei_{T.L} + ei_{T.H} + ei_{T.O}) + \sum_1^{n_c} (ei_{T.A} + ei_{T.L} + ei_{T.C} + ei_{T.O}) \quad (4.17)$$

Denklem 4.17’de bir havaalanı terminali için yıllık olarak tüketilen tüm enerjiler dolayısıyla oluşan çevresel etkiler mPt cinsinden boyutsuz olarak hesaplanmış olacaktır. Bu denklemde kullanılmış olan simgeleme aşağıda belirtilmiştir.

$STEi_{TRM}$: Havaalanında bulunan terminal için ısıtma ve soğutma günleri açısından yıllık eko gösterge miktarı, mPt

n_h : Terminalde ısıtma yapılan gün sayısı, gün

n_c : Terminalde soğutma yapılan gün sayısı, gün

Havaalanında bulunan araçlar havaalanı içerisine yapılmakta olan ulaşımın sağlandığı araçlardır. Bununla birlikte yolcuların havaalanı binasına geldikleri araçlar da bu kapsamda düşünülebilir. Havaalanı içerisinde kullanmakta olan araçların uçağa servis vermek dışında kullanılanlarının sayısı göreceli olarak düşük mertebededir. Uçaklar için ayrılmış bir sahada uçuş güvenliği dolayısıyla uçak dışı hareketlerin sınırlandırılması esastır. Bu sebeple havaalanı içerisinde özel sürücü belgesi ve özel araç belgesi kullanılmakta ve sadece gerekli olanları alınmaktadır [109] Bu sebepler dolayısıyla havaalanı içerisinde kullanılmakta olan araçlar hesap dışı tutulacaktır.

İkinci bir konu olan havaalanına gelen yolcuların kullanmış oldukları uçaklar konusu belirsizlikle dolu olan bir konudur. Raylı taşıması sistemi olmayan bir havaalanının tüm yolcu taşımaları kara yoluyla yapılmak zorundadır. Sadece bu fikirden yola çıkarsak yolcuların karayolu üzerinden toplu taşıma kullanıp kullanmadıkları, kaç kişinin birlikte seyahat ettiği hangi tip araçlar kullandıkları ve geldikleri mesafeler ve bu mesafelerin sınırları için kabullenmeler yapılmalıdır. Bahsi geçen havaalanı için bu kabullenmelerin yapılması tamamen kör atışı olacaktır. Bu durum metro kullanıldığında düşüş gösterecek ancak ne kadar düşüş gösterdiğini bulabilmek mümkün olmayacaktır.

Örnekleme yoluyla belli çıkarsamalar yapılabilir ancak bu konunun yolcu başına bulunması mümkün değildir. Havaalanına giren araçların sayısı ile ilgili kayıtlara ulaşılabilmesi durumunda günlük olarak belirli hesaplamalar yapılabilir. Bu verinin günlük veriye katılması ayrı bir proje konusu olarak gündeme gelebilir. Bu konuda bu tez içerisinde herhangi bir hesaplama işlemi yapılmayacak ve göz ardı edilecektir.

4.7 Tali Binaların Oluşturduğu Etkiler

Havaalanında bulunan tali binalar yolcu için yapılmakta olan hizmetlerin tamamlayıcı bir ögesidir. Tali binalar ana terminal binasındaki işin yani yolcunun uçabilmesi için idari, teknik ve acil hizmetler gibi birçok faaliyetin yapılması için hizmetleri barındırır. Örneklendirmek yapabilmek amacıyla bunlardan birkaçını sıralamak gerekirse,

- Yer hizmetleri çalışanlarının aprondaki binaları,
- Havaalanı otoritesi,
- Havaalanı güvenliği,
- Havaalanı itfaiyesi,
- Havaalanı içindeki çeşitli hizmet binaları,
- Uçak içi ikram hizmetlerinin hazırlanması,
- Çeşitli teknik binalar ve bunların ek binaları,

Yukarıda sayılmış olan bu binalar incelendiğinde ve ayrıca havaalanında kule dışında yüksek bina olmadığı bilindiğinden dolayı bu binalar içerisinde otomasyon sistemleri bulunmamakta, ya da çok sınırlı sayıda bulunmaktadır. Bu sebeple tali binalar içerisinde bulunan otomasyon sistemleri göz ardı edilecektir. Bu sebeple bahsi geçen binalardaki enerji bakımından aydınlatma, ısıtma ve soğutma konusunda hesaplama yapılacaktır.

Bu sebeple Denklem 4.13, 4.14, 4.15 ve 4.16 ile hesaplanmakta olan terminal verisi tali binalar için hesaplanacaktır. Bu noktada her bina için ayrı ayrı ya da tüm binalar için toplam bir değer alınarak ilerlenebilir.

Böylece aşağıdaki görülmekte olan Denklem 4.18 ile tali binalardaki etkiler hesaplanabilir.

$$STEi_{OTH} = \sum_1^{n_h} (ei_{O.L} + ei_{O.H} + ei_{O.O}) + \sum_1^{n_c} (ei_L + ei_C + ei_{O.O}) \quad (4.18)$$

Denklem 4.18’de görülmekte olan simgeleme aşağıdaki gibidir.

$STEi_{OTH}$: Havaalanında bulunan tali binaların aydınlatma ısıtma ve soğutma günleri açısından yıllık eko gösterge miktarı, mPt

$Ei_{O.L}$: Tali binalar için yapılmakta olan aydınlatma faaliyetleri için toplam bir günlük Eko gösterge değeri mPt/gün

$Ei_{O.H}$: Tali binalar için yapılmakta olan ısıtma faaliyetleri için toplam bir günlük Eko gösterge değeri mPt/gün

$Ei_{O.C}$: Tali binalar için yapılmakta olan soğutma faaliyetleri için toplam bir günlük Eko gösterge değeri mPt/gün

$Ei_{O.O}$: Tali binalar için kullanılan diğer elektrik enerjisi için Eko gösterge değeri mPt/gün

4.8 Havaalanı Yerleşkesi için Yıllık Etkinin Hesaplanması

Denklem 4.2’de havaalanı yerleşkesinde bir yıl içerisinde kalkan bütün uçakların toplam iniş ve kalkış ettikleri ile taksi süreçleri ile oluşan tüm etkileri hesaplamak için bir eşitlik sunulmuştur. Denklem 4.11 ile ise diğer bir uçak başına etki olan yıllık uçakların apronda almış oldukları yer hizmetleri enerji etkilerini inceleyen bir eşitlik sunulmuştur. Uçak başına etkilerin dışında gün başına oluşan etkilerin hesaplanması için sunulan iki ayrı denklem olan 4.17 ve 4.18 sırası ile Terminal binası için oluşan çevresel etkilere ve Tali Binalar içinde oluşan etkileri belirlemek için kullanılmıştır. Denklem 4.19’da gösterilmekte olan eşitlik ile ise havaalanı yerleşkesi içinde enerji tüketimleri ile oluşan tüm çevresel etkileri bir çerçeve içerisine görebilmek mümkün olacaktır.

$$TEi = STEi_{LTO} + STEi_{HND} + STEi_{TRM} + STEi_{OTH} \quad (4.19)$$

TEi : Havaalanında bir yıl içerisinde oluşan tüm etkilerin göstergesi, mPt

Havaalanındaki yerleşkesinde enerji tüketimi dolayısıyla oluşan toplam çevresel etkileri yolcu, gün ya da uçak gibi parametrelere göre hesaplayabilmek mümkündür. Bunlar ise Denklem 4.20, 4.21 ve 4.22’de sırasıyla gün başına, yolcu başına ve uçak başına olarak sunulmuştur.

$$Ei_{pD} = \frac{TEi}{\sum D} \quad (4.20)$$

$$Ei_{pP} = \frac{TEi}{\sum P} \quad (4.21)$$

$$Ei_{pA} = \frac{TEi}{\sum A/C} \quad (4.22)$$

- Ei_{pD} : Gün başına havaalanı yerleşkesinde yıllık enerji tüketimi ile oluşan çevresel etki miktarı, mPt
- $\sum D$: Havaalanının bir yılda toplam işletildiği gün sayısı, gün
- Ei_{pP} : Yolcu başına havaalanı yerleşkesinde yıllık enerji tüketimi ile oluşan çevresel etki miktarı, mPt
- $\sum P$: Havaalanından bir yılda hizmet alan toplam yolcu sayısı
- Ei_{pA} : Uçak başına havaalanı yerleşkesinde yıllık enerji tüketimi ile oluşan çevresel etki miktarı, mPt
- $\sum A/C$: Havaalanından bir yılda uçan toplam uçak sayısı

5. BULGULAR VE ÖNERMELER

MDAS yöntemi ile ulaşılabilecek sonuçların hangi boyutta olduğunun daha iyi anlaşılabilmesi için bir örnek havaalanının tanımlanması ve buna göre sonuçların hesaplanması yardımcı olabilir. Bu sebeple, ortalama boyuttaki bir havaalanının seçilmesi uygun olacaktır. Büyük bir havaalanındaki sonuçların ya da küçük bir havaalanı için hesaplanacak çevresel etkilerin sonuçlarının yorumlanmasında bu büyüklüklerin de etkenlerinin tartışılması gerekebilir. Bu sebeple ortalama bir havaalanı seçimi uygundur. Ancak ortalama bir havaalanının tanımının yapılması gerekmektedir. Küçük havaalanlarının yıllık 5 milyon yolcudan daha az kapasitede olduğu bilinmektedir [110]. Bununla birlikte büyük havaalanlarının sınırının ise kritik eşik olarak tanımlanmış olan yıllık 25 milyon yolcu olduğunu Hart tarafından ifade edilmiştir [111]. Bu iki değer arasında kalan havaalanlarının ortalama büyüklükte bir havaalanı olduğu kabul edilecektir.

Bu veriden yola çıkarak aşağıdaki veriye ulaşabilmek mümkün olacaktır. Çizelge 5.1 ile başlayarak Çizelge 5.5'e kadar gösterilen bilgiler 10 mppa olan bir havaalanı için varsayım olarak oluşturulmuş bilgilerdir.

Çizelge 5.1 : *Havaalanı Genel Bilgileri*

Genel Bilgiler		
Yoğun Sezon Süresi	210,00	gün
Düşük Sezon Süresi	155,00	gün
Havaalanı günlük çalışma süresi	24,00	saat
Yıllık yolcu sayısı	10000000,00	adet

Çizelge 5.2 : *Uçak Hareketleri ile ilgili bilgiler*

Uçak Hareketleri Bilgileri		
Yıllık Uçak Sayıları		
Büyük gövdeli	5000,00	adet
Küçük gövdeli	20000,00	adet
Taksi mesafeleri		
İniş ortalama	1,973	km
Kalkış ortalama	1,973	km

Çizelge 5.3 : Yer Hizmetleri ile ilgili bilgiler

Yer Hizmetleri Bilgileri		
Açığa yanaşma oranları (sezonluk)	Düşük	Yoğun
Küçük Gövdeli Uçak %	20,00	50,00
Büyük Gövdeli Uçak %	0,00	20,00
Yoğun/Düşük sezon uçak oranı %	33	

Çizelge 5.4 : Terminal Binası ile ilgili bilgiler

Terminal Binası Bilgileri		
Kurulu Isıtma Yüğü		
Doğalgaz ile yapılan	10000,00	kWs
Elektrik ile yapılan	9000,00	kWs
Atık ısı kullanılmaktadır	Hayır	
Isıtma yapılan süre	200,00	gün
Kurulu Soğutma Yüğü	4000,00	kWs
COP katsayısı	2,20	-
Soğutma yapılan süre	165,00	gün
Kurulu Aydınlatma Yüğü	165,00	kWs
Geri Kalan Kurulu Tesis Yüğü	2000,00	kWs
Kurulu Otomasyon Durumu		
Yürüyen Bant Sayısı	75,00	adet
Yürüyen Merdiven Sayısı	85,00	adet
Asansör Sayısı	55,00	adet
Bagaj Sistemi Bant Uzunluğu	5500,00	m

Çizelge 5.5 : Diğer binalar ile ilgili bilgiler

Diğer Bina Bilgileri		
Kurulu Isıtma Yüğü		
Doğalgaz ile yapılan	5000,00	kWs
Elektrik ile yapılan	3000,00	kWs
Atık ısı kullanılmaktadır	Hayır	
Isıtma yapılan süre	200,00	gün
Kurulu Soğutma Yüğü	5000,00	kWs
COP katsayısı	2,20	-
Soğutma yapılan süre	130,00	gün
Kurulu Aydınlatma Yüğü	130,00	kWs
Geri Kalan Kurulu Tesis Yüğü	2000,00	kWs

Bu bilgilere dayanılarak MDAS yöntemi ile hesaplamaların yapılması sonucunda aşağıdaki Çizelge 5.6 ile 5.10 arasında görülen sonuçlar hesaplanmıştır. Bu hesaplamalara üç anahtar kriter eklenmiştir. Bu aşamada üç anahtar kriter her çizelgede ayrı ayrı sunulmuştur.

Çizelge 5.6 : *Uçak Hareketleri dolayısıyla oluşan etkiler*

Uçak Sonuçları		
Uçakların oluşturduğu toplam etki	26910316.442,07	mPt
Yolcu başına uçakların etkisi	2691,03	mPt
Uçak başına uçakların etkisi	1076412,66	mPt
Gün başına uçakların etkisi	73726894,36	mPt

Çizelge 5.7 : *Yer hizmetleri tarafından uçaklara verilen hizmet dolayısıyla oluşan etkiler*

Yer Hizmetleri Sonuçları		
Yer hizmetlerinin oluşturduğu toplam etki	1753680,06	mPt
Yolcu başına handling etkisi	0,18	mPt
Uçak başına handling etkisi	70,15	mPt
Gün başına handling etkisi	4804,60	mPt

Çizelge 5.8 : *Terminal binası dolayısıyla oluşan günlük etkiler*

Terminal Binası Sonuçları		
Terminal binası(binaları) etkisi	39170460,54	mPt
Yolcu başına terminal binası etkisi	3,92	mPt
Uçak başına terminal binası etkisi	1566,82	mPt
Gün başına terminal binası etkisi	107316,33	mPt

Çizelge 5.9 : Diğer binalar dolayısıyla oluşan günlük etkiler

Diğer Bina Sonuçları		
Diğer binaların etkileri	17280620,55	mPt
Yolcu başına	1,73	mPt
Uçak başına	691,22	mPt
Gün başına	47344,17	mPt

Çizelge 5.10 : Toplam MDAS Etkileri

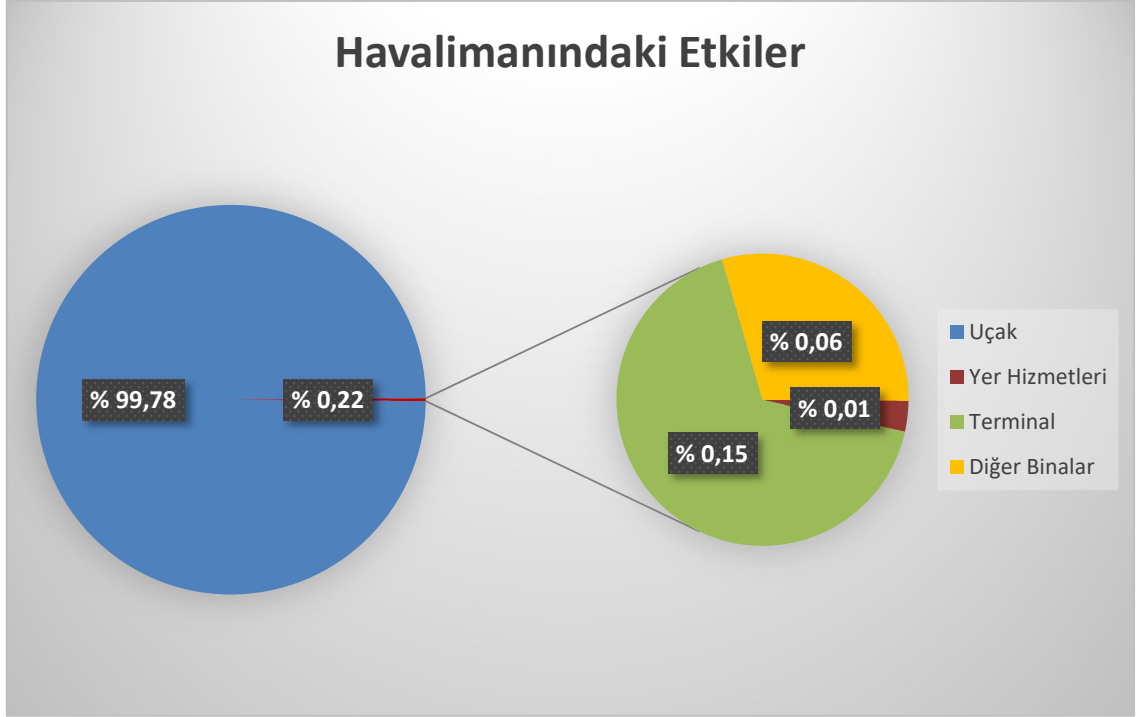
Genel Sonuçlar		
Toplam etki	26968521.203,21	mPt
Yolcu başına toplam etki	2696,85	mPt
Uçak başına toplam etki	1078740,85	mPt
Gün başına toplam etki	73886.359,46	mPt

Yukarıdaki tablolardan görüldüğü üzere çevresel etkilerin en yoğun olarak yaşanmakta olduğu bileşenin uçakların etkileri olduğu görülmektedir. Uçuş faaliyetlerinin oluşması için gerekli ivmelenme için ihtiyaç duyulan enerjinin hidro-karbonlar ile karşılanması sonucunda çevreye verilen etkiler oldukça yüksektir. Aşağıdaki Çizelge 5.11’de bu etkiler oranlamalı olarak görülebilir.

Çizelge 5.11 : Havaalanı yerleşkesindeki tüm etkilerin oranları %

Uçak hareketlerinin toplam çevresel etki üzerindeki etki oranı	99,78
Yer Hizmetlerinin toplam çevresel etki üzerindeki etki oranı	0,01
Terminal binasının toplam çevresel etki üzerindeki etki oranı	0,15
Diğer binaların toplam çevresel etki üzerindeki oranı	0,06

Bu veriyi bir pasta diliminde göstererek sonuç görsel hale getirilebilir. Bu görüntü Şekil 5.1’de görülmektedir.



Şekil 5.1 : MDAS Yöntemi ile hesaplanmış olan etkilerin görsel olarak ifadesi

Çok belirgin olarak etkinin büyük bir bölümünün uçaklar tarafından oluşturulduğu görülmektedir. Basit bir hesaplama ile havaalanı terminal binasının etkilerini ve uçak etkilerini birbiri cinsinden ifade etmek gerekirse, uçak hareketlerinin etkisinin havaalanı terminal binasının etkisinin 687 katına eşittir. Bu basit olarak 36 uçak hareketi ile terminal binasının bütün bir yıl ihtiyacı olan enerji ihtiyacının karşılanması anlamına gelmektedir.

Bu bilgi uçakların özellikle iniş kalkış süreçlerinde ne kadar büyük enerji harcadığını görmek açısından önemlidir. Tez boyunca yapılmış önemli kabullenmelerden birisi iniş kalkış sınırının 10 NM olduğu üzerinedir. Bu bilginin değişiminin hesapları ne kadar değiştirdiği 5.1 bölümünde tartışılacaktır. Bununla birlikte uçağın ağırlığının değişmesinin bu etkileri nasıl değiştirdiği ise 5.2 nolu bölümde hesaplanacaktır. Bu aynı zamanda yolcu artışının yani kapasite kullanımının sonuçları anlamına da gelmektedir. 5.3 nolu bölümde ise gövde tipinin değişiyor olmasının etkileri nasıl şekillendirdiği bulunmaya çalışılacaktır.

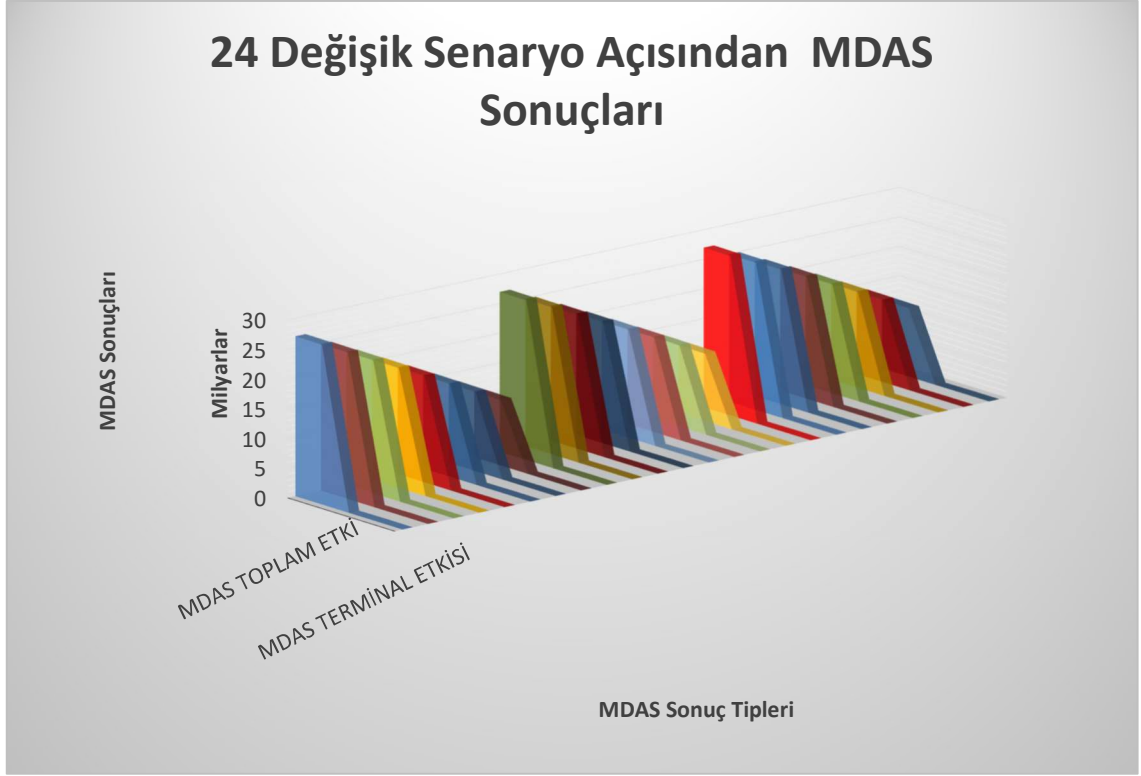
5.1 Kalış ve İniş Süreçlerinde Uzaklığın Değişmesi

Tez boyunca kabullenmelerde yerel etkilerin sınırının 3000 feet olduğu ve bu etkilerin 10 NM süresinde değiştiği kabul edilmişti. Bu sınırın değişmesi durumunda hesapların nasıl değişeceği aşağıdaki Çizelge 5.13’de hesaplanmıştır. Bu bilgiler 4.4.5 nolu bölümde verilmiş olan bilgilerin ve değişkenlerin yeni baştan hesaplanması ile oluşturulmuştur. Bu hesaplar aşağıda görülen Çizelge 5.12’de bulunmakta olan parametrelere göre hesaplanmıştır.

Çizelge 5.12’de üç değişik ana akış sorgulanmaya çalışılmıştır. Bunlar uçakların yükselmeleri ve alçalmaları ile ilgili örneklerdir. Bu örneklerle göre, uçak tırmanma sırasında kabul edilmiş olan 30 NM’lık tırmanma yolculuğuna devam etmektedir. Bu senaryo grubunda 3000 feet yükseklik için gittikçe azalan uzaklıklarda yüksek dikey hızın olduğu kabul edilmiştir. İkinci senaryo grubunda ise uçağın daha dik bir açı ile yükselmeye çalıştığı kabul edilmiştir. Bu ortalama değerin daha kabul edilebilir görünmesine karşın yolcu uçağının çok dik bir kalkış grafiği ile yükselmesi ise üç nolu senaryo grubunda görülmektedir.

Çizelge 5.12 : Uçakların havaalanına yanaşma ve alçalmaları ile ilgili senaryolar
(NM)

Senaryo	Ortalama Kalkış Uzaklığı	Ortalama Tırmanma Uzaklığı	Ortalama Alçalma Uzaklığı	Ortalama İniş Uzaklığı	Senaryo	Ortalama Kalkış Uzaklığı	Ortalama Tırmanma Uzaklığı	Ortalama Alçalma Uzaklığı	Ortalama İniş Uzaklığı
	NM	NM	NM	NM	N M	NM	NM	NM	NM
1	10	30	30	10	13	6	22	22	6
2	9	30	30	9	14	5	20	20	5
3	8	30	30	8	15	4	18	18	4
4	7	30	30	7	16	3	16	16	3
5	6	30	30	6	17	10	30	30	10
6	5	30	30	5	18	9	27	27	9
7	4	30	30	4	19	8	24	24	8
8	3	30	30	3	20	7	21	21	7
9	10	30	30	10	21	6	18	18	6
10	9	28	28	9	22	5	15	15	5
11	8	26	26	8	23	4	12	12	4
12	7	24	24	7	24	3	9	9	3



Şekil 5.2 : MDAS Sonuçlarının senaryolar açısından değişimi

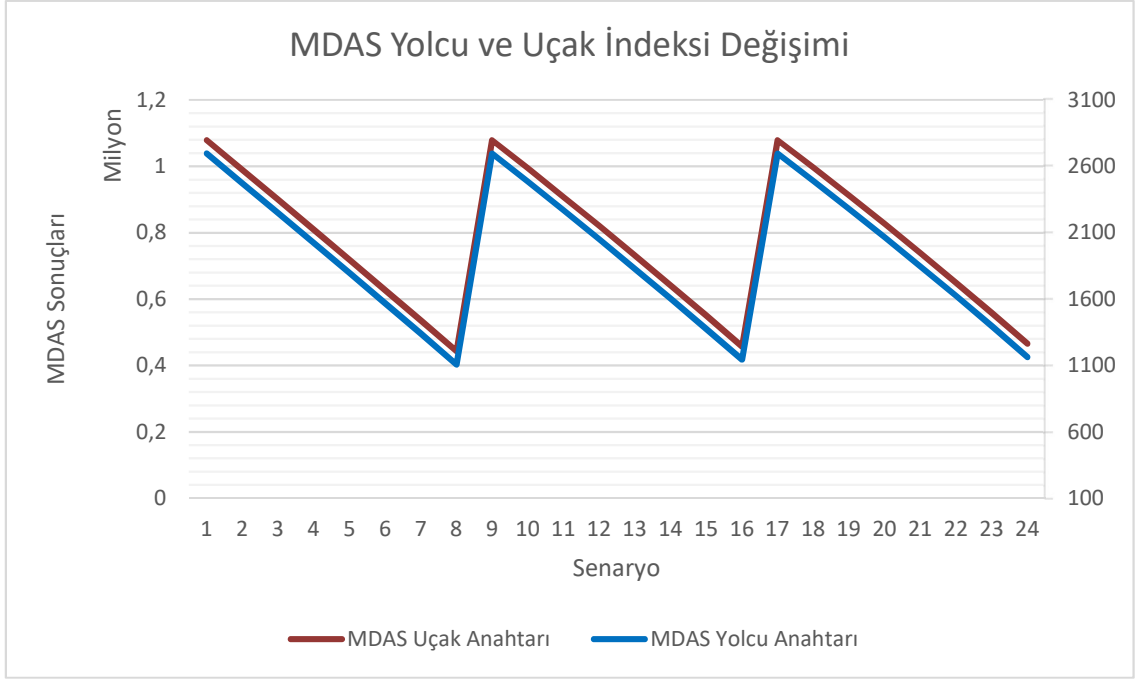
Çizelge 5.13'te sonuçları bulunan 24 yükselme ve alçalma senaryosunun değişimi yukarıdaki grafikte incelenebilir. Görüldüğü üzere MDAS ile hesaplanan sonullar uçakların 300 feet sınırından çıkış mesafesi ile doğru orantılı olarak azalmaktadır. Kalkış ya da iniş sürecinin sonrasındaki tırmanma ve alçalma süreçlerinin şekil değiştirmesi çok küçük olarak bir etki farklılığı oluştursa da bu oldukça küçük bir miktar olduğundan dolayı etkisi bulunmamaktadır. Bu anlamda bir havaalanı kampüsünde çevresel etkilerin uçakların yerleşke sınırı olan 3000 feet yüksekliğindeki sınırı terk etme uzaklığının asıl belirleyici olduğu görülmektedir. Anahtar verinin değişimi ise Şekil 5.3 ile gösterilmiştir. Şekil 5.3 ve 5.4'te ise sırasıyla anahtar MDAS değerleri olan Yolcu başına etki, Uçak başına etki ve Gün başına etki değerlerinin değişmediği gözlemlenmektedir.

Şekil 5.4'te minimal olarak gözlenen değişimler yüzdesel olarak Çizelge 5.14'te incelenmiştir. Ancak Senaryoların en düşük ve en yüksek değerleri incelendiğinde büyüklükleri anlamlandırmak açısından kullanılan uçak hareketi başına terminalin enerji tüketimi bilgisi oranı ise 682 kat ile 295 kat arasında değişmektedir. Bir başka tanımla bu değerlerin bir yıllık havaalanı terminali işletimi için aynı sıra ile 36 adet uçak kaldırması ya

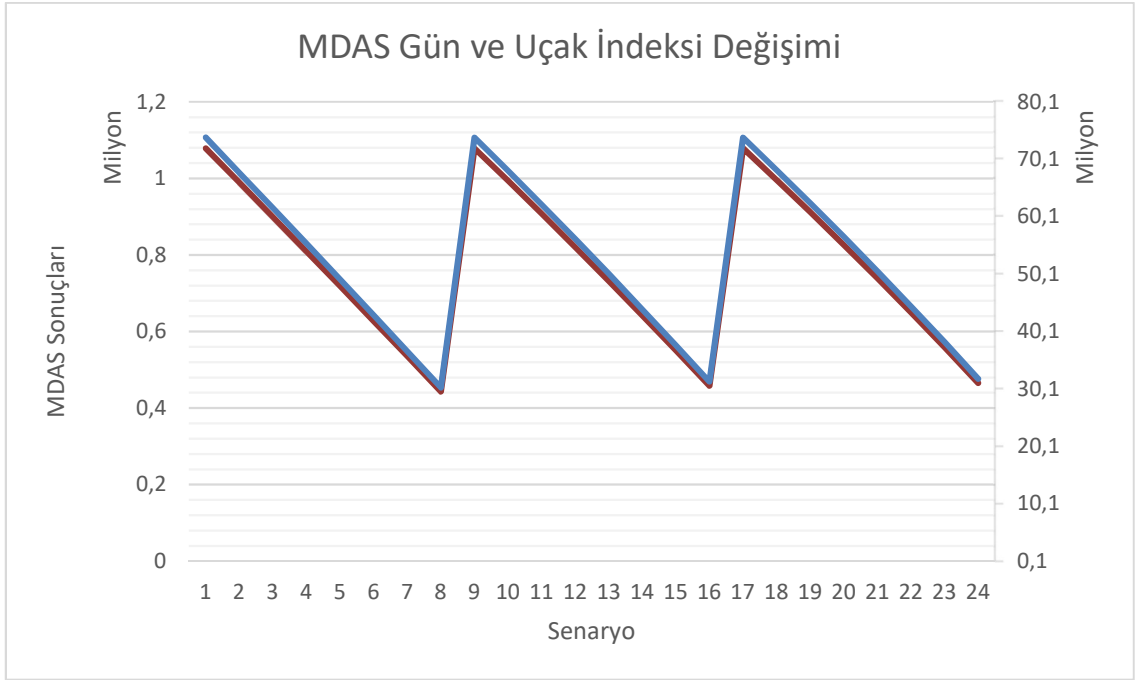
da 89 adet uçak kaldırması ile eşdeğer etkiyi oluşturmaktadır. Bu bilgi yaklaşık olarak bir günlük uçak miktarına eşdeğerdir. Havaalanı kapasitesi büyüdükçe iki değer arasındaki makas daha da açılacaktır.

Çizelge 5.13 : MDAS Sonuçlarının 24 senaryoya göre değişimi

Senaryo	MDAS Toplam Etki	MDAS Uçak Etkisi	MDAS Yer Hizmetleri Etkisi	MDAS Terminal Etkisi	MDAS Diğer Binalar Etkisi
	mPt	mPt	mPt	mPt	mPt
1	26968521203	26910316442	1753680,056	39170460,54	17280620,55
2	24737397439	24679192678	1753680,056	39170460,54	17280620,55
3	22493180008	22434975246	1753680,056	39170460,54	17280620,55
4	20235713968	20177509207	1753680,056	39170460,54	17280620,55
5	17964841675	17906636914	1753680,056	39170460,54	17280620,55
6	15680402718	15622197957	1753680,056	39170460,54	17280620,55
7	13382233858	13324029097	1753680,056	39170460,54	17280620,55
8	11070168965	11011964204	1753680,056	39170460,54	17280620,55
9	26968521203	26910316442	1753680,056	39170460,54	17280620,55
10	24847524218	24789319457	1753680,056	39170460,54	17280620,55
11	22695604001	22637399240	1753680,056	39170460,54	17280620,55
12	20511833180	20453628419	1753680,056	39170460,54	17280620,55
13	18295242849	18237038088	1753680,056	39170460,54	17280620,55
14	16044820149	15986615388	1753680,056	39170460,54	17280620,55
15	13759505678	13701300917	1753680,056	39170460,54	17280620,55
16	11438190715	11379985954	1753680,056	39170460,54	17280620,55
17	26968521203	26910316442	1753680,056	39170460,54	17280620,55
18	24903079210	24844874449	1753680,056	39170460,54	17280620,55
19	22798651667	22740446906	1753680,056	39170460,54	17280620,55
20	20653708728	20595503967	1753680,056	39170460,54	17280620,55
21	18466630295	18408425534	1753680,056	39170460,54	17280620,55
22	16235699060	16177494299	1753680,056	39170460,54	17280620,55
23	13959092895	13900888133	1753680,056	39170460,54	17280620,55
24	11634876513	11576671752	1753680,056	39170460,54	17280620,55



Şekil 5.3 : Yolcu ve uçak anahtarlarının 24 Senaryoya göre değişimi



Şekil 5.4 : Gün ve uçak anahtarlarının 24 Senaryoya göre değişimi

Çizelge 5.14 : Senaryolar arası değişim oranları

Senaryo Grubu 1-2 %	Senaryo Grubu 1-3 %	Senaryo Grupları Arası Fark
100,00	100,00	0,00
92,12	92,32	0,21
84,12	84,50	0,38
76,01	76,53	0,53
67,77	68,41	0,64
59,41	60,12	0,71
50,91	51,66	0,74
42,29	43,02	0,73

Senaryo grupları arasındaki fark %0,21 ile %0,73 arasında farklılık göstermektedir. Bu bilgi uçağın daha dik olarak yerleşkeden çıkmasının etkisinin diğer uçuş segmentleri ile karşılaştırıldığında öneminin çok olmadığını göstermektedir. Havaalanı kampüsünün terk edilmesi mesafe açısından yüzdesel olarak %59 oranında etkilerin azaltılmasını sağlayabilmektedir. Ancak bu sırada mesafe %70 oranında kısalmıştır. Çizelge 5.15’te bu bilgiler görülebilir.

Çizelge 5.15 : Kalkış ve İniş mesafesinin kısalmasının etkisi

Senaryo grubu 1 ile LTO kısalması %	Senaryo grubu 2 ile LTO kısalması %	Senaryo grubu 3 ile LTO kısalması %
0,00	0,00	0,00
8,27	7,86	7,66
16,59	15,84	15,46
24,97	23,94	23,42
33,39	32,16	31,53
41,86	40,51	39,80
50,38	48,98	48,24
58,95	57,59	56,86

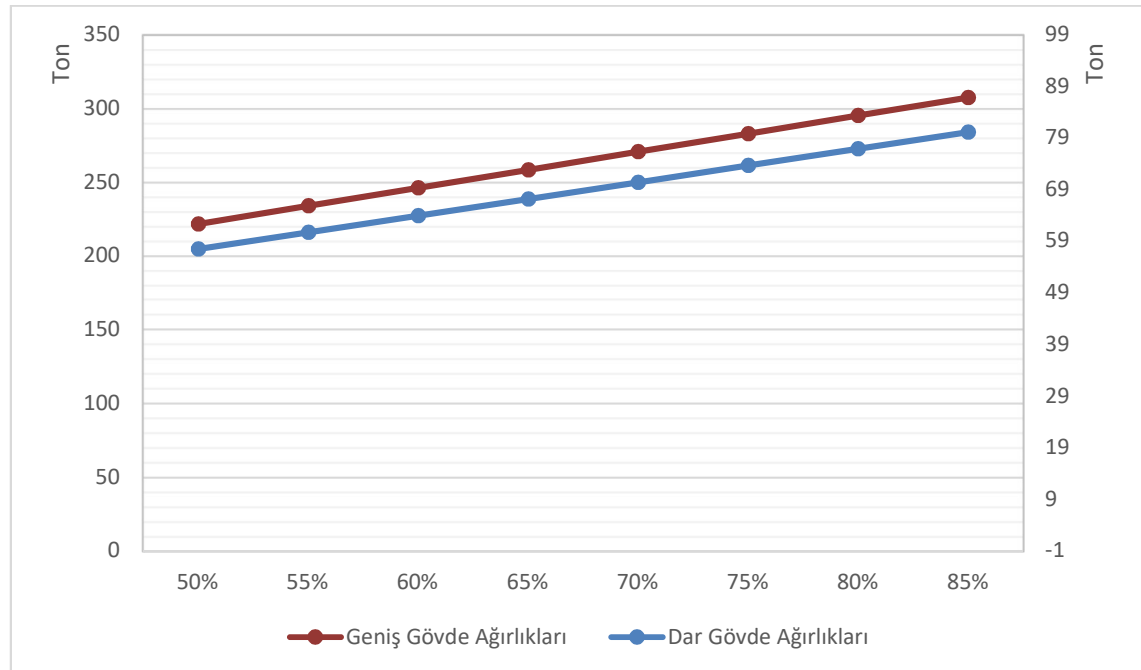
5.2 Yolcu Kapasitesi ve Uçak Ağırlığının Değişmesinin Etkileri

MDAS Yöntemi uçak kapasitesini Eko göstergelerde hazırlanmış veri dolayısıyla dar gövdeli uçaklar için % 62 ve geniş gövdeli uçaklar için % 78 olarak kabul etmiştir. Bu değerlerin değişimi havaalanındaki çevresel etkileri değiştirecektir. Metrik ton

ve kilometre başına dar gövdeli uçaklar için 120 mPt ve geniş gövdeli uçaklar için 76 mPt olarak kabul edilen değerlerle hesaplamalar gerçekleştirilmiştir. Uçağın % 68 doluluğu için bu değer artık bilinir durumdadır. Bu sebeple % 50, % 55, % 60, % 65, % 70, % 75, % 80 ve % 85 serileri için bu değerler hesaplanabilir. Bu noktadan yola çıkarak yapılmış olan hesaplamalar aşağıdaki Çizelge 5.16’da görülebilir. Aynı verinin değişimi ise Şekil 5.5’te grafik olarak verilmiştir.

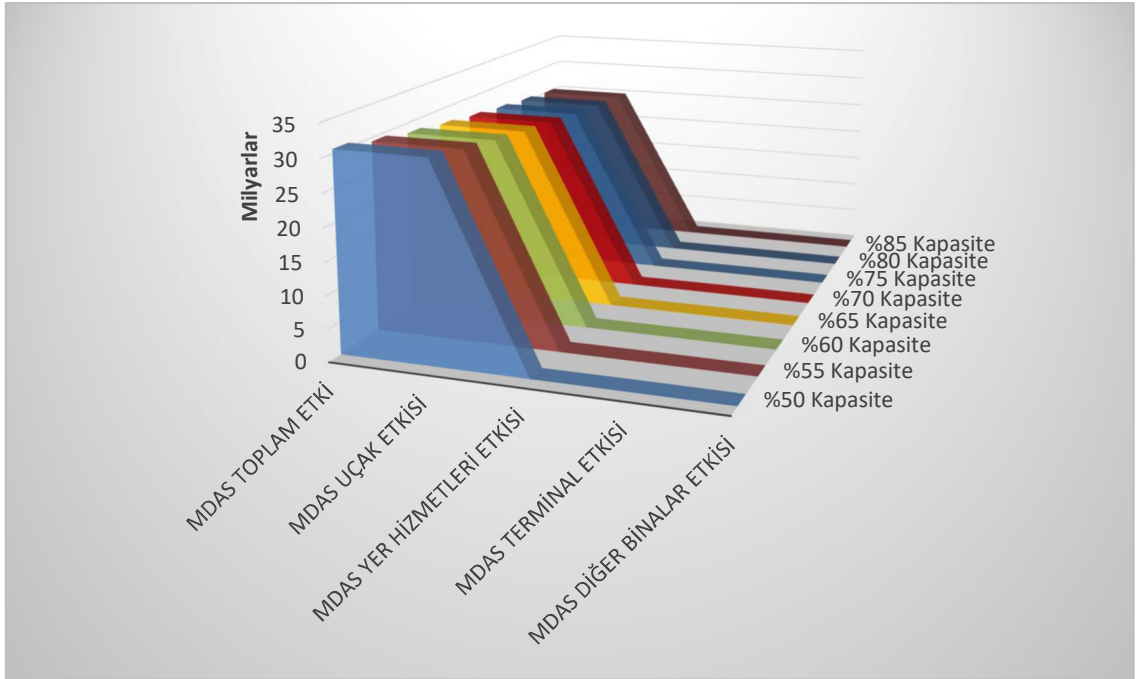
Çizelge 5.16 : Kapasite kullanımı dolayısıyla değişen kalkış ağırlıkları

Kapasite Kullanımı	Dar Gövde Ağırlığı	Geniş Gövde Ağırlığı
%	Kg	Kg
50	57533,3	221826
55	60765,3	234075
60	63997,4	246325
65	67229,5	258574
70	70461,6	270823
75	73693,6	283072
80	76925,7	295321
85	80157,8	307570



Şekil 5.5 : Dar gövde ve geniş gövde için değişen ağırlıklar

Değişken ağırlıklar sonrasında oluşmuş olan etkilerin şekillenmesi Şekil 5.6’da grafik olarak aktarılmıştır. Bu veriden de görülebileceği gibi çevresel etkilerin sonuçları uçak ağırlığının artması ile azalmaktadır. Bunun sebebi olarak kullanılmakta olan kapasite artışı ile yolcu sayısının daha az uçak ile tutturulabilmekte olmasıdır. Daha az uçak daha az çevresel etki anlamına gelmektedir. Aynı şekilde kapasite kullanımı azaldığı zamanlarda da aynı yolcu sayılarına ulaşmak için daha fazla uçak kullanılması gerektiğinden dolayı çevresel etkiler artmaktadır. Toplam etki 25 milyar mPt değerinden 30,6 milyar mPt değerine yükselmektedir. Uçakların sayılarının değişimi Çizelge 5.17’de görülmektedir.

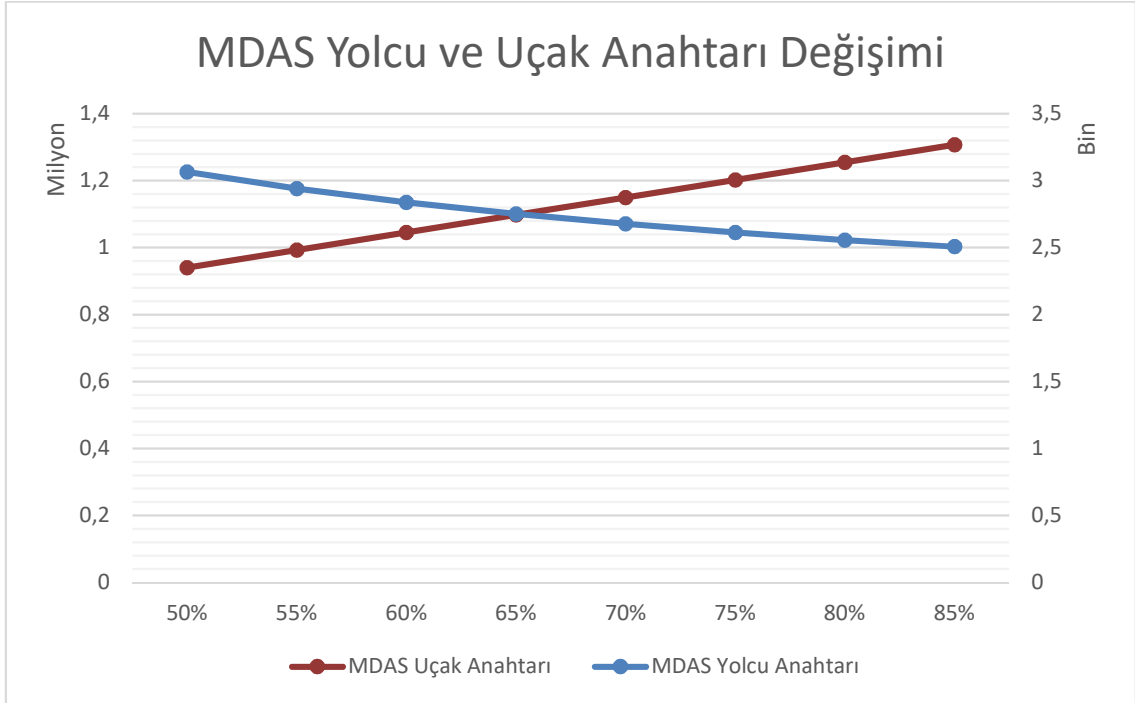


Şekil 5.6 : *Kapasite kullanımının artması ile azalan çevresel etkiler*

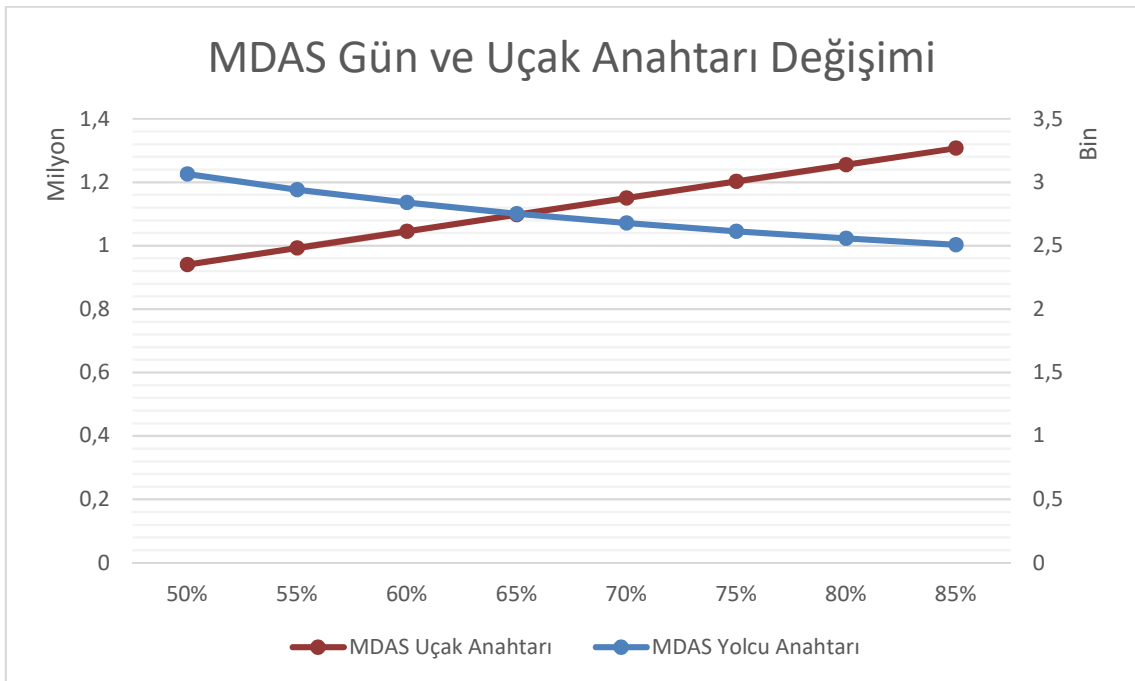
Çizelge 5.17 : *Kapasite kullanımı değişimine ters orantılı uçak değişimleri*

Kapasite Kullanımı	Uçak Sayısı WB+NB
%	
50	32600
55	29636,36364
60	27166,66667
65	25076,92308
70	23285,71429
75	21733,33333
80	20375
85	19176,47059

MDAS sonuçlarının sonrasında anahtar değerleri olan Yolcu başına ve Uçak başına değerlerinin grafiği Şekil 5.7’de Gün ve Uçak anahtarı değişimleri ise Şekil 5.8’de görülmektedir.



Şekil 5.7 : Kapasite kullanımı sonucunda oluşan anahtar verinin değişimi



Şekil 5.8 : Kapasite kullanımı sonucunda oluşan gün ve uçak anahtarı değişimi

5.3 Gövde Tipi Değişiminin Çevresel Etkisi

MDAS ile yapılan hesaplamalar için kullanıcıdan talep edilecek bir bilgi havaalanına uçmakta ve bu havaalanından kalkmakta olan uçakların geniş ve dar gövdeli olarak sayılarıdır. Bu bilgilerin sadece geniş gövdeli ya da sadece dar gövdeli olması durumunda çevresel etkilerin nasıl şekilleneceği konusunda bir çalışma yapılması uçakların etkisinin nasıl şekillendiğini anlayabilmek adına önemlidir. Çizelge 5.18’de hesaplamalarda kullanılmakta olan 8 adet geniş ve dar gövdeli uçak için yolcu sayısı bilgisi aşağıya girilmiştir [112, 113, 114, 115, 116, 117, 118, 119].

Çizelge 5.18 : Geniş ve dar gövdeli uçaklar için oturma planları ve sayıları

Uçak Kodu	Uçak Tipi	Koltuk Sayısı
A321	NB	220
A340	WB	384
A330	WB	300
A320	NB	180
B744	WB	416
B752	NB	180
B772	WB	305
B738	NB	159

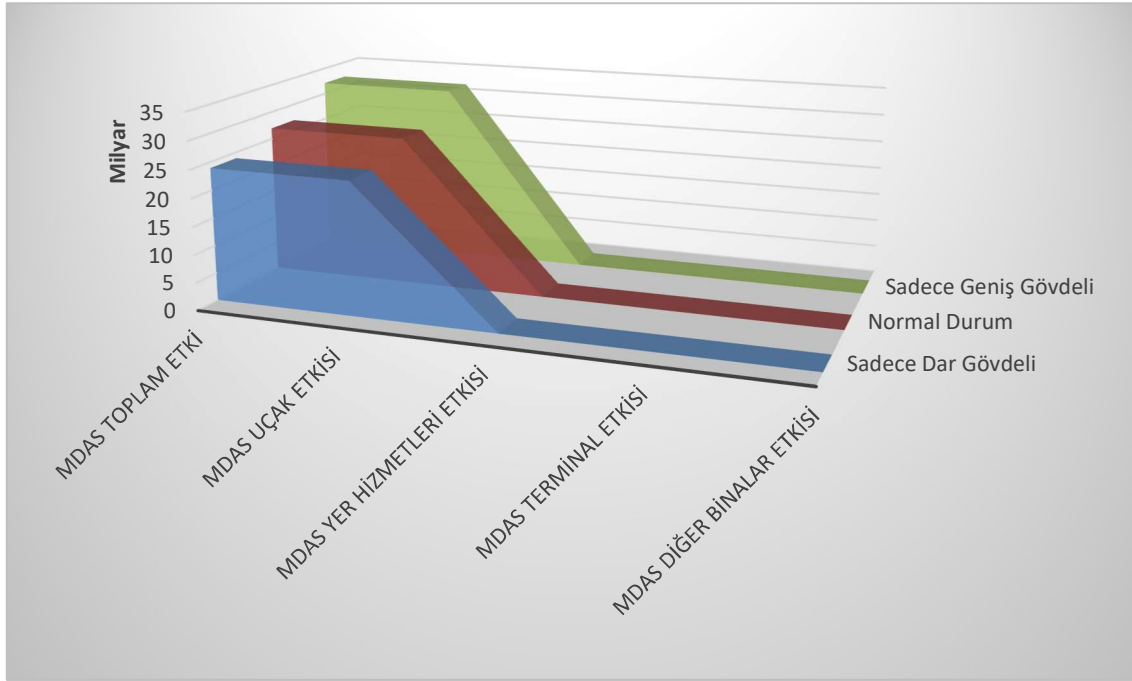
Çizelge 5.18’de verilmiş olan koltuk sayıları, dar gövde için % 62 ve geniş gövde için % 78 olan doluluk oranına göre hesaplanırsa dar gövde için 115 yolcu ve geniş gövde için 274 yolcu bilgileri bulunur. Bu açıdan örnek havaalanı için kullanılmakta olan dar gövdeli 20000 uçak ile geniş gövdeli 5000 uçak bu çevrimlere göre aşağıdaki Çizelge 5.19’da görülebileceği gibi bulunur.

Çizelge 5.19 : Sadece geniş gövdeli ve sadece dar gövdeli uçuş sayıları

	Geniş Gövdeli	Dar Gövdeli
Normal Durum	5000	20000
Sadece Geniş Gövdeli	13394	
Sadece Dar Gövdeli		31959

Yukarıdaki bilgiler MDAS içerisinde yeniden hesaplanırsa Şekil 5.9’da görülmekte olan grafik değeri ortaya çıkacaktır. Görüldüğü üzere uzun mesafeli uçuşlarda

Çevresel etkilerin azalması mümkün olsa da geniş gövdeli uçakların çevresel etkilerinin yerleşke içerisinde daha etkili olduğu anlaşılmaktadır. Normal uçuş örneğine göre 5,1 milyar mPt daha fazla bir etki ortaya çıkmaktadır. Sadece dar gövdeli uçaklar kullanılır ise 3 milyar mPt daha az bir çevresel etki ortaya çıkmış olacaktır.



şekil 5.9 : *Sadece geniş ve Sadece dar gövdeli uçağın normal örnekten farkı*

6. SONUÇLAR

Havaalanlarının enerjiye bağı çevresel etkilerinin araştırılması konusu üzerine hazırlanmış olan bu doktora çalışması havaalanı tanımından yola çıkarak araştırmanın sınırlarını belirlemek açısından önemli bir aşama kaydetmiştir. Doğası gereği uçakların, gökyüzüne yükselmeleri ve ağırlıklarını havada tutabilmeleri için gerekli olan hıza ulaşmada tükettikleri yakıtın karşılığı olan enerji, dolayısıyla oluşturdukları çevresel etkinin büyüklüğü, havaalanı içerisindeki diğer unsurların hesaplanmasını ikinci plana itmiştir. Bununla birlikte birbiri ile ayrı birimlerde ve boyutlarda etkileri olabilen bu enerji tüketimlerinin bir arada hesaplanmasının güçlüğü de bu hesaplamanın sadece uçaklar adına yapılmasına yol açmıştır.

Hesaplamalar ve analizlerin havaalanı bünyesinde zor olmasının bir başka sebebi ise uçaklar ile ilgili problemlerin çözümünün, uçağın kalkış yaptığı havaalanından, iniş yaptığı havaalanı yönüne doğru olması havaalanı etkisini hesaplamayı güçleştirmektedir. Ayrıca, uçak açısından ele alındığında havada ilerleyen bir uçağın havaalanı yerleşkesinin sınırlarını ne zaman terk ettiğinin hesaplanması bazı kabullenmeler ile yapılmak zorundadır. Bu noktada geliştirilen irtifa kazanım ve uçağın hızı hesapları ile söz konusu mesafe göreceli olarak 10NM (18,52 km) olarak kabul edilmesi ile çözüme ulaşılabilir.

Yukarıda sözü edilen kısıtlarla birlikte, enerji türevlerinin birbirine çevrilmeleri sorununu ortadan kaldıracak bir çözüm yolu olan Eko gösterge yöntemi de uçaklar açısından başka bir sorunu ortaya koymaktadır. Uçakların kalkış sırasında tüketmiş oldukları enerji ile düz uçuş sırasında tüketmiş oldukları enerjinin birbirine oranları çok farklıdır. Bu durumda ortalama uçuş mesafesine göre hazırlanmış ve 1 km uzunluğundaki yol ve 1 metrik ton ağırlığı için kullanılmakta olan Eko gösterge değeri uçağın kalkışı için kullanılamaz. Söz konusu gerekçeden dolayı bu çalışma ile ilk kez uçak toplam uçuş uzaklığı hesaplarından iniş-kalkış ya da havacılıktaki ifadesi ile LTO olarak ilk kez hesaplanmıştır. Tez'in en önemli bulgusu bu hesaplar ile havaalanı bünyesindeki etkilerin hesaplanabilir olduğunu ortaya koymasıdır.

Hesaplama yöntemi, çalışma sayesinde ortaya konulan modelden bir adım ileriye götürülerek bilgisayar desteği ile hesaplanmaya başlamış ve bu sayede her havaalanı için ayrı hesap oluşturulabilecek hale getirilmiştir. Raporların oluşturulmasında ise yolcu başına, günlük ve uçak başına etki ortaya konulabilmektedir. Toplam yıllık

enerji etkisi milipoint (mPt) olarak hesaplandıktan sonra yıllık yolcu sayısı bilgisi ile yolcu başına etki ortaya çıkar.

Yapılan hesaplamaların sonuçlarına bakıldığında havaalanı binalarının içerisinde yapılan yüksek orandaki ısıtma, soğutma, havalandırma, aydınlatma ve otomasyon faaliyetlerine rağmen uçakların etkisinin % 99,5 üzerinde olduğu tespit edilmiştir. Bu etkinin ısı enerjisinin ne kadar yoğun bir enerji olduğunu, hidrokarbonların jet motoru ile yakılması sırasında uçağın pist başından hızlanması ve 3000 feet yüksekliğini geçtiği kabul edilen mesafe sonrasına kadar tüketmiş olduğu yakıtın en yüksek etkiyi oluşturduğu anlaşılmaktadır. Bu etki uçağın 10 kat daha yükseğe tırmandığı diğer fazı olan tırmanma fazının yarısı kadar yakıt tüketmektedir. Bununla birlikte toplam düz uçuş ortalama uzaklığının ise % 8,9'u gibi bir değere karşılık gelmektedir. Çalışma sayesinde hesaplanmış değerler ile uçakların havaalanlarına, verdiği yerel çevresel zararın bu boyutuyla ortaya konulduğu düşünülmektedir.

Havaalanı kampüslerinde hesaplanmayan en önemli etmenin hava limanlarına erişmek için yapılan bireysel ya da toplu taşıma etkilerinin analizi olabilir. Öyle ki bilgi terminal binalarında ve tali binalarda yapılan faaliyetlerin tümünden bile daha yüksek bir değere karşılık gelebilir. Ancak bu bilginin elde edilmesi ayrı bir çalışma konusu olabilecektir.

Bir başka çalışma konusu ise uçakların hava sahasının sınırlarını terk ettikleri izafi sınırın net olarak hesaplanması olabilir. Bu bilgi havayolu ya da uçak tipine göre hesaplanabilir. Bu bilgi ile havaalanındaki etkilerin sınırları çok daha net olarak çizilmiş olacaktır.

Çalışmanın şu ana kadar sunmuş olduğu bilgilerin ışığında ise günümüzde yeni yeni gündeme gelmeye başlayan çevre vergilerinin etkileri üzerine bir fikir edinilebilmiştir. Kesin sınırların belirlenmesi birlikte etkinin, miktarı ve verginin şekillenmesi ortaya konulabilecektir.

Bu açılardan incelendiğinde tezin karmaşık bir problem olan havaalanının bir bütün olarak değerlendirilerek enerji temelindeki çevresel etkilerin hesaplanması adına sonuçları ortaya koyabildiği anlaşılmaktadır.

Çalışma için yapılan kabullenmelerin değiştirilerek yapılmış olan çalışmalarda havaalanlarında yerel olarak hesaplanan etkilerin azalmasına rağmen uçak hareketleri ve diğer etkileri oluşturan, yer hizmetleri, terminal binaları ve diğer binaların etkileri oransal

olarak anlamlı bir değişiklik göstermemektedir. Havalimanlarında enerji tüketimi açısından bakıldığında çevresel etkiler baskın olarak uçaklar dolayısıyla oluşmaktadır. Yapılmış olan bir simülasyon hesabında 37 adet uçağın kalkışının oluşturduğu etkinin bir terminalin bir yıl boyunca ısıtılması, soğutulması, aydınlatılması ve otomasyon sistemlerinin kullanılması ile aynı etkiye sahip olduğu görülmüştür.

Kabullenmelerin değişimi için bir başka senaryo ise uçakların kapasite kullanım oranlarının artmasına bağlı olan değişiklerin gözlenmesidir. Bu konu sonucunda uçak başına etkinin artmasına rağmen yolcu başına etkinin azaldığı görülmektedir. Yolcu başına etkinin diğer parametreler ile ters olarak çalıştığı gözlenmiştir. Yolcu sayısının artması genel olarak çevresel etkileri arttırsa da, uçak sayısı artmadan gerçekleşen yolcu sayısı artışı farklı bir hedef oluşturulmasını sağlayabilir.

Bununla birlikte bir diğer çalışma ise uçak tipi değişimi olarak uygulanmıştır. Yolcu sayısı sabit tutularak yapılan çalışmada, yerel çevresel etkilerin geniş gövdeli uçakların kullanılması ile birlikte arttığı gözlemlenmiştir. Kıtalar arası uçuşlar için geniş gövdeli uçak kullanımının gerekmesine rağmen, çevreye daha fazla etki oluşturduğu tespit edilmiştir.

Çalışma kapsamında kullanılan LCA yöntemi Eko göstergeler olarak seçilmiştir. Bununla birlikte bu çalışmanın başka LCA yöntemleri kullanarak yapılması mümkün olabilir. Karşılaştırmalı sonuçların çıkartılabilmesi etkilerin hesaplarının kesinleştirilmesine yardımcı olacaktır.

Bu çalışmanın sonrasında enerji tüketiminin daha da iyileştirilmesi için çalışmalar yapılabilir ve anahtar gösterge değerleri ile hedefler konularak çalışma bir adım ileriye götürülebilir.

KAYNAKÇA

- [1] Raymond A. Serway, 'Physics, for Scientists & Engineers with Modern Physics', 1992, Work and Energy, P 153, Saunders College
- [2] 'ICAO, Airport Air Quality Manual', First Edition – 2011, S 2.2, ICAO
- [3] 'EASA Agency Mission', [Erişim Tarihi: 1.12.2016], <https://www.easa.europa.eu/the-agency/the-agency>, EASA
- [4] Tun, M, 'Comparison of Turkey's electrical energy consumption and production with some European countries and optimization of future electrical power supply investments in Turkey: Tun, M.', 1.5.2006, Energy Policy, 2006, 34, (1), 50–59, sciencedirect.com
- [5] "Murat Tunc, Unal Camdali, Tunc Liman, Anil Deger, 'Electrical energy consumption and production of Turkey versus world', 8.8.2006, Energy Policy 34 (2006) 3284–3292, sciencedirect.com"
- [6] List of cities by GDP, 'List of cities by GDP', [Erişim Tarihi: 21.11.2015], https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_cities_by_GDP, Wikipedia
- [7] Milan, 'Milan', [Erişim Tarihi: 21.11.2015], <https://en.wikipedia.org/wiki/Milan>, Wikipedia
- [8] Seville, 'Seville', [Erişim Tarihi: 21.11.2015], <https://en.wikipedia.org/wiki/Seville>, Wikipedia
- [9] Ankara, 'Ankara', [Erişim Tarihi: 21.11.2015], <https://en.wikipedia.org/wiki/Ankara>, Wikipedia
- [10] Berlin, 'Berlin', [Erişim Tarihi: 21.11.2015], <https://en.wikipedia.org/wiki/Berlin>, Wikipedia
- [11] Manchester, 'Manchester', [Erişim Tarihi: 21.11.2015], <https://en.wikipedia.org/wiki/Manchester>, Wikipedia
- [12] Google Maps, 'Google Haritalar', [Erişim Tarihi: 21.11.2015], <https://www.google.com.tr/maps?source=tl&hl=tr>, Google Maps
- [13] 'Havaalanı Planlama Kılavuzu', İkinci Baskı – 1987, Dök. 9184-AN / 902, DHMİ
- [14] 'Aerodrome Standards', 1.8.1999, Aerodrome Design And Operations, ICAO

- [15] Robert G. Pace, 'Aircraft emissions factor', 1.3.199, Technical Support Document, Google Academics
- [16] Ugur Kesgin, 'Aircraft emissions at Turkish airports', 38718, Energy 31 (2006) 372–384, sciencedirect.com
- [17] 'Take-Off Speeds for the 737', [Erişim Tarihi: 20.11.2015], <http://www.b737.org.uk/vspeeds.htm>, web
- [18] 'Aircraft Performance Database', [Erişim Tarihi: 13.6.2016], <https://contentzone.eurocontrol.int/aircraftperformance/default.aspx?>, Eurocontrol
- [19] ıgdem KADAİFÇİ, 'Yolcuların Havaalanında Geçirdiği Zamanın Etkinliği İle İlgili Faktörlerin Değerlendirilmesi: Bir Bulanık Bilişsel Harita Uygulaması', 1.6.2011, Yüksek Lisans Tezi, tez.yok.gov.tr
- [20] "Fatma Tuba CEYHAN ZEREN, 'Adnan Menderes Havaalanı Dış Hatlar Terminali Enerji Performans Analizi', 1.3.2010, Master Of Science Thesis, tez.yok.gov.tr"
- [21] Ömer AYDEDE, 'Hava Geçişli Güneş Kollektörü Uygulamalı Binada Enerji Performansı Değerlendirmesi Durum Değerlendirmesi: Sabiha Gökçen Havaalanı', 1.1.2014, Master Of Science Thesis, tez.yok.gov.tr
- [22] SİNEM AKşİT şAHİNKAYA, 'Mevcut Bir Havaalanı İçin evresel Sürdürülebilirliğin Değerlendirilmesi', 1.12.2015, Master Of Science Thesis, tez.yok.gov.tr
- [23] 'Airport Carbon and Emissions Reporting Tool (ACERT)', [Erişim Tarihi: 1.04.2015], <http://www.aci.aero/About-ACI/Priorities/Environment/ACERT>, ACI
- [24] Kazım AğATAN, 'İstanbul Atatürk Havaalanı İçin Uçak Emisyonlarının Belirlenmesi Ve evresel Etkileri', 1.6.2011, Yüksek Lisans Tezi, tez.yok.gov.tr
- [25] San Kılıks , Siir Kılıks , , 'Benchmarking airports based on a sustainability ranking index', 2.8.2015, Journal of Cleaner Production 130 (2016) 248e259, sciencedirect.com
- [26] "I. Simonetti, S. Maltagliati, G. Manfrida, , 'Air quality impact of a middle size airport within an urban context through EDMS simulation', 19.9.2015, Transportation Research Part D 40 (2015) 144–154, sciencedirect.com"

- [27] Nicole Adler, Tolga Ülkü, Ekaterina Yazhensky, , 'Small regional airport sustainability: Lessons from benchmarking', 1.1.2013, Journal of Air Transport Management 33 (2013) 22e31, sciencedirect.com
- [28] Harshad Khadilkar, Hamsa Balakrishnan, , , 'Estimation of aircraft taxi fuel burn using flight data recorder archives', 1.1.2012, Transportation Research Part D 17 (2012) 532–537, sciencedirect.com
- [29] Yifang Zhu, Elinor Fanning, Rong Chun Yu, Qunfang Zhang, John R. Froines, 'Aircraft emissions and local air quality impacts from takeoff activities at a large International Airport', 17.8.2011, Atmospheric Environment 45 (2011) 6526e6533, sciencedirect.com
- [30] "Jermanto S. Kurniawan, S. Khardi, , , 'Comparison of methodologies estimating emissions of aircraft pollutants, environmental impact assessment around airports', 16.10.2010, Environmental Impact Assessment Review 31 (2011) 240–252, sciencedirect.com"
- [31] "M. Mazaheri, G.R. Johnson, L. Morawska, , 'An inventory of particle and gaseous emissions from large aircraft thrust engine operations at an airport', 3.12.2010, Atmospheric Environment 45 (2011) 3500e3507, sciencedirect.com"
- [32] "Önder Altuntaş, Hikmet Karakoç, 'Türkiye’deki Bazı Hava Alanlarında İç Hat Uçuşları İçin Uçak Seçiminde Çevresel Etkilerin Göz Önünde Bulundurulmasının İncelenmesi', 19.1.2011, Havacılık Ve Uzay Teknolojileri Dergisi Ocak 2011 Cilt 5 Sayı 1 (11-18), sciencedirect.com"
- [33] S. Howe, A.J. Kolios, F.P. Brennan, , 'Environmental life cycle assessment of commerc+B112:L112ial passenger jet airliners', 1.1.2013, Transportation Research Part D 19 (2013) 34–41, sciencedirect.com
- [34] 'Havaalanı Yolcu Terminalleri Tasarım Esasları', [Erişim Tarihi: 12.04.2014], <http://web.shgm.gov.tr/documents/sivilhavacilik/files/pdf/kurumsal/yayinlar/T-14.pdf>, DHMİ
- [35] Necdet Büyükbay, Gülsan Özdemir, Erhan Üstündağ, 'Sustainable Aviation Applications In Turkey: Energy Efficiency At Airport Terminals', 21.7.2016, Sustainable Aviation, pp 53-60, sciencedirect.com

- [36] 'SHGM Havaalanları Yer Hizmetleri El Kitabı', [Erişim Tarihi: 20.11.2015], <http://web.shgm.gov.tr/documents/sivilhavacilik/files/pdf/kurumsal/yayinlar/havalaniyerhizmetleri.pdf>, SGHM
- [37] 'AERODROME STANDARDS', 1.7.1999, AERODROME DESIGN AND OPERATIONS, p.11, ICAO
- [38] 'DHMİ Genel Müdürlüğü, Havaalanı PAT Sahalarında Araç Kullanma Yönergesi', [Erişim Tarihi: 20.11.2015], www.dhmi.gov.tr/getBinaryFile.aspx?Type=2&dosyaID=113, DHMİ
- [39] 'GÜMRÜK KANUNU ', 27.10.1999, www.mevzuat.gov.tr/MevzuatMetin/1.5.4458.doc, WEB
- [40] 'Havacılık Terimleri Sözlüğü - Dhmi', 1.1.2011, www.dhmi.gov.tr/dosyalar/pdf/DHMi-Havacilik-Terimleri-Sozlugu.pdf, DHMİ
- [41] 'Havaalanı Sertifikasyon ve İşletim Yönetmeliği', 27.10.2016, <http://web.shgm.gov.tr/documents/sivilhavacilik/files/mevzuat/sektorel/yonetmelikler/SHY-14A.pdf>, SHGM
- [42] ANTONÍN KAZDA, ROBERT E. CAVES, 'Airport Design and Operation', 1.1.2007, Elsevier, p.243, Book
- [43] 'Airport Services Manual Part 7 – Airport Emergency Planning', 1.1.1980, ICAO Doc 9137-An/898, 1st edition, Montreal., Manual
- [44] Brian Graham, Claire Guyer, 'Environmental sustainability, airport capacity and European air transport liberalization: irreconcilable goals?', 36161, sciencedirect.com
- [45] Zachary Shahan, 'Electric Motors Use 45% of Global Electricity, Europe Responding', 16.6.2011, <https://cleantechnica.com/2011/06/16/electric-motors-consume-45-of-global-electricity-europe-responding-electric-motor-efficiency-infographic/>, web
- [46] Gabriel Lodewijks, 'Energy Efficient Use of Belt Conveyors in Baggage Handling Systems', 19.5.2012, possible energy savings, for baggage automation, IEEE

- [47] Freede Blaabjerg, John K Pedersen, Soren Rise, Hans Henrik Hansen, 'Can Soft-Starters Help Save Energy?', 1.9.1997, IEEF Industry Applications Magazine, IEEE
- [48] 'Group of Eight', [Erişim Tarihi: 11.10.2015], https://en.wikipedia.org/wiki/Group_of_Eight, Wikipedia
- [49] 'CO2 Emissions in 2007', [Erişim Tarihi: 11.10.2015], <http://data.un.org/Search.aspx?q=carbon>, UN Statistics
- [50] 'CO₂ with LULUCF, in kt', [Erişim Tarihi: 11.10.2015], <http://di.unfccc.int/TimeSeries.aspx>, UN Statistics
- [51] 'Jet Fuel Consumption by Year', [Erişim Tarihi: 11.10.2015], <http://www.indexmundi.com/energy/?product=jet-fuel>, web
- [52] 'IATA Annual Review 2012', [Erişim Tarihi: 10.10.2015], Can aviation biofuels work?, P36, iata
- [53] 'IATA Carbon Offset Program', 24.08.2015, <https://www.iata.org/whatwedo/environment/Documents/carbon-offset-program-faq-airline-participants.pdf>, iata
- [54] 'Sustainable Airport Manual', 12.11.2013, Chicago Department of Aviation, CDA
- [55] 'Airport Economizes On Food Residuals Collection Costs', [Erişim Tarihi: 11.10.2015], <https://www.biocycle.net/2005/08/18/airport-economizes-on-food-residuals-collection-costs/>, web
- [56] Mark Jaccard, Lee Failing, Trent Berry, , 'From equipment to infrastructure: community energy management and greenhouse gas emission reduction', 1.1.1997, Page 1071, sciencedirect.com
- [57] "F.J. Rey, E. Velasco, F. Varela, , 'Building Energy Analysis (BEA): A methodology to assess building energy labelling', 1.7.2016, Page 712, sciencedirect.com"
- [58] 'Sustainable Airport Manual', 12.11.2013, Chicago Department of Aviation, Page OM85, CDA
- [59] 'UK's Gatwick Airport Turns Waste into Energy Via Onsite Processing Facility ', 1/24/2017,

<http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=bth&AN=121898285&lang=tr&site=eds-live&authtype=uid>, ebchost

- [60] 'Strategies for Improving Public Transportation Access to Large Airports', 1.1.2002, Page 52, ebchost
- [61] 'Airport Air Quality Manual DOC 9889', 1.1.2011, International Civil Aviation Organization, Appendix 2, Chapter3, 3-A2-3, ICAO
- [62] Morrow, K. , Francfort, J.E., Hochard, D, 'Cost Benefit Analysis Modeling Tool for Electric vs. ICE Airport Ground Support Equipment-Development and Results', 1.1.2007, US Department of Energy, sciencedirect.com
- [63] 'Reducing Carbon & increasing airport sustainability', [Erişim Tarihi: 11.10.2015], <http://www.airportcarbonaccreditation.org/>, web
- [64] Vanja Bogicevic, Wan Yang, Cihan Cobanoglu, Anil Bilgihan, 'Traveler anxiety and enjoyment: The effect of airport environment on traveler's emotions', 25.7.2016, Journal of Air Transport Management 57 (2016) 122e129, sciencedirect.com
- [65] TDK, 'Konfor, Türk Dil Kurumu', [Erişim Tarihi: 1.10.2014], http://tdk.gov.tr/index.php?option=com_bts&arama=kelimel&guid=TDK.GTS.58de1385428115.86251379, TDK
- [66] 'Sustainable Airport Manual', 12.11.2013, Chicago Department of Aviation Page DC116-DC131,
- [67] David Gillen, William G. Morrison, 'Aviation security: Costing, pricing, finance and performance', 15.7.2015, Page 6, ebchost
- [68] N. Bauerle, O. Engelhardt-Funke, M. Kolonko, , 'On the waiting time of arriving aircrafts and the capacity of airports with one or two runways', 7.3.2005, European Journal of Operational Research 177 (2007) 1180–1196, sciencedirect.com
- [69] AntonyEvans, AndreasW.Schäfer, 'Simulating airline operational responses to airport capacity constraints', 1.1.2014, TransportPolicy34 (2014)5–13, sciencedirect.com

- [70] 'List of the busiest airports in Europe', [Erişim Tarihi: 11.10.2015], https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_the_busiest_airports_in_Europe, Wikipedia
- [71] Bernstein Research, 'The Picture on Airline Traffic and Profitability', 36161, COMMERCIAL AIRCRAFT CYCLE, Page 3, ebchost
- [72] 'İSTANBUL BÖLGESİ 3. HAVALİMANI ÇED Raporu', 1.3.2013, DHMİ
- [73] STIG HVOSLEF, LARS BIRGER SALVESEN, 'Zero emission airport development: Economically and environmentally viable', 22.5.2015, ebchost
- [74] 'Carbon-neutral tag for IGI Airport, first in Asia-Pacific', [Erişim Tarihi: 20.10.2016], <http://timesofindia.indiatimes.com/city/delhi/Carbon-neutral-tag-for-IGI-Airport-first-in-Asia-Pacific/articleshow/54553421.cms>, web
- [75] G.R. Johnson, M. Mazaheri, L. Morawska, 'An inventory of particle and gaseous emissions from large aircraft thrust engine operations at an airport', 40695, Atmospheric Environment 45 (2011) 3500e3507, sciencedirect.com
- [76] Richard Golaszewski, William Spitz, Ph.D., Benjamin Litvinas, , 'An Economic Analysis of Maximum Take-off Weight (MTOW) Reductions under an ICAO CO2 Standard', 7.5.2103, GRA, Incorporated, p2,
- [77] 'Airworthiness Directives', [Erişim Tarihi: 20.10.2016], <https://www.easa.europa.eu/easa-and-you/aircraft-products/airworthiness-directives-ad>, EASA
- [78] Ugur Kesgin, 'Aircraft emissions at Turkish airports', 1.1.2006, Energy 31 (2006) 372–384, sciencedirect.com
- [79] MARINOIU CRISTIAN, 'CLASSIFICATION OF EU COUNTRIES IN TERMS OF THE EVOLUTION OF THE GHG INDICATOR USING CLUSTER ANALYSIS ', 1.1.2015, <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edsdoj&AN=edsdoj.2d703915f7844428d8b75cd0661e9b3&lang=tr&site=eds-live&authtype=uid>, ebchost
- [80] Mohammed Redha Qader, 'Electricity Consumption and GHG Emissions in GCC Countries', 1.1.2014, <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edsbas&AN=edsbas.ftciteserx.oai.CiteSeerX.psu.10.1.1.429.6765&lang=tr&site=eds-live&authtype=uid>, ebchost

- [81] 'Annual sunshine hours map of the World', [Erişim Tarihi: 20.10.2014], <http://www.vividmaps.com/2016/02/annual-sunshine-hours-map-of-world.html>, WEB
- [82] 'Here is the data on Datacenter energy', [Erişim Tarihi: 20.10.2014], Schenider Electric, WEB
- [83] Josh Whitney, Pierre Delforge, 'Data Center Efficiency Assessment', August 2014, NRDC, Issue Paper, IP:14-08-a, WEB
- [84] "Josh Whitney (Anthesis), Pierre Delforge (NRDC), 'Data Center Efficiency Assessment', August 2014, Scaling Up Energy Efficiency Across the Data Center Industry: Evaluating Key Drivers and Barriers, www.nrdc.org/energy"
- [85] 'İşte THY'nin kapattığı hatlar', [Erişim Tarihi: 31.11.2016], <http://www.airporthaber.com/thy-haberleri/iste-thynin-kapattigi-hatlar.html>, web
- [86] Teresa Cederholm, 'Economic impact of the travel and tourism industry', [Erişim Tarihi: 29.12.2014], <http://marketrealist.com/2014/12/low-entry-barriers-intensify-competition-airline-industry/>, web
- [87] 'Passenger load factor (PLF) of international flights in December 2016', 42705, The statistic represents the passenger load factor (PLF) of international flights in SDecember 2016, by region. In December 2016, the international passenger load factor for Latin America amounted to just over 81 percent., www.statista.com
- [88] 'Boeing 737', [Erişim Tarihi: 29.11.2015], https://en.wikipedia.org/wiki/Boeing_737, Wikipedia
- [89] STEPHEN TRIMBLE, 'Boeing revises "obsolete" performance assumptions', 3.8.2015, <https://www.flightglobal.com/news/articles/boeing-revises-obsolete-performance-assumptions-415293/>, web
- [90] 'How much does a gallon of jet fuel weigh', [Erişim Tarihi: 29.11.2015], <https://www.reference.com/vehicles/much-gallon-jet-fuel-weigh-b5f1703c427353ff>, web
- [91] 'AERODROME STANDARDS, AERODROME DESIGN AND OPERATIONS', 1.7.1999, based on ICAO Annex 14, Third Edition, P 168,170, ICAO

- [92] Harry Baayen, 'Eco Indicator 99 Manual for Designers', 1.10.2000, www.pre.nl, web
- [93] Mark Goedkoop, Marjolein Demmers, Marcel Collignon, 'Eco Indicator 95 Manual for Designers', 1.11.1996, www.pre.nl, web
- [94] Shannon Ackert, 'Aircraft Payload-Range Analysis for Financiers', 1.4.2013, http://catsr.ite.gmu.edu/SYST660/aircraft_payload_range_analysis_for_financiers__v1.pdf, web
- [95] 'Aircraft acquisition cost and depreciation', 1.1.2015, <https://www.iata.org/publications/Documents/Airline-Disclosure-Guide-aircraft-acquisition.pdf>, iata
- [96] 'OneSky Online Extranet - DDR2 veritabanı', [Erişim Tarihi: 21.11.2016], <https://ext.eurocontrol.int>, eurocontrol
- [97] 'Aeronautical Information Publication', [Erişim Tarihi: 16.02.2017], https://en.wikipedia.org/wiki/Aeronautical_Information_Publication, Wikipedia
- [98] "Sebastian Wandelta, Xiaoqian Sunb, 'SO6C: Compressed Trajectories in Air Traffic Management', 1.1.2014, ATM data, computational requirements for storage and analysis , arc.aiaa.org"
- [99] O.S. Tezer, 'SQLite vs MySQL vs PostgreSQL: A Comparison Of Relational Database Management Systems', [Erişim Tarihi: 21.12.2016], <https://www.digitalocean.com/community/tutorials/sqlite-vs-mysql-vs-postgresql-a-comparison-of-relational-database-management-systems>, web
- [100] 'Understanding MySQL Table Types, or Storage Engines', [Erişim Tarihi: 21.12.2016], <http://www.mysqltutorial.org/understand-mysql-table-types-innodb-myisam.aspx>: in this tutorial, you will learn various MySQL table types or storage engines. It is essential to understand the features of each table type in MySQL so that you can use them effectively to maximize the performance of your databases., web
- [101] Martinez, Isodoro, 'AEROSPACE ENGINE DATA', 22.2.2017, <http://webserver.dmt.upm.es/~isodoro/bk3/c17/Aerospace%20engine%20data.pdf>, <http://webserver.dmt.upm.es/zope/DMT>

- [102] Violeta Bulc, 'European Aviation Environmental Report 2016', 1.1.2017, <https://ec.europa.eu/transport/sites/transport/files/european-aviation-environmental-report-2016-72dpi.pdf>, easa
- [103] 'Aircraft gross weight', [Erişim Tarihi: 21.12.2016], https://en.wikipedia.org/wiki/Aircraft_gross_weight, Wikipedia
- [104] 'Airport Air Quality Manual DOC 9889', 1.1.2011, International Civil Aviation Organization, ICAO
- [105] 'Night', [Erişim Tarihi: 20.03.2017], <https://en.wikipedia.org/wiki/Night>, Wikipedia
- [106] 'Duration of Daylight/Darkness Table for One Year', [Erişim Tarihi: 20.03.2017], http://aa.usno.navy.mil/data/docs/Dur_OneYear.php, web
- [107] Cyril Tetaz, 'New outlook on worldwide air passenger demand [infographic]', [Erişim Tarihi: 20.03.2017], <http://www.amadeus.com/blog/08/05/new-outlook-on-worldwide-passenger-demand/>, web
- [108] 'Airport, airline and route data', [Erişim Tarihi: 20.03.2017], <http://openflights.org/data.html#route>, web
- [109] 'DHMI Genel M¼d¼rl¼ę¼ Havaalanları PAT Sahalarında Araç Kullanma Y¼nergesi', [Erişim Tarihi: 12.04.2014], www.dhmi.gov.tr/getBinaryFile.aspx?Type=2&dosyaID=113, DHMI
- [110] NIGEL HALPERN, ANNE GRAHAM, 'Performance and prospects of smaller UK regional airports', 1.4.2017, Journal of Airport Management , ebchost
- [111] Doug Hart, Philip McCann, 'A POLICY CRITIQUE OF STANSTED AIRPORT'S EXPANSION TO 25 MILLION PASSENGER PER ANNUM (MPPA)', 1.1.2004, <https://ideas.repec.org>, ebchost
- [112] 'A321 AIRCRAFT CHARACTERISTICS AIRPORT AND MAINTENANCE PLANNING', [Erişim Tarihi: 12.11.2016], http://www.airbus.com/fileadmin/media_gallery/files/tech_data/AC/Airbus_AC_A321_Jun16.pdf, web
- [113] 'A340-500/-600 AIRCRAFT CHARACTERISTICS AIRPORT AND MAINTENANCE PLANNING', [Erişim Tarihi: 12.11.2016],

- http://www.airbus.com/fileadmin/media_gallery/files/tech_data/AC/Airbus-AC-A340-500-600-Jan16.pdf, web
- [114] 'A330 AIRCRAFT CHARACTERISTICS AIRPORT AND MAINTENANCE PLANNING', [Erişim Tarihi: 12.11.2016], http://www.airbus.com/fileadmin/media_gallery/files/tech_data/AC/Airbus-AC-A330-Jan16.pdf, web
- [115] 'A320 AIRCRAFT CHARACTERISTICS AIRPORT AND MAINTENANCE PLANNING', [Erişim Tarihi: 12.11.2016], http://www.airbus.com/fileadmin/media_gallery/files/tech_data/AC/Airbus_AC_A320_Jun16.pdf, web
- [116] 'The 747 family plan', [Erişim Tarihi: 12.11.2016], http://www.boeing.com/resources/boeingdotcom/company/about_bca/startup/pdf/historical/747-400-passenger.pdf, web
- [117] 'Boeing standard-body freighters', [Erişim Tarihi: 12.11.2016], http://www.boeing.com/resources/boeingdotcom/company/about_bca/startup/pdf/freighters/757f.pdf, web
- [118] '777-200 performance summary', [Erişim Tarihi: 12.11.2016], http://www.boeing.com/assets/pdf/commercial/startup/pdf/777_perf.pdf, web
- [119] 'The 737-300/-400/-500 Offers Flexibility to Meet Market Demands', [Erişim Tarihi: 12.11.2016], <http://www.boeing.com/assets/pdf/commercial/airports/acaps/737.pdf>, web

EK - 1 : HAVAAALANI VERİLERİ

2009 ile 2014 arasındaki en büyük 100 havaalanı yolcu sayıları verisi (1/6)

No	Ülke	Şehir		(IATA/ICAO)	2009	2010	2011	2012	2013	2014
1	Birleşik Krallık	Londra	Heathrow	LHR/EGLL	66036957	65881660	69433230	70037417	72367054	73371195
2	Fransa	Paris	Charles de Gaulle	CDG/LFPG	57906866	58164612	60970551	61611934	62052917	63813756
3	Almanya	Frankfurt	Frankfurt	FRA/EDDF	50932840	53009221	56436255	57520001	58036948	59566132
4	Türkiye	İstanbul	Atatürk	IST/LTBA	29812888	32143819	37394694	45091962	51297790	56954790
5	Hollanda	Amsterdam	Schiphol	AMS/EHAM	43570370	45211749	49755252	51035590	52569250	54978023
6	İspanya	Madrid	Barajas	MAD/LEMD	48270581	49863504	49671270	45190528	39735618	41833374
7	Almanya	Münih	Münih	MUC/EDDM	32681067	34721605	37763701	38360604	38672644	39700515
8	İtalya	Roma	Leonardo da Vinci	FCO/LIRF	33808093	36337050	37651700	36980911	36166345	38506908
9	Birleşik Krallık	Londra	Gatwick	LGW/EGKK	32392520	31375290	33674264	34235982	35444206	38094885
10	İspanya	Barcelona	Barcelona	BCN/LEBL	27311765	29209595	34398226	35144503	35216828	37559044
11	Rusya	Moskova	Domodedovo	DME/UUDD	18676077	22153529	25701610	28165657	30760000	33040000
12	Rusya	Moskova	Sheremetyevo	SVO/UUEE	14764000	19123007	22351317	26032975	29256000	31568000
13	Fransa	Paris	Orly	ORY/LFPO	57906866	58164612	27139076	27232263	28274154	28862586
14	Türkiye	Antalya	Antalya	AYT/LTAI	18345693	21996601	25113635	24993667	27018623	28341063
15	Danimarka	Kopenhag	Kopenhag	CPH/EKCH	19715451	21501750	22725517	23336187	24067030	25627093
16	İsviçre	Zürih	Zürih	ZRH/LSZH	21926872	22878251	243337954	24802466	24865138	25477622
17	Norveç	Oslo	Gardermoen	OSL/ENGM	18087722	19091113	21103623	22080433	22956540	24269235
18	Türkiye	İstanbul	Sabiha Gökçen	SAW/LTFJ	6517486	11189678	12749230	14487242	18521762	23631883
19	İspanya	Mayorka	Palma	PMI/LEPA	21203028	21117270	22726707	22666858	22768032	23115499
20	Avusturya	Viyana	Viyana	VIE/LOWW	18114103	19691206	21106292	22165794	21999926	22483158

2009 ile 2014 arasındaki en büyük 100 havaalanı yolcu sayıları verisi (2/6)

No	Ülke	Şehir	(IATA/ICAO)	2009	2010	2011	2012	2013	2014
21	İsviçre	Stockholm	ARN/ESSA	16064071	16962416	19069065	19642029	20681554	22443272
22	Birleşik Krallık	Manchester	MAN/EGCC	18724889	17759015	18892756	19736502	20751581	21951758
23	Belçika	Brüksel	BRU/EBBR	16999154	17181000	18786034	18971332	19133222	21933190
24	Almanya	Düsseldorf	DUS/EDDL	17793493	18988149	20339466	20833246	21228226	21850489
25	İrlanda	Dublin	DUB/EIDW	20504000	18431625	18740953	19099649	20166783	21712173
26	Almanya	Berlin	TXL/EDDT	14180237	15025600	16919820	18164203	19591838	20688016
27	Birleşik Krallık	Londra	STN/EGSS	19957077	18573803	18052843	17472699	17852393	19935161
28	İtalya	Milan	MLP/LIMC	17551635	18947808	19303131	18537301	17955075	18851238
29	Portekiz	Lizbon	LIS/LPPT	13277959	14035273	14805624	15301176	16008848	18142245
30	Finlandiya	Helsinki	HEL/EFHK	12591606	12883399	14865871	14858215	15278994	15948760
31	Yunanistan	Atina	ATH/LGAV	16225589	15411099	14446971	12944041	12536057	15196463
32	İsviçre	Cenevre	GVA/LSGG	11324141	11785522	13111741	13899422	14436149	15152927
33	Almanya	Hamburg	HAM/EDDH	12229319	12962429	13558261	13697402	13502553	14760280
34	Rusya	Saint Petersburg	LED/ULLI	6758031	8391281	9610767	11154560	12854366	14264732
35	İspanya	Málaga]	AGP/LEMG	11622443	12064616	12823117	12581944	12925186	13749134
36	Rusya	Moskova	VKO/UUWW	7731000	9460292	8197162	9690000	11180000	12733000
37	Fransa	Nice	NCE/LFMN	9830987	9603014	10422073	11189896	11554195	11660208
38	Çek Cumhuriyeti	Prag	PRG/LKPR	11643366	11556858	11788629	10807890	10974196	11149926
39	Türkiye	Ankara	ESB/LTAC	6084404	7763914	8485467	9237886	10928403	11012119
40	Türkiye	İzmir	ADB/LTBJ	6201794	7485098	8523533	9356284	10208627	10936772

2009 ile 2014 arasındaki en büyük 100 havaalanı yolcu sayıları verisi (3/6)

No	Ülke	Şehir		(IATA/ICAO)	2009	2010	2011	2012	2013	2014
41	Polonya	Varşova	Frederic Chopin	WAW/EPWA	8320927	8712384	9337734	9587842	10683706	10590000
42	Birleşik Krallık	Londra	Luton	LTN/EGGW	9120546	8738717	9513704	9617697	9697944	10481618
43	İspanya	Las Palmas de Gran Canaria	Gran Canaria	LPA/GCLP	9155670	9486035	10538829	9892067	9770039	10315732
44	Birleşik Krallık	Edinburgh	Edinburgh	EDI/EGPH	9049355	8596715	9385245	9195061	9775443	10159890
45	İspanya	Alicante	Alicante	ALC/LEAL	9139607	9382935	9913731	8855444	9638835	10065873
46	Almanya	Stuttgart	Stuttgart	STR/EDDS	8934493	9218095	9582265	9720877	9577551	9718438
47	Birleşik Krallık	Birmingham	Birmingham	BHX/EGBB	9102899	8572398	8616296	8922539	9120201	9698349
48	Almanya	Köln / Bonn	Köln Bonn	CGN/EDDK	9739581	9849779	9623398	9280070	9077346	9450493
49	İspanya	Santa Cruz de Tenerife	Tenerife	TFS/GCTS	7108073	7359150	8656487	8530729	8701728	9176274
50	Macaristan	Budapeşte	Ferenc Liszt	BUD/LHBP	8095367	8190089	8920653	8504020	8520880	9155161
51	İtalya	Milan	Linate	LIN/LIML	8295099	8296450	9128522	9229890	9034373	9031855
52	İtalya	Bergamo / Milan	Orio al Serio	BGY/LIME	7157421	7674179	8419948	8890720	8964376	8774256
53	İtalya	Venedik	Marco Polo	VCE/LIPZ	6701689	6854595	8584651	8188455	8403790	8475188
54	Fransa	Lyon	Saint Exupéry	LYS/LFLL	7717609	7779228	8437141	8451039	8562298	8467093
55	Romanya	Bükreş	Henri Coandă	OTP/LROP	4483661	4917952	5049443	7120067	7649503	8317168
56	Fransa	Marsilya	Marsilya	MRS/LFML	7290119	7485886	7366873	8295479	8260619	8182237
57	Birleşik Krallık	Glasgow	Glasgow	GLA/EGPF	7225021	6548865	6880217	7157859	7363764	7709386
58	Fransa	Toulouse	Blagnac	TLS/LFBO	6277621	6405906	698140	7559350	7567634	7517736
59	İtalya	Catania	Catania	CTA/LICC	5931592	6318177	6794063	6246888	6400127	7304012
60	Almanya	Berlin	Schönefeld	SXF/EDDB	6797158	7297911	7113989	7097274	6727306	7292517

2009 ile 2014 arasındaki en büyük 100 havaalanı yolcu sayıları verisi (4/6)

No	Ülke	Şehir		(IATA/ICAO)	2009	2010	2011	2012	2013	2014
61	Portekiz	Porto		OPO/LPPR	4509350	5279362	6004589	6050094	6372801	6929805
62	Ukrayna	Kiev		KBP/UKBB	5795000	6700000	8047115	8478091	7930000	6890443
63	İtalya	Bologna		BLQ/LIPE	4774697	5503106	5885884	5958648	6193783	6580481
64	İsviçre	Basel / Mulhouse / Freib.		BSL/LFSB	3850378	4129052	5053643	5354674	5880771	6523874
65	Belçika	Brüksel		CRL/EBCI	3937187	5195372	5901007	6516427	6786979	6439957
66	Birleşik Krallık	Bristol		BRS/EGGD	5642921	5747604	5780746	5921530	6131896	6333532
67	Norveç	Bergen		BGO/ENBR	4862869	5078267	5601394	5814413	6213960	6216841
68	İspanya	İbiza		IBZ/LEIB	4572814	5040800	5643180	5555048	5726579	6211882
69	Portekiz	Faro		FAO/LPFR	5067000	5336173	5615580	5672377	5981448	6166954
70	Yunanistan	Kandiye		HER/LGIR	5052840	4907337	5292687	5014312	5778764	6092054
71	İtalya	Napoli		NAP/LIRN	5310965	5571738	5768873	5801836	5444422	5960035
72	İspanya	Lanzarote		ACE/GCRR	4701480	4938632	5543744	5168775	5334599	5883039
73	Güney Kıbrıs	Larnaka		LCA/LCLK	5168959	5367724	5507762	5166224	4863577	5320173
74	Almanya	Hanover		HAJ/EDDV	4969799	5059800	5340264	5287831	5234909	5291882
75	İsveç	Göteborg		GOT/ESGG	3689254	4133299	4906639	4854888	5004093	5207633
76	Yunanistan	Selanik		SKG/LGTS	4104195	3910751	4061697	4042539	4039576	5072691
77	İtalya	Roma		CIA/LIRA	4757822	4531834	4781731	4497376	4749251	5018289
78	Fransa	Bordeaux		BOD/LFBD	3318059	3663702	4117303	4380145	4624812	4952111
79	Letonya	Riga		RIX/EVRA	4066854	4663472	5106926	4767878	4793213	4814073
80	İspanya	Puerto del Rosario		FUE/GCFV	3738492	4173686	4948018	4399023	4258069	4764632

2009 ile 2014 arasındaki en büyük 100 havaalanı yolcu sayıları verisi (5/6)

No	Ülke	Şehir		(IATA/ICAO)	2009	2010	2011	2012	2013	2014
81	Norveç	Stavanger		SVG/ENZV	3410462	3521734	4131974	4413987	4668403	4721970
82	İtalya	Pisa		PSA/LIRP	4011525	4058957	4526723	4494915	4479690	4683811
83	Türkiye	Adana		ADA/LTAF	YANLIŞ	YANLIŞ	3240967	3777348	4316678	4679878
84	Sırbistan	Belgrad		BEG/LYBE	YANLIŞ	YANLIŞ	YANLIŞ	YANLIŞ	3543194	4638577
85	İspanya	Valensiya		VLC/LEVC	4748981	4934272	4979511	4752020	4618072	4592512
86	İtalya	Palermo		PMO/LICJ	4373047	4363546	4992798	4608533	4349672	4569550
87	Yunanistan	Rodos		RHO/LGRP	3470111	3586572	4149274	3814706	4200059	4552955
88	Rusya	Yekaterinburg		SVX/USSS	YANLIŞ	YANLIŞ	3355883	3783069	4293002	4526167
89	Birleşik Krallık	Newcastle upon Tyne		NCL/EGNT	4587883	4363546	4346270	4366196	4420839	4513045
90	Birleşik Krallık	Derby / Leicester / Nottingham		EMA/EGNX	4658151	4113501	4215192	4076178	4334117	4506457
91	Norveç	Trondheim		TRD/ENVA	3424965	3674816	3926461	4160162	4311328	4416681
92	Malta	Malta		MLA/LMML	YANLIŞ	YANLIŞ	3510213	3654283	4031500	4290380
93	Türkiye	Dalaman		DLM/LTBS	3597996	3785779	3732941	3810015	4055630	4276674
94	Fransa	Nantes		NTE/LFRS	YANLIŞ	YANLIŞ	3246112	3631693	3930849	4157284
95	Birleşik Krallık	Belfast		BFS/EGAA	4546475	4016170	4103620	4313685	4023336	4031700
96	Fransa	Beauvais		BVA/LFOB	YANLIŞ	YANLIŞ	3677825	3862431	3952908	4024204
97	İspanya	Bilbao		BIO/LEBB	3654951	3888969	4046172	4171065	3800774	4015352
98	Birleşik Krallık	Liverpool		LPL/EGGP	4884494	5013940	5251161	4463257	4187493	3984024
99	Rusya	Novosibirsk		OVV/UNNT	YANLIŞ	YANLIŞ	YANLIŞ	YANLIŞ	3748211	3957667
100	Hollanda	Eindhoven		EIN/EHEH	YANLIŞ	YANLIŞ	YANLIŞ	YANLIŞ	3396853	3926395

2009 ile 2014 arasındaki en büyük 100 havaalanı yolcu sayıları verisi (6/6)

No	Ülke	Şehir		(IATA/ICAO)	2009	2010	2011	2012	2013	2014
101	İspanya	Seville	San Pablo	SVQ/LEZL	4051268	4224718	4959359	4292020	YANLIŞ	YANLIŞ
102	Polonya	Kraków	Kraków	KRK/EPPK	YANLIŞ	YANLIŞ	YANLIŞ	YANLIŞ	3438758	3647616
103	İspanya	Tenerife	Los Rodeos	TFN/GC XO	4054147	4051155	4095103	3717944	YANLIŞ	YANLIŞ
104	İtalya	Bari	Bari	BRI/LIBD	YANLIŞ	YANLIŞ	3725629	3780112	YANLIŞ	YANLIŞ
105	İtalya	Cagliari	Elmas	CAG/LIEE	YANLIŞ	YANLIŞ	YANLIŞ	YANLIŞ	YANLIŞ	YANLIŞ
106	İtalya	Torino	Torino	TRN/LIMF	3220576	3552519	YANLIŞ	YANLIŞ	YANLIŞ	YANLIŞ
107	Almanya	Nürnberg	Nürnberg	NUE/EDDN	3965743	4068799	YANLIŞ	YANLIŞ	YANLIŞ	YANLIŞ
108	Almanya	Kirchberg / Simmern	Frankfurt Hahn	HHN/EDFH	3793710	3493451	YANLIŞ	YANLIŞ	YANLIŞ	YANLIŞ
109	İspanya	Giropa	Costa Brava	GRO/LEGE	5286975	4863785	YANLIŞ	YANLIŞ	YANLIŞ	YANLIŞ