

HAVALİMANLARINDA SÜRDÜRÜLEBİLİR ENERJİ YÖNETİM MODELİ

Mehmet Kadri AKYÜZ

DOKTORA TEZİ

Uçak Gövde Motor Bakım Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Önder ALTUNTAŞ

Eskişehir

Anadolu Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Mayıs, 2018

Bu Tez Çalışması BAP Komisyonunca kabul edilen 1610F668 no.lu proje kapsamında desteklenmiştir.

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

Mehmet Kadri AKYÜZ'ün "Havalimanlarında Sürdürülebilir Enerji Yönetim Modeli" başlıklı tezi 22/05/2018 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>Adı Soyadı</u>	<u>İmza</u>
Üye (Tez Danışmanı)	: Doç. Dr. Önder ALTUNTAŞ	
Üye	: Prof. Dr. Tahir Hikmet KARAKOÇ	
Üye	: Doç. Dr. Emin AÇIKKALP	
Üye	: Dr. Öğr. Üyesi İlkay ORHAN	
Üye	: Dr. Öğr. Üyesi Fatih KOÇYİĞİT	

Enstitü Müdürü

ÖZET

HAVALİMANLARINDA SÜRDÜRÜLEBİLİR ENERJİ YÖNETİM MODELİ

Mehmet Kadri AKYÜZ

Uçak Gövde Motor Bakım Anabilim Dalı

Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mayıs 2018

Danışman: Doç. Dr. Önder ALTUNTAŞ

Son yıllarda havacılık sektörünün hızla büyümesi ve uçuş ağına yeni destinasyonların katılması havalimanı sayısında artışa neden olmuştur. Dinamik yapısı, 24 saat hizmet vermesi, uçuş operasyonlarının emniyetli şekilde gerçekleştirilmesi ve terminal binalarında yolcuların konfor şartlarının sağlanması havalimanlarında enerji tüketiminde artışa neden olmaktadır. Yüksek ve yoğun enerji tüketim sahaları olan havalimanlarında enerji yönetimi, enerji performansının sürekli iyileştirilmesi açısından önemli bir konu haline gelmiştir. Bu tezde sürdürülebilir kalkınma ilkeleri göz önünde bulundurularak havalimanları için bir enerji yönetim modeli önerilmiştir. Önerilen enerji etüt modelleri Uluslararası bir Havalimanı terminal binasına uygulanmıştır. Havalimanı için enerji performans göstergeleri istatistiksel bir yöntem olan regresyon analizi yardımıyla belirlenmiş ve matematiksel olarak ifade edilmiştir. Havalimanı terminal binasında hiçbir yatırım gerektirmeyen enerji tasarruf potansiyeli tez kapsamında belirlenmiş ve bu potansiyelin kazanılması ile ilgili yapılması gerekenler açıklanmıştır. Aynı zamanda terminal binasında iç hava kalitesi ölçümleri gerçekleştirilmiş ve sonuçları ile ilgili önerilerde bulunulmuştur. Terminal binasında enerji verimliliği ölçüm cihazları yardımıyla gerçekleştirilen detay etütlerle enerji-verimsiz noktalar tespit edilmiştir. Enerji etütleri yardımıyla enerji iyileştirme fırsatları belirlenmiş ve bu fırsatlarla ilgili eylem planları oluşturulmuştur. Eylem planları oluşturulurken sürdürülebilir kalkınma ilkeleri (ekonomik, çevresel ve sosyal) dikkate alınmıştır. Sonuç olarak belirlenen eylem planlarının uygulanması ile havalimanının enerji ve çevresel performansının önemli oranda iyileştirilebileceği görülmüştür.

Anahtar Sözcükler: Enerji yönetimi, Sürdürülebilirlik, Enerji verimliliği, Havalimanları, ISO 50001.

ABSTRACT

SUSTAINABLE ENERGY MANAGEMENT MODEL IN AIRPORTS

Mehmet Kadri AKYÜZ

Department of Airframe and Powerplant Maintenance

Anadolu University, Graduate School of Sciences, May 2018

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Önder ALTUNTAŞ

The number of airports has recently increased due to the fast growth of the aviation industry and the increment in the number of new destinations added to the flight network. The dynamic structure, 24-hour servicing, performing flight operations safely and the provision of comfortable conditions for passengers in terminal buildings has led to an increase in the energy consumption of airports. Energy management has become an important topic for the continuous improvement of energy performance in airports as they are sites with high and intense energy consumption. In this thesis, an energy management model is proposed for airports considering sustainable development principles. The proposed energy audit models were applied to an international airport terminal building. For the airport, the energy performance indicators were identified using regression analysis, which is a statistical method, and these indicators have been expressed mathematically. In the scope of this thesis, the energy saving potential which requires no investment was identified in the terminal buildings of the airport. It is also explained what needs to be done to achieve this potential. Furthermore, the indoor air quality was measured in the terminal building and the suggestions related to its results are offered. The energy-inefficient points were identified in the terminal building by detailed energy audits performed using measurement instruments. With the help of energy audits, the energy performance improvement opportunities were determined and also the action plans related to these opportunities were developed. The sustainable development principles (economic, environmental and social) were considered during the development of these action plans. As a result, it was found that energy and environmental performance of airport can be improved significantly with the implementation of action plans.

Keywords: Energy management, Sustainability, Energy efficiency, Airports, ISO 50001.

TEŞEKKÜR

Beni her konuda destekleyen, motive eden ve en doğru şekilde yönlendirerek tezin tamamlanmasını sağlayan değerli danışman hocam Sayın Doç. Dr. Önder ALTUNTAŞ'a teşekkürü bir borç bilirim. Tezin tamamlanmasında konu ile ilgili bilgisi, tecrübesi ve desteğini hiçbir zaman esirgemeyen ve tezin ortaya çıkmasında büyük emeği olan saygıdeğer hocam Doç. Dr. Mehmet Ziya SÖĞÜT'e çok teşekkür ederim.

Görüş ve önerileriyle tez çalışmama katkıda bulunan değerli hocalarım Prof. Dr. T. Hikmet KARAKOÇ'a ve Doç Dr. Emin AÇIKKALP'e teşekkür ederim.

Tez çalışması boyunca beni sürekli motive eden ve destekleyen yakın arkadaşlarım Metin AYATA ve Cihan KAYA'ya çok teşekkür ederim.

Doktora öğrenimim boyunca bilgi ve tecrübelerinden faydalandığım Anadolu Üniversitesi Öğretim Üyeleri Doç. Dr. Enis Turhan TURGUT, Doç. Dr. Önder TURAN ve Dr. Öğr. Üyesi İlkay ORHAN'a teşekkür ederim.

Hasan Polatkan Havalimanı meydan amiri Hüseyin ŞENOĞLU'na desteklerinden dolayı çok teşekkür ederim. Doktora öğrenimim boyunca desteklerini esirgemeyen Dr. Öğr. Üyesi Seyhun DURMUŞ ve Elif YILDIRIM'a teşekkürü borç bilirim.

Yardım ve desteklerinden dolayı arkadaşlarım Salih Sabri AYDIN ve Ersin AKTAŞ'a çok teşekkür ederim.

Bilimsel araştırma projelerine olan destekleri için Anadolu Üniversitesine teşekkürü borç bilirim. Eğitim hayatım boyunca bana her konuda destek olan canım aileme sonsuz teşekkür ederim.

Mehmet Kadri AKYÜZ

Mayıs 2018

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Bu tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı; bu çalışma kapsamında elde edilen tüm veri ve bilgiler için 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 sonuçları kabul ettiğimi bildiririm.

Mehmet Kadri AKYÜZ

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
BAŞLIK SAYFASI	i
JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI.....	ii
ÖZET	iii
ABSTRACT.....	iv
TEŞEKKÜR	v
ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
TABLolar DİZİNİ	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
GÖRSELLER DİZİNİ	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xvi
1. GİRİŞ	1
1.1. Tezin Kapsamı ve Amacı	2
1.2. Tezin Yapısı ve Bölümleri	2
1.3. Literatür Taraması.....	3
1.3.1. Sanayi sektöründe enerji yönetimi ve enerji verimliliği	4
1.3.2. Farklı amaçlar için kullanılan binalar ve konutlarda enerji yönetimi	5
1.3.3. Havalimanlarında enerji verimliliği	7
2. HAVALİMANLARI.....	12
2.1. Havalimanlarında Enerji Tüketimi.....	12
2.2. Havalimanlarında Enerji Tüketimini Etkileyen Faktörler	14
2.3. Enerji Kaynakları	16
2.3.1. Yenilenebilir enerji kaynakları.....	16
2.3.1.1. Güneş enerjisi	17
2.3.1.2. Rüzgâr enerjisi.....	19
2.3.1.3. Hidrolik (hidroelektrik) enerjisi	20
2.3.1.4. Jeotermal enerji.....	20
2.3.1.5. Biyokütle	21
2.4. Havalimanlarında Enerji Performans Göstergeleri	21
3. SÜRDÜRÜLEBİLİR ENERJİ YÖNETİM MODELİ	23
3.1. Havalimanlarının Yönetim Yapısı	23

3.2. Sürdürülebilirlik ve Enerji Yönetim Organizasyon Yapısı.....	24
3.3. Sürdürülebilir Enerji Yönetimi Kavramı	28
3.3.1. Ekonomik sürdürülebilirlik	28
3.3.2. Sosyal sürdürülebilirlik	29
3.3.3. Çevresel sürdürülebilirlik.....	29
3.4. ISO 50001 Enerji Yönetim Sistemi	31
3.4.1. Üst yönetimin taahhüdü	34
3.4.2. Yönetim temsilcisi	35
3.4.3. Enerji yöneticisi	35
3.4.4. Enerji ekibi.....	36
3.4.5. Enerji politikası	37
3.4.6. Örnek bir enerji politikası	38
3.5. Enerji Planlaması	38
3.6. Uygulama.....	43
3.6.1. Farkındalık, eğitim ve yetkinlik	44
3.6.2. İletişim	45
3.6.3. Dokümantasyon	45
3.6.4. İşlevsel kontrol.....	46
3.6.5. Enerji verimli tasarım	47
3.6.6. Tedarik, satın alma	47
3.7. Kontrol Et.....	50
3.7.1. İzleme, ölçme ve analiz.....	51
3.7.2. Yasal ve diğer gerekliliklere uygunluğun değerlendirilmesi	52
3.7.3. EnYS'nin iç tetkiki	52
3.7.4. Uygunsuzluklar, düzeltici ve önleyici faaliyetler	53
3.7.5. Kayıtların kontrolü.....	53
3.8. Yönetimin Gözden Geçirilmesi	53
4. ÖRNEKLEM VE YÖNTEM	56
4.1. Enerji Etüdü	57
4.1.1. Ön etütler.....	58
4.1.2. Detay etütler.....	60
4.1.2.1. Termal kamera seti.....	62
4.1.2.2. Baca gazı analiz cihazı	62

4.1.2.3. Çok fonksiyonlu ölçüm cihazı	65
4.2. Regresyon Analizi.....	66
4.2.1. Doğrusal regresyon analizi.....	66
4.2.1.1. Modelin anlamlılığı.....	67
4.2.2. Doğrusal olmayan regresyon	67
4.3. Optimum Yalıtım Kalınlığının Hesaplanması	68
4.3.1. Dış yüzeylerde meydana gelen ısı kaybı.....	68
4.3.2. Optimum yalıtım kalınlığı.....	70
4.4. TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları Standardı	71
4.4.1. Yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı hesabı.....	73
4.4.2. Geri ödeme süresi.....	76
4.5. Aydınlatma.....	77
4.6. Yaşam Döngü Değerlendirmesi (YDD).....	79
4.6.1. Amaç ve kapsam	80
4.6.2. Envanter analizi.....	81
4.6.3. Etki değerlendirme	81
4.6.4. Yorumlama.....	83
5. BULGULAR VE DEĞERLENDİRMELER	85
5.1. Havalimanı Enerji Tüketim Haritası	85
5.2. Terminal Binası Enerji Tüketim Haritası.....	86
5.2.1. Enerji maliyetleri.....	88
5.3. Enerji Performans Göstergeleri.....	89
5.4. Havalimanında Enerji Tüketimi Kaynaklı Çevresel Etkiler	92
5.5. Terminal Binası Enerji Tüketimi Kaynaklı Çevresel Etkiler.....	95
5.6. Detay Etütler ve Enerji İyileştirme Fırsatlarının Belirlenmesi	96
5.6.1. Terminal bina kabuğunun termal görüntüleri	96
5.6.2. Duvar, cam ve cam kapıların U değeri ölçümleri	104
5.6.3. Terminal binasında ısıtma enerjisi ihtiyacı	108
5.6.4. Baca gazı ölçüm sonuçları	108
5.7. Terminal Binası Elektrik Tüketimi	112
5.8. Optimum Yalıtım Kalınlığı ile İlgili Bulgular	114
5.9. Enerji İyileştirme Fırsatları	117
5.9.1. Finansman gerektirmeyen enerji iyileştirme fırsatları	119

5.9.2. Terminal binası duvarlarına ısı yalıtımı yapılması	119
5.9.3. Terminal binası çatısına ısı yalıtımı yapılması	120
5.9.4. Terminal binası zeminine ısı yalıtımı uygulanması	121
5.9.5. Terminal binası pencerelerinin ısıcam ile değişimi	121
5.9.6. Radyatörlerin termostatik vanalı radyatörlerle değişimi.....	122
5.9.7. Terminal binası aydınlatma yapısı ile ilgili bulgular	123
5.10. Isı Yalıtımı ile İlgili Çevresel Bulgular.....	124
5.11. Pencere Değişimiyle İlgili Çevresel Bulgular.....	130
5.12. Aydınlatma Yapısının LED ile Değişimiyle İlgili Bulgular	133
5.13. İç Hava Kalitesi Ölçümleri ve Sonuçları	134
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	139
KAYNAKÇA.....	143
ÖZGEÇMİŞ	

TABLÖLAR DİZİNİ

Sayfa

Tablo 2.1. Havalimanlarında yolcu başına enerji tüketimi	22
Tablo 3.1. Sürdürülebilirlik göstergeleri	31
Tablo 4.1. Hasan Polatkan Uluslararası Havalimanı istatistikleri.....	56
Tablo 4.2. Yapı bileşenleri için tavsiye edilen en yüksek U değerleri.....	73
Tablo 4.3. Aylık ortalama güneş ışınım şiddeti	75
Tablo 4.4. Uzun yıllar gerçekleşen ortalama dış hava sıcaklıkları	76
Tablo 5.1. Terminal binası enerji tüketim değerleri ve değişkenler	90
Tablo 5.2. 15.12.2016 tarihinde gerçekleştirilen baca gazı ölçüm sonuçları.....	109
Tablo 5.3. 03.01.2017 tarihinde gerçekleştirilen baca gazı ölçüm sonuçları.....	110
Tablo 5.4. 14.01.2017 tarihinde gerçekleştirilen baca gazı ölçüm sonuçları.....	110
Tablo 5.5. 28.03.2017 tarihinde gerçekleştirilen baca gazı ölçüm sonuçları.....	110
Tablo 5.6. 13.11.2017 tarihinde gerçekleştirilen baca gazı ölçüm sonuçları.....	111
Tablo 5.7. 20.12.2017 tarihinde gerçekleştirilen baca gazı ölçüm sonuçları.....	111
Tablo 5.8. 01.03.2018 tarihinde gerçekleştirilen baca gazı ölçüm sonuçları.....	111
Tablo 5.9. Hesaplamalarında kullanılan yalıtım malzemelerinin özellikleri	114
Tablo 5.10. OYK hesaplamalarında kullanılan diğer parametreler	115
Tablo 5.11. En fazla değer olarak kabul edilmesi tavsiye edilen U değerleri.....	118
Tablo 5.12. Farklı ışık kaynakları için LCC sonuçları.....	123
Tablo 5.13. Aydınlatma elemanlarının karşılaştırılması	123

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. Havalimanlarının yapısı.	12
Şekil 2.2. Örnek bir havalimanında enerji tüketimi.....	13
Şekil 2.3. Terminal binasında enerji tüketim oranları	14
Şekil 3.1. Havalimanlarında organizasyon yapısı	23
Şekil 3.2. Havalimanlarında sürdürülebilirlik yönetimi ve enerji yönetim birimi	25
Şekil 3.3. Sürdürülebilirlik yönetimi ve boyutları.....	27
Şekil 3.4. ISO 50001 Enerji Yönetim Sistem modeli.....	33
Şekil 3.5. Enerji planlama modeli	40
Şekil 3.6. Eylem planlarında dikkate alınan maddeler	42
Şekil 3.7. Uygula	44
Şekil 3.8. Uygula süreç modeli.....	49
Şekil 3.9. Kontrol et süreç modeli	50
Şekil 3.10. Yönetimi gözden geçirme süreci.....	54
Şekil 4.1. Ön etüt modeli	59
Şekil 4.2. Regresyon modelinde kullanılan enerji kaynakları ve değişkenler.....	60
Şekil 4.3. Detay etüt modeli	61
Şekil 4.4. Radyasyon kayıpları grafiği	64
Şekil 4.5. Kazan ateşleme hızındaki değişiklikler ile kayıplardaki değişim	65
Şekil 4.6. YDD yönteminin aşamaları.....	80
Şekil 4.7. ReCiPe orta nokta ve son nokta etkileri arasındaki ilişki.....	83
Şekil 5.1. Havalimanında enerji tüketim değerleri	85
Şekil 5.2. Havalimanında enerji tüketim yüzdeleri	86
Şekil 5.3. Havalimanı terminal binasında gerçekleşen enerji tüketimi	87
Şekil 5.4. Havalimanı terminal binası enerji tüketim yüzdeleri	88
Şekil 5.5. Havalimanı enerji maliyet dağılımı	89
Şekil 5.6. Havalimanı terminal binası enerji maliyet dağılımı	89
Şekil 5.7. Terminal binası doğal gaz tüketimi ile HDD arasındaki ilişki.....	92
Şekil 5.8. Doğal gaz için sistem sınırları	93
Şekil 5.9. Havalimanında enerji tüketimi kaynaklı çevresel etkiler	94
Şekil 5.10. Havalimanında enerji tüketimi kaynaklı çevresel etki oranları.....	94
Şekil 5.11. Terminal binasında enerji kullanımı kaynaklı çevresel etkiler	95

Şekil 5.12. Terminal binasında enerji kullanımı kaynaklı çevresel etki oranları	95
Şekil 5.13. 08:00 ile 20:00 arasında gerçekleşen saatlik ortalama elektrik tüketimi....	112
Şekil 5.14. 20:00 ile 8:00 arasında gerçekleşen saatlik ortalama elektrik tüketimi.....	113
Şekil 5.15. Terminal binasında saatlik ortalama elektrik tüketimi	114
Şekil 5.16. Duvar optimum yalıtım kalınlığı	115
Şekil 5.17. Çatı optimum yalıtım kalınlığı	116
Şekil 5.18. Zemin optimum yalıtım kalınlığı	116
Şekil 5.19. Optimum yalıtım kalınlığının derece gün ile değişimi.....	117
Şekil 5.20. Terminal binası duvarlarına ısı yalıtımı geri ödeme süresi	120
Şekil 5.21. Terminal binası çatısına ısı yalıtımı geri ödeme süresi	120
Şekil 5.22. Terminal binası zeminine ısı yalıtımı geri ödeme süresi.....	121
Şekil 5.23. Terminal binası pencere değişimi geri ödeme süresi	122
Şekil 5.24. Radyatör değişimi geri ödeme süresi	122
Şekil 5.25. Duvara ısı yalıtımı uygulanmasının sistem sınırları	125
Şekil 5.26. Terminal binası duvarlarını ısı yalıtımı uygulanması sonucu sera gazları geri ödeme süresi.....	126
Şekil 5.27. Terminal binası duvarlarını ısı yalıtımı uygulanması sonucu ReCiPe geri ödeme süresi.....	126
Şekil 5.28. Çatıya ısı yalıtımı uygulanmasının sistem sınırları	127
Şekil 5.29. Terminal binası çatısına ısı yalıtımı uygulanması sonucu sera gazları geri ödeme süresi.....	128
Şekil 5.30. Terminal binası çatısına ısı yalıtımı uygulanması sonucu ReCiPe geri ödeme süresi	128
Şekil 5.31. Zemine ısı yalıtımı uygulanmasının sistem sınırları	129
Şekil 5.32. Terminal binası zeminine ısı yalıtımı uygulanması sonucu sera gazları geri ödeme süresi.....	130
Şekil 5.33. Terminal binası zeminine ısı yalıtımı uygulanması sonucu ReCiPe geri ödeme süresi.....	130
Şekil 5.34. Pencere değişimi için sistem sınırları	131
Şekil 5.35. Pencere değişimi sonucu sera gazları geri ödeme süresi.....	132
Şekil 5.36. Pencere değişimi sonucu ReCiPe geri ödeme süresi.....	132
Şekil 5.37. LED armatürler için sistem sınırları	133
Şekil 5.38. LED sera gazları geri ödeme süresi.....	134

Şekil 5.39. LED ReCiPe geri ödeme süresi.....	134
Şekil 5.40. 06.04.2017 tarihinde gerçekleştirilen iç hava kalitesi ölçümü	136
Şekil 5.41. 13.04.2017 tarihinde gerçekleştirilen iç hava kalitesi ölçümü	137
Şekil 5.42. 20.04.2017 tarihinde gerçekleştirilen iç hava kalitesi ölçümü	138



GÖRSELLER DİZİNİ

Görsel 2.1. Cochin Uluslararası Havalimanı güneş enerji santrali	18
Görsel 2.2. San Diego Havalimanı otopark çatısına kurulu güneş enerji santrali.....	19
Görsel 2.3. Logan Uluslararası Havalimanında kurulu rüzgâr enerjisi santrali	20
Görsel 4.1. Hasan Polatkan Uluslararası Havalimanı	56
Görsel 4.2. Havalimanı terminal binası önden görünüşü	57
Görsel 4.3. Havalimanı terminal binası yandan görünüşü	57
Görsel 4.4. Derece gün bölgelerine göre Türkiye'deki iller	72
Görsel 5.1. Terminal binası dış duvarından termal görüntü 1.....	97
Görsel 5.2. Terminal binası dış duvarından termal görüntü 2.....	98
Görsel 5.3. Terminal binası dış duvarından termal görüntü 3.....	99
Görsel 5.4. Terminal binası dış duvarından termal görüntü 4.....	100
Görsel 5.5. Terminal binası çatısından termal görüntü 1	101
Görsel 5.6. Terminal binası çatısından termal görüntü 2	102
Görsel 5.7. Terminal binası çatısından termal görüntü 3	103
Görsel 5.8. Terminal binası çatısından termal görüntü 4	104
Görsel 5.9. Terminal binası dış duvarları U değeri ölçümü	105
Görsel 5.10. Terminal binası pencereleri U değeri ölçümü	106
Görsel 5.11. Terminal binası dış kapıları U değeri ölçümü	107
Görsel 5.12. Baca gazı ölçümü	109
Görsel 5.13. İç hava kalitesi ölçüm düzeneği ve ölçüm yeri	135

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

AID	: Alt Isıl Değer
CDD	: Soğutma Derece Gün (Cooling Degree Days)
CHCP	: Birleşik Isıtma Soğutma ve Güç (Combined Heating, Cooling and Power)
CHP	: Birleşik Isı Ve Güç Sistemleri (Combined Heat and Power)
COP	: Performans Katsayısı (Coefficient of Performance)
DE	: Doğal Ekosistem
EnYS	: Enerji Yönetim Sistemi
EPG	: Enerji Performans Göstergeleri
GÖS	: Geri Ödeme Süresi
GSYİH	: Gayrisafi Yurt İçi Hasıla
GWP	: Küresel Isınma Potansiyeli (Global Warming Potential)
HDD	: Isıtma Derece Gün (Heating Degree Days)
HPS	: Yüksek Basıncılı Sodyum (High Pressure Sodium)
HVAC	: Isıtma, Soğutma ve Havalandırma (Heating, Ventilating and Air Conditioning)
ICAO	: Uluslararası Sivil Havacılık Örgütü (International Civil Aviation Organization)
ISO	: Uluslararası Standartlar Teşkilâtı (International Organization for Standardization)
İB	: İşlevsel Birim
İHK	: İç Hava Kalitesi
İM	: İşletme Maliyeti
İS	: İnsan Sağlığı
KK	: Kullanılabilir Kaynaklar
LCC	: Yaşam Döngüsü Maliyeti (Life Cycle Cost)
LED	: Işık Yayan Diyot (Light Emitting Diode)
LT	: Ömür (Life Time)
OYK	: Optimum Yalıtım Kalınlığı
PUKO	: Planla-Uygula-Kontrol et-Önlem al

PV	: Fotovoltaik (Photovoltaic)
PWF	: Şimdiki Değer Faktörü (Present Worth Factor)
RGÖS	: ReCiPe Geri Ödeme Süresi
SET	: Standart Enerji Tüketimi
SEU	: Önemli Enerji Kullanıcıları (Significant Energy Users)
SGGÖS	: Sera Gazları Geri Ödeme Süresi
ÜID	: Üst Isıl Değer
YDD	: Yaşam Döngü Değerlendirmesi (Life Cycle Assessment)
YM	: Yatırım Maliyeti

Simgeler

A	: Yapı elemanlarının toplam alanı (m^2)
C	: Maliyet
e	: Etkinlik faktörü (lm/W)
g	: Enflasyon oranı
H	: Özgül ısı kaybı (W/K)
i	: Faiz oranı
k	: Isı iletkenlik katsayısı (W/Mk)
P	: Lamba başına giriş gücü (Watt)
ppm	: Milyondaki oran (Part per million)
Q	: Isıtma enerjisi ihtiyacı (Joule)
R	: Isı geçirgenlik direnci (m^2k/W)
R^2	: Belirlilik katsayısı
T_b	: Denge sıcaklığı ($^{\circ}C$)
T_o	: Günlük ortalama sıcaklık ($^{\circ}C$)
U	: Isı geçirgenlik katsayısı (W/m^2K)
x	: Yalıtım kalınlığı (m)
ρ	: Havanın yoğunluğu (kg/m^3)
Φ	: Nominal lümen (lm)
θ_e	: Aylık ortalama dış ortam sıcaklığı ($^{\circ}C$)
θ_i	: Aylık ortalama iç ortam sıcaklığı ($^{\circ}C$)
η	: Verim, kazanç kullanım faktörü

$\phi_{i,ay}$	: Aylık ortalama iç ısı kazancı (W)
$\phi_{s,ay}$	: Aylık ortalama güneş enerjisi kazancı (W)

Alt İndisler

A	: Yıllık
adj	: Düzeltilmiş
C	: Soğutma
e	: Dış
ef	: Efektif
H	: Isıtma
H,C	: Isıtma-Soğutma
i	: İç
ins	: Yalıtım
opt	: Optimum
tas	: Tasarruf
V	: Havalandırma
w	: Yalıtımsız
k	: Kayıp
T	: Toplam
th	: Isıl
y	: Yararlı

1. GİRİŞ

Dünyanın en hızlı gelişen sektörlerinden biri olan ticari havacılık, 1970'ten bu yana yıllık ortalama %5 büyümektedir. Yılda 3.3 milyardan fazla yolcuyla bu sektör dünya ekonomisine yaklaşık 2.2 trilyon dolarlık bir katkı sağlamaktadır (Kılış ve Kılış, 2017). Bu artışın temel sebebi yolcuların hava taşımacılığına talebinin artması ve uçuş ağına farklı noktaların (Şehir/Ülke) katılmasıdır. Farklı uçuş noktalarının bu ağına dahil olması beraberinde havalimanı ve ilgili tesislerin sayılarının artmasına neden olmuştur. Türkiye’de 2003 yılında aktif havalimanı sayısı 26 iken, 2018 itibari ile 55’e çıkmış ve ileriki yıllarda bu sayının artacağı tahmin edilmektedir. Havalimanı sayısı ve kapasitelerindeki artış enerji talebinde de artışa neden olmaktadır.

Enerji ihtiyacının büyük bir kısmı kömür, doğal gaz, petrol gibi sürdürülemez fosil yakıt kaynaklarından sağlanmaktadır. Fosil yakıt kaynaklı enerji tüketiminin ve sürekli artan bu talebin beraberinde ekonomik, sosyal ve çevresel sorunlara neden olduğu bilinmektedir. Hidroelektrik de dahil olmak üzere diğer enerji kaynakları yenilenebilir ve dolayısıyla uzun vadede sürdürülebilir olarak kabul edilir (Yüksel, 2010). Yenilenebilir kaynaklardan üretilen enerji sıfır emisyonlu ve çevreye zararsız olduğu anlamına gelmez. Yenilenebilir enerji sistemlerinin ham maddelerinin doğadan elde edilmesi, üretimi, kurulumu, bakımı ve geri dönüştürülme süreçlerinde çevreye belirli miktarda zarar verilmektedir (Ozturk ve Yüksel, 2016).

Fosil yakıt kaynaklarının hızla azalması, sürdürülebilir olmaması ve küresel ısınma sorununun başlıca nedeni olması, enerjiyi daha akılcı ve verimli kullanmaya zorlamaktadır (Morvay ve Gvozdenac, 2008). Son yıllarda küresel ısınma ve iklim değişikliği ile ortaya çıkan yasal zorunluluklar, tüm sektörlerde enerjiyi daha verimli kullanma ihtiyacı doğurmuştur. İklim değişikliği ve küresel ısınma tehdidi için bir ölçüt olan karbon salınımında taşımacılık sektörünün payı %26.4’tür. Uluslararası Sivil Havacılık Birliği (ICAO), havacılık kaynaklı CO₂ emisyonlarının %2’lik bir paya sahip olduğunu ve her yıl yaklaşık olarak %3 – 4 oranında artacağını tahmin etmektedir (Bernstein 2007; [http-1](http://1)). Havalimanları ise havacılık kaynaklı CO₂ emisyonlarının %5’inden sorumludur (ACI, 2011).

Enerji israfının önüne geçebilmesinin en etkili yolu enerji yönetimidir. Dünya genelinde hemen her sektörde enerji verimlilik potansiyeli mevcut olmakla birlikte, enerjiyi en verimli kullanan ülkelerde bile mevcut teknoloji ve etkili enerji yönetimiyle

enerji potansiyelini %40 iyileştirmek mümkündür (UNIDO, 2015). Yüksek ve yoğun enerji tüketim sahası olan havalimanlarında, konfordan ve hizmet kalitesinden ödün vermeden enerji yoğunluğunun ve enerji kaynaklı çevresel etkilerin azaltılması için enerji yönetiminin bütüncül ele alınması gerekmektedir.

1.1. Tezin Kapsamı ve Amacı

Bu tezde havalimanları için bir sürdürülebilir enerji yönetim modeli önerilmiştir. Enerji Yönetim Sistemi'nin (EnYS) temelini oluşturan ISO 50001'in tüm aşamaları bu model önerisinde dikkate alınmıştır. Enerji planlaması ile başlayıp uygula, kontrol et ve yönetimin gözden geçirilmesi süreçleri yine bu tezde modellenmiş ve açıklanmıştır. EnYS'nin en önemli aşamaları olan ön etüt ve detay enerji etütleri için oluşturulan modeller, örneklem olarak seçilen Hasan Polatkan Uluslararası Havalimanına uygulanmıştır. Enerji verimliliği ölçüm cihazları kullanılarak yapılan enerji etütleri sonucu enerji iyileştirme fırsatları belirlenmiş ve bunlarla ilgili eylem planları oluşturulmuştur. Enerji verimliliği için yapılan yatırımlarda ve eylem planlarında en sürdürülebilir ve en ekonomik senaryolar için yöntemler önerilmiştir. Bu tezin, havalimanlarında sürdürülebilirlik ve EnYS çalışmalarında önemli bir kaynak olması ve aşağıda belirtilen katkıları sunması amaçlanmaktadır:

- Havalimanlarında enerjinin etkin ve verimli kullanımını geliştirmek,
- Doğal kaynakların iyi kullanılması ve çevrenin korunmasını sağlamak,
- Değişimlere karşı sürdürülebilir enerji yönetim parametrelerini geliştirmek,
- Havalimanlarının ISO 50001 EnYS geçişini kolaylaştırmak,
- Havalimanlarında yasal ve diğer gerekliliklere uyumu kolaylaştırmak,
- Havalimanlarında CO₂ emisyonlarının kontrol edilmesi ve yönetimini kolaylaştırmaktır.

1.2. Tezin Yapısı ve Bölümleri

Birinci bölümde tezin amacı, konu ile ilgili detaylı literatür taraması, yapılan çalışmalar ve bunların sonuçları anlatılmıştır.

İkinci bölümde havalimanlarında enerji tüketimi ve enerji tüketimini etkileyen faktörler anlatılmıştır. Yenilenebilir enerji sistemlerinin havalimanlarına uygulanabilirliği ile ilgili genel bilgiler verilmiştir.

Tezin üçüncü bölümünde sürdürülebilir enerji yönetim kavramı ve enerji ile sürdürülebilirliğin boyutları arasındaki ilişki açıklanmıştır. Havalimanlarında enerji yönetim biriminin, yönetim ve organizasyon yapısı içindeki yeri ile ilgili öneriler sunulmuştur. ISO 50001 EnYS tanıtılmış ve faydaları hakkında bilgiler verilmiştir. ISO 50001 EnYS'nin tüm aşamaları akış şemalarıyla modellenmiş ve detaylı olarak açıklanmıştır.

Dördüncü bölümde örneklem olarak seçilen havalimanı tanıtılmış ve çalışmanın yöntemi ile ilgili detaylı bilgiler verilmiştir. Ön etüt ve detay enerji etütleri için model önerileri sunulmuş ve Hasan Polatkan Havalimanı terminal binasına uygulanmıştır. Havalimanlarında enerji verimli yatırımlarda en ekonomik ve en çevreci eylem planları için yöntemler bu bölümde açıklanmıştır.

Beşinci bölümde ön etütler kapsamında enerji performans göstergeleri belirlenmiş ve enerji tüketim denklemleri matematiksel olarak ifade edilmiştir. Ayrıca havalimanı enerji tüketimi haritası, çevresel etki haritası ve enerji maliyetleri bu bölümde verilmiştir. Yapılan enerji etütleri ve sonuçları bu bölümde anlatılmıştır. Enerji etütleri sonucu belirlenen enerji iyileştirme fırsatları açıklanmıştır. Bu fırsatlarla ilgili eylem planları oluşturulmuş ve bunların ekonomik ve çevresel analiz sonuçları bu bölümde ayrıntılı şekilde açıklanmıştır.

Altıncı ve son bölümde ise yapılan çalışmanın sonuçları ve sonrasında yapılabilecek çalışmalarla ilgili öneriler sunulmuştur.

1.3. Literatür Taraması

Tüm genel tanımlar, yapılacak olan çalışmanın konusu ve kapsamı değerlendirildikten sonra açık literatürde bulunan konu ile ilintili yapılmış çalışmaların değerlendirilmesi aşağıda anlatılmıştır.

Açık literatürde enerji verimliliği ve enerji yönetimi ile ilgili, ülkemizde ve dünyada çeşitli sektörlerde çok sayıda çalışma mevcuttur. Bu çalışmalar genel olarak sanayi sektöründe, farklı amaçlar için kullanılan bina ve konutlar ile havalimanlarında enerji yönetimi ve enerji verimliliği uygulamalarından oluşmaktadır.

1.3.1. Sanayi sektöründe enerji yönetimi ve enerji verimliliği

Çakal (2006) tarım makinaları imalatı yapan işletmelerde enerji yönetimi konusunda yaptığı çalışmada Spesifik Enerji Tüketim (SET) değerlerini ve enerji tasarruf potansiyellerini hesaplamıştır. Söz konusu işletmelerde EnYS uygulandığında enerji tüketimi ve enerji maliyetlerinin azaltılabileceğini belirtmiştir.

Çınar (2008) tekstil sektöründe faaliyet gösteren ve yoğun enerji tüketen altı adet tekstil fabrikasında enerji etütleri yapmıştır. Tesislerin gelecekteki enerji ihtiyacını belirlemek için SET değerlerini hesaplamıştır. Aynı zamanda fabrikalarda bulunan kazanlarda baca gazı analizleri yapmıştır. Tekstil fabrikalarında enerji verimliliği için yapılması gerekenleri ve enerji yönetim sisteminin uygulanmasının gerekliliği üzerinde durmuştur.

Met (2010) Türkiye’de elektrik üretimi yapmakta olan ve yakıt olarak doğal gaz, taşkömürü ve fuel-oil kullanan Zonguldak-Çatalağzı, Kırklareli-Hamitabat ve İstanbul-Ambarlı termik santrallerini enerji yönetimi açısından incelemiştir. Her bir santral için enerji tüketimi ile ilgili standart ve hedef enerji tüketim değerlerini hesaplamıştır. Bu santrallerdeki enerji performanslarını yaptığı analizler yardımıyla yorumlamıştır.

Ates ve Durakbasa (2012) Türkiye’de enerji yoğun endüstrilerle ilgili yaptıkları çalışmada ülkemizin ulusal enerji yönetim standartları açısından eksikliklerinin olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca bir anket yardımıyla yaptıkları çalışmada, enerji yoğun endüstrilerde Endüstriyel Enerji Yönetim Uygulamaları’ndaki, önemli engelleri ve eksiklikleri enerji yönetimi açısından araştırmışlardır. Çalışmalarını Türkiye’deki demir, çelik, çimento, kâğıt, seramik ve tekstil endüstrisinde gerçekleştirmişlerdir. Türkiye’deki enerji yönetim uygulamaları için ana engeller; enerji yöneticisi kurslarının kapsamındaki eksiklikler, farkındalık eksikliği ve enerji yönetim uygulamaları için yetersiz finansal destek olarak belirlenmiştir. Temel minimum gereklilikler listesine göre yapılan analizlerden sonra ankete katılanların sadece %22’sinin enerji yönetim gerekliliklerini yerine getirdikleri görülmüştür.

Taner (2013) sanayide enerji verimliliği ve enerji yönetimi konusunda şeker fabrikası örneğinde yaptığı çalışmada, Konya Çumra Şeker Fabrikasının tüm proseslerinde enerji ve ekserji analizleri gerçekleştirmiştir. Gerçek enerji tüketim

verileriyle proseslerde iyileştirme sağlamak amacıyla farklı senaryolar üzerinden termoekonomik analizler gerçekleştirmiştir. Farklı senaryolar üzerinde yapılan termoekonomik analizlere göre şeker fabrikasında enerji maliyetlerinin azaltılabileceği sonucuna varılmıştır.

Özdemir (2014) bir otomotiv destek ünitesinde enerji yönetimi ve temiz üretim konusunda yaptığı çalışmada, enerji verimliliği uygulamaları sayesinde fabrikadaki elektrik kullanımının %10 oranında ve temiz üretim çalışmaları ile atık miktarının %40 oranında azaltılabileceğini belirlemiştir.

Onus (2014) yaptığı çalışmada Amerika'daki otomotiv üretim sektöründe enerji tüketimini, enerji maliyetlerini, karbon emisyonlarını ve üretim sürecinde üretilen atıkları azalmak için en etkili ve en ucuz yolun enerji yönetim sistem standartlarının kullanılması olduğu sonucuna varmıştır.

Posch vd. (2015) Avusturya'daki kâğıt ve posa endüstrisinde stratejik seviyede enerji yönetim sistemi üzerinde çalışmışlardır. Yapılan analizlere göre çok önemli dört faktörün enerji maliyetleri, enerji verimliliği ve enerji piyasası ile doğrudan ilişkili olduğu görülmüştür. Bunlar:

- Güçlü yönler (enerji verimliliği, kojenerasyon ve enerji temin ediciler ile iş birliği),
- Zayıf yönler (enerji piyasasına olan bağımlılık ve kullanım kapasitesi),
- Fırsatlar (uzun süreli düşük enerji fiyatları, teknolojik gelişmeler ve enerji piyasalarındaki rekabet),
- Tehditler (yüksek enerji fiyatları, enerji temin güvenliği, fiyat volatilitesi ve CO₂ emisyonları).

1.3.2. Farklı amaçlar için kullanılan binalar ve konutlarda enerji yönetimi

Acosta (1993) okullarda EnYS'ye ihtiyaç olup olmadığını belirlemek için Louisiana'daki 66 devlet okulunda araştırma yapmıştır. Okullarda harcanan enerjinin %70'inin ısıtma-soğutma, %22'sinin aydınlatma, %8'inin ofis ve mutfak ihtiyaçları için kullanıldığı belirlenmiştir. Çalışmada her bir okul için, öğrenci başına ve birim alan başına enerji tüketimi incelenmiştir. Öğrenci sayısı fazla ve kullanım alanı büyük olan okullardaki enerji tasarruf potansiyelinin daha fazla olduğu belirlenmiştir. Okullarda

enerji yönetim sistemi uygulanarak, enerji tüketimi ve enerji maliyetlerinin %25 azaltılabileceği sonucuna varılmıştır.

Roy (2011) Malezya’da kamu sektöründe enerji verimliliğini teşvik etmek için sürdürülebilir enerji yönetimi konusunda çalışmıştır. Bu çalışmasında, Malezya’da kamu sektöründe enerji yönetim stratejisinin uygulanabilirliği ile ilgili önerilerde bulunmaktadır.

Lee (2012) Georgia Teknik Üniversitesinin kampüsünde bulunan 30 tane binada örnek bir çalışma yaparak binaların enerji performanslarını değerlendirme amaçlı bir model geliştirmiştir. Bu model, binaların enerji ihtiyacı ve enerji tüketimi kaynaklı çevresel etkilerin hesaplanmasında kullanılabilen benzetim tabanlı bir modeldir. Ayrıca bu model, binalarda tadilat ve yenileme işlemlerinin enerji performansı ve çevresel performans değerlendirmesinde kullanılabilen etkili bir araçtır. Geliştirilen bu model ile Georgia Teknik Üniversitesinin kampüsünde bulunan binaların enerji ve çevresel performansının iyileştirilmesi için senaryolar belirlenmiş ve analizler yapılmıştır. Belirlenen senaryoların uygulanması durumunda enerji tasarrufu sağladığı ve negatif çevresel etkilerin önleendiği sonucuna varılmıştır.

Akdağ (2013) tarafından camilerde enerji yönetimi ve enerji verimliliği konusunda yapılan çalışmada, camilerde enerji maliyetlerini azaltmak için tasarruf edilebilecek noktalar ve tasarruf yöntemleri incelemiştir. Çalışma sonunda camilerde aşağıda listelenmiş olan enerji iyileştirme fırsatları belirlenmiştir.

- Camilerde ısı yalıtımının olmadığı görülmüş ve ısı yalıtımı uygulanarak ortalama %30 enerji tasarrufu sağlanabileceği,
- Enerji tasarruflu kompakt flüoresan ampuller veya LED teknolojisi kullanılarak aydınlatma maliyetlerinin %75 oranında azaltılabileceği,
- Elektrik ihtiyacının güneş panellerinden sağlanması, ısıtma ve soğutma için ısı pompası kullanımının enerji verimliliği ve tasarrufu açısından önemli uygulamalar olduğu,

görülmüştür.

Sinha (2013) konutlarda enerji tüketimini azaltmak için gerçek zamanlı bir enerji performans modeli geliştirmiştir. Bu model ısıtma-soğutma ekipmanlarının enerji tüketimini kontrol ve tahmin etmekte kullanılmıştır. Gerçek zamanlı enerji performans modeli sayesinde konutlarda %30 enerji tasarrufu sağlanmıştır.

Anvari, Monsef ve Rahimi (2015) yeni geliştirilen akıllı mikro şebekelerin konut sektöründe kullanılmasını enerji yönetimi açısından incelemişlerdir. Bu çalışmalarında, akıllı şebekelerin kullanılması ile enerji tüketiminde ve ulusal enerji kaynaklarında tasarruf edilebileceği gösterilmiştir.

Rocha, Siddiqui ve Stadler (2015) akıllı binalarda EnYS ile enerji verimliliğini arttırmak için yaptıkları çalışmada, akıllı binalarda enerji tüketen bütün sistemleri enerji ve çevresel açıdan incelemişlerdir. Avrupa’da bulunan iki binanın verileri kullanılarak yapılan deneysel çalışmada bütün enerji tüketen sistemler incelenmiş ve bunların çevresel açıdan da değerlendirilmesi yapılmıştır. Geleneksel yapılardaki enerji yönetim sistemiyle akıllı yapılardaki enerji yönetim sistemi (BEMS) karşılaştırılmıştır. Yapılan nümerik deneylerle hem CO₂ emisyonları hem de enerji tüketimini azaltma açısından BEMS’in çok daha efektif olduğu sonucuna varılmıştır.

1.3.3. Havalimanlarında enerji verimliliği

Balaras vd. (2003) tarafından Yunanistan’da bulunan 29 havalimanında yapılan çalışmayla, havalimanlarında enerji tasarruf potansiyeli ve iyileştirme fırsatları değerlendirilmiştir. Bu çalışmada, farklı iklim bölgelerinde bulunan 3 ayrı havalimanı için daha detaylı incelemelerde bulunulmuştur. Konfordan ödün vermeden enerji tüketimini azaltmada spesifik önlemleri değerlendirmek ve iç hava kalitesini arttırmada olası faaliyetleri tanımlamak için toplanan veriler termal benzetim ile detaylı analiz edilmiştir. Çalışma sonunda havalimanındaki enerji tasarruf potansiyelinin %15 ile %35 arasında olduğu sonucuna varılmıştır.

Mardaljevic (2004) Changi Havalimanının 3. Terminal Binası üzerine kurulmuş bir çatı gölgeleme sistemini incelemiştir. Gölgeleme sistemleri ışığı yönlendiren kapakçıklar tarafından yıl veya gün içinde bir yapının güneşten maksimum derecede faydalanmasını sağlar. Yapılan çalışmayla aydınlatma cihazlarının etkinliğini ölçmek için yeni bir görüntü tabanlı teknik tanımlanmıştır.

Cardona, Piacentino ve Cardona (2006a) yaptıkları çalışmada havalimanı terminal binalarında ışıklandırma, iklimlendirme, havalandırma ve elektrikli cihazlarından dolayı enerji tüketimi yüksek olan yapılar olduklarını ortaya koymuşlardır. Bunun için terminal binalarında Birleşik Isıtma Soğutma Güç (CHCP) sistemlerinin enerji tasarrufu için uygunluğunu araştırmışlardır. İtalya’da bulunan üç havalimanında yapılan analizlerde CHCP sisteminin kullanılması ile önemli miktarda enerji tasarrufunun sağlanabileceğı belirlenmiştir. Böylece işletme maliyetlerinin ve kirletici emisyonların önemli ölçüde azaltılabileceğı sonucuna varılmıştır.

Cardona vd. (2006b) tarafından Malpensa 2000 uluslararası havalimanında kullanılan CHCP tesisinin uzun dönemli planlaması ve işletilmesi ile ilgili araştırmalar yapılmıştır. CHCP tesisinin operasyonel modelinde küçük değışiklikler ile enerji tüketiminin ve kirletici emisyonların azaltılabileceğı sonucuna varılmıştır.

Koroneos, Xydis ve Polyzakis (2010) tarafından yapılan çalışmada Selanik havalimanının ısıtma, soğutma ve aydınlatma gibi ihtiyaçlarının, yenilenebilir enerji kaynaklarından (güneş enerjisi, jeotermal enerji ve biyoyakıtlar) sağlanması için bir optimizasyon modeli geliştirilmiştir. Çalışmada yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı ve konvansiyonel enerji kaynaklarıyla değışimi açıklanmıştır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından farklı seviyelerde yararlanmada bütün sistemin reaksiyon gösterebileceğı çeşitli senaryolar üzerinde durulmuş ve bunlar açıklanmıştır. Enerji analizleri yapılırken aşağıdaki maddeler dikkate alınmıştır:

- Bina yapısı,
- Havalandırma koşulları,
- Yıl boyunca güneş ışığı / gölgeleme,
- Yolcuların konfor koşulları,

Somcharoenwattana vd. (2011) enerji performansının iyileştirmesi için Tayland’da iki örnek çalışma yapmıştır. Birincisi Suvarnabhumi Havalimanında bulunan 52.5 MW’lık kojenerasyon tesisi, ikincisi ise hükümet ofis binasında bulunan 9.9MW’lık kojenerasyon tesisidir. Yapılan çalışmada, enerji kullanımı fazla olan binalarda kojenerasyon tesislerinin kurulması enerji verimliliğı adına ve çevresel açıdan daha etkin olduğı görülmüştür.

Ceyhan Zeren (2013) yaptığı çalışmada İzmir Adnan Menderes Havalimanı Dış Hatlar Terminalini, enerji benzetimi yardımıyla farklı ısıtma, soğutma ve havalandırma (HVAC) sistemlerinin kullanılması ve binanın farklı yönlerde konumlandırılması gibi senaryoları değerlendirmiştir. Elde edilen sonuçlara göre; farklı HVAC sisteminin kullanılması soğutma amaçlı elektrik ihtiyacını 2,8 kat arttırırken, binanın batı yönünde konumlandırılması ile ısı kazancının kış ve bahar aylarında sırasıyla %2 ile %11 azaldığı, yaz aylarında ise %3 ila %14 arttığı görülmüştür.

Zomer vd. (2013) tarafından Brezilya'da bulunan iki havalimanı için binalara uygulanmış fotovoltaik (BAPV) ve binalara entegre edilmiş fotovoltaik (BIPV) sistemlerin analizleri gerçekleştirilmiştir. Her iki havalimanında maksimum güç yoğunluğu ve enerji yoğunluğu açısından BIPV yaklaşımının BAPV çözümünden daha iyi olduğu görülmüştür. Öte yandan ideal eğimli ve yönlendirilmiş BAPV sistemleri daha fazla güneş ışığı alabildiğinde yıllık veriminin %7 daha fazla olduğu görülmüştür. Havalimanlarının çatılarının uygun bölümlerine fotovoltaik (PV) sistemi kurmanın sera gazı emisyonlarının etkilerini azaltmaya katkıda bulunduğu aynı zamanda temiz ve yenilenebilir enerji için iyi bir kaynak olduğu görülmüştür.

Sun vd. (2013) Hong Kong Uluslararası Havalimanının genel enerji performansını iyileştirmek için komşu binalarda bulunan soğutulmuş su sistemlerini entegre eden bir yöntem önermişlerdir. Bu sistemlerin birleştirilmesi fazla soğutmanın bir binadan diğerine verilmesine olanak tanımaktadır. Yatırım maliyeti düşük ve kolay uygulanan bu yöntemin, havalimanı enerji performansını önemli ölçüde arttırdığı görülmüştür. Enerji performansındaki artış hem sahada gerçekleştirilen etütler hem de benzetim çalışmaları ile doğrulanmıştır. Yapılan çalışma ile soğutucunun (chiller) performans katsayısının (COP) 3.54'ten 3.75'e iyileştiği ve önemli miktarda enerji tasarrufu sağlandığı sonucuna varılmıştır.

Kılıkış (2014) terminal binalarının enerji performans analizleri, enerji tüketimi ve buna bağlı emisyon etkilerini ortaya çıkarmak için geniş kapsamlı bir analiz yapmıştır. Bu bağlamda İstanbul'da yapılması planlanan yıllık 150 milyon yolcu kapasiteli 3. Havalimanı inşaatı için kesilecek 657,000 ağacın, yeni yeşil terminal binası yapımı ile CO₂ potansiyelinin dengelenip dengelenmeyeceği araştırılmıştır. Elverişsiz yer seçimi ve daha uzun yaklaşma ve tırmanma sürelerinden dolayı oluşacak ek CO₂ emisyonları da

dikkate alınmıştır. Çalışmasında genel tipli terminal binası ile dört tane yeşil terminal binasının sahip olduğu farklı CO₂ emisyonlarındaki azalma potansiyelleri karşılaştırılmıştır. Termodinamiğin 1. ve 2. kanun analizleri kullanılarak gerçekleştirilen çalışmada, tekrar ağaçlandırma yapılmaz veya havalimanının yapılacağı alan için daha uygun bir yer seçilmezse yeni bir yeşil terminal binası kompleksi inşa etmenin CO₂ emisyon miktarını dengeleyemeyebileceği ön görülmüştür. Çalışmada İstanbul'da mevcut Atatürk ve Sabiha Gökçen Havalimanlarının kapasitelerini arttırmanın daha ekonomik olabileceği sonucu elde edilmiştir.

Kılış ve Kılış (2016) havalimanları için beş boyutlu bir sürdürülebilirlik sıralama indeksi geliştirmiştir. Geliştirilen boyutlar aşağıda listelenmiştir.

- Havalimanı hizmetleri ve kalite,
- Çevre yönetimi ve biyolojik çeşitlilik,
- Enerji tüketimi ve üretimi,
- CO₂ emisyonları ve azaltılma planları,
- Biyolojik çeşitlilik, atmosfer ve düşük emisyon taşımacılığı.

Geliştirilen sürdürülebilirlik sıralama indeksi, yolcu trafiği ve yolcu memnuniyeti temel alınarak dünyadaki en işlek ve en iyi havalimanı arasında yer alan 9 havalimanına uygulanmıştır. Bu indeksin havalimanlarında enerji, su ve çevre sistemlerinin sürdürülebilir kalkınma ve sürdürülebilir havalimanı uygulamalarında yararlı bir araç olduğu görülmüştür. Ayrıca yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen enerjinin havalimanlarında enerji kaynaklı çevresel etkilerin azaltılmasında çok önemli katkı sağlayacağı yapılan çalışmanın önemli sonuçlarından biridir.

Sukumaran ve Sudhakar (2017a) Raja Bhoj Uluslararası Havalimanına 2 MWp'lık bir PV enerji santrali kurulmasını enerji ve çevre performansı açısından değerlendirmişlerdir. PV sistemlerinin enerji performansı ve ekonomik-çevresel fayda analizlerinin yapıldığı çalışmada; ilk yatırım maliyetinin 5 yıl içinde karşılanacağı ve yıllık 59,200 ton CO₂'nin tasarruf edileceği sonucuna varılmıştır.

Cochin Uluslararası Havalimanı tüm enerji ihtiyacını apronda kurulu 12 MWp güneş enerjisi santralinden sağlamaktadır. Bu sayede bir yılda 12134.26 ton CO₂ emisyonu tasarrufu yapılmaktadır. Güneş panellerinin üretiminden kaynaklı çevresel

etkilerini ise 8 ayda dengelediği görölmüştür. Cochin Havalimanı neredeyse sıfır karbon ayak izi olan, temiz, yeşil, sürdürülebilir, ekonomik ve çevre dostu bir havalimanıdır. Bu açıdan Cochin Havalimanı, enerjisini tamamen yenilenebilir kaynaklardan elde eden, dünyanın her yerinde benimsenebilecek bir örnek teşkil etmektedir (Sukumaran and Sudhakar 2017b).



2. HAVALİMANLARI

Havalimanı, tamamen veya kısmen hava araçlarının gelişi, kalkışı ve yüzey hareketi için kullanılması öngörülen karada veya suda (herhangi bir bina, tesisat veya teçhizat dahil) belirlenmiş bir alan olarak tanımlanır (ICAO, 2009). Havalimanları yerel, ulusal ve küresel taşımacılık için çok önemli kilit noktalardır. Havalimanlarının temel işlevi, yolcular ve kargo için hava taşımacılığına erişimi sağlamaktır. Havalimanları Şekil 2.1’de görüldüğü gibi hava sahası ve kara sahası olmak üzere iki bölümde incelenebilir. Kara sahası denilen bölüm terminal binası, kargo terminali ve otopark alanından oluşur. Bu bölgede temel müşteri yolcudur ve bütün aktiviteler yolcuların ihtiyacını karşılamak üzere gerçekleştirilir. Hava sahası bölümü ise (apron, pist, kontrol kulesi, uçak bakım tesisleri vb.) hava araçları ile ilgili bütün alan ve yapıları kapsamaktadır (Ortega Alba ve Manana, 2016).



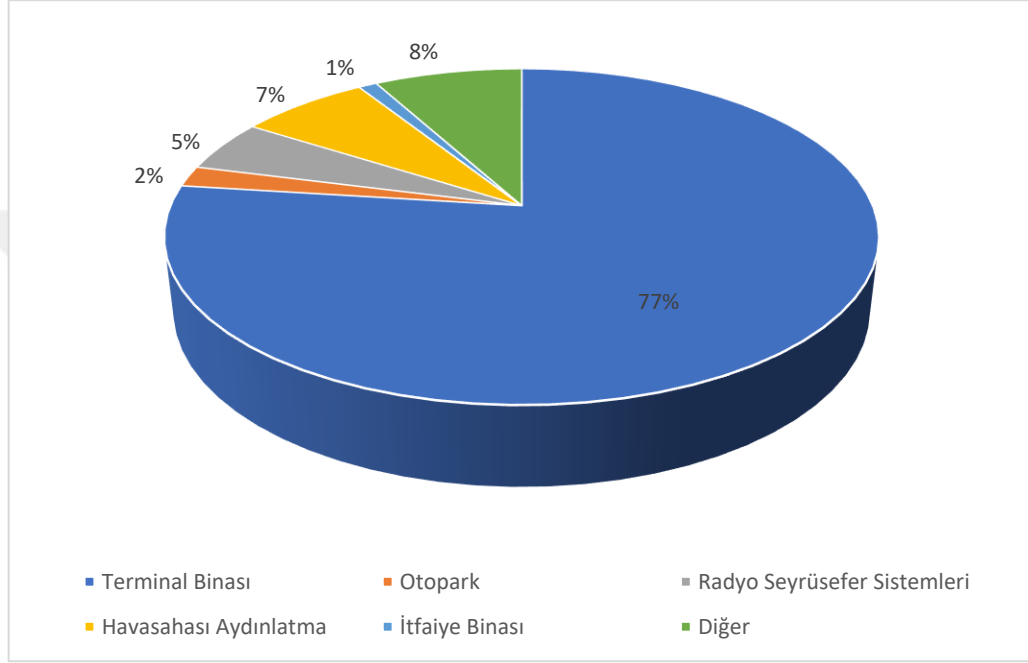
Şekil 2.1. Havalimanlarının yapısı (Ortega Alba ve Manana, 2016).

2.1. Havalimanlarında Enerji Tüketimi

Havalimanları enerji tüketim miktarları yönünden incelendiğinde neredeyse küçük bir şehir kadar enerji tüketmektedir (Costa vd., 2012). Hava tarafı enerji tüketicileri temelde radyo navigasyon sistemleri, kontrol kulesi, apron aydınlatma ve pist ışıklarından oluşur. Bununla birlikte uçak bakım hangarları, meteoroloji istasyonu ve itfaiye binaları havalimanlarındaki önemli enerji kullanıcılarıdır. Hava tarafında enerji tüketimini en çok etkileyen faktörler; aydınlatılacak pist uzunluğu, taksi yolu uzunluğu ve apron alanının

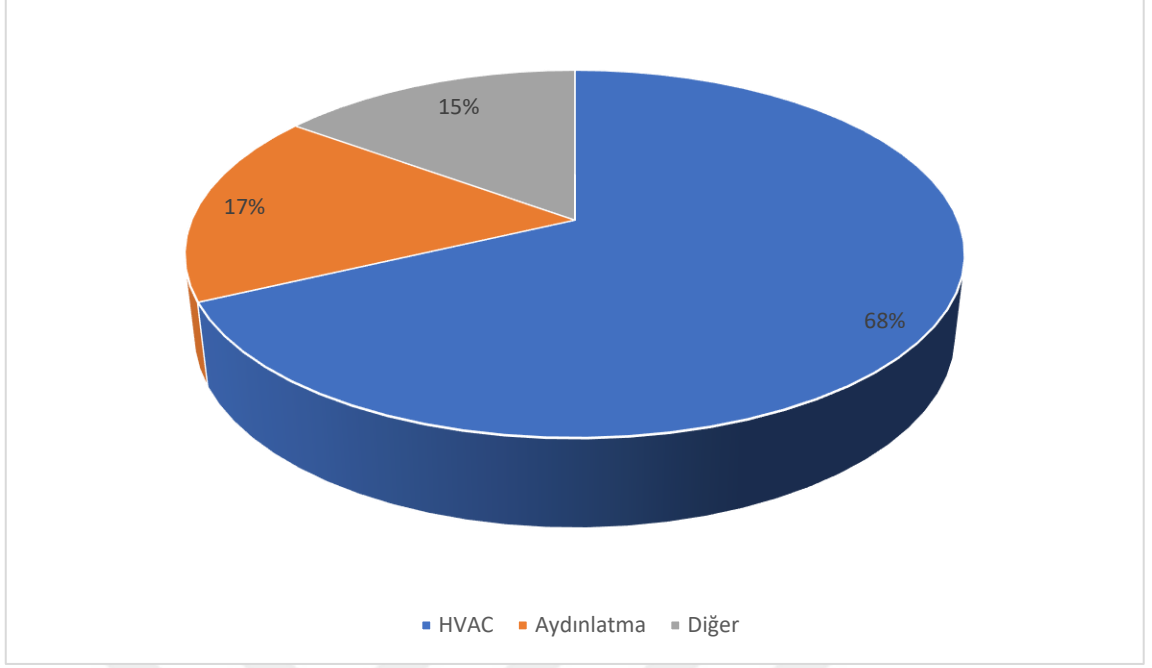
büyüklüğüdür (Ortega Alba ve Manana; 2016). Hava tarafında uçak bakım hangarlarının kapasitesi ve büyüklüğü enerji tüketimini ciddi miktarda arttırabilir.

Kara tarafı temel enerji tüketicisi Şekil 2.2'de görüldüğü üzere terminal binasıdır. Yolcular ve kargonun hava taşımacılığına ulaşması için en kilit nokta terminal binasıdır. HVAC, ısklandırma, bilgi ve iletişim teknolojileri sistemleri terminal binalarında çok fazla enerji tüketen yapılardır (Costa vd., 2012; Uysal ve Söğüt, 2017).



Şekil 2.2. Örnek bir havalimanında enerji tüketimi

Terminal binaları genel anlamda çok büyük alan ve hacimlere sahip yapılar olup, buralarda konfor şartlarının sağlanması daha yüksek enerji tüketimine neden olmaktadır. Bu yüzden havalimanı terminal binalarında enerji verimliliği çalışmalarında en çok üzerinde durulması gereken sistem HVAC sistemidir. Terminal binalarında iklimlendirme amaçlı tüketilen enerjinin miktarında HVAC sisteminin verimliliğinin yanı sıra bina kabuğu da çok önemli bir yere sahiptir. Terminal binalarında tüketilen enerjide en büyük paya sahip sistem Şekil 2.3'te görüldüğü gibi HVAC sistemidir (ACI, 2014).



Şekil 2.3. Terminal binasında enerji tüketim oranları

2.2. Havalimanlarında Enerji Tüketimini Etkileyen Faktörler

Genel anlamda bakıldığında havalimanının mimari yapısı ve bulunduğu bölgenin iklim koşulları enerji tüketimini etkileyen en önemli faktörlerdir. Havalimanlarında enerji tüketimini etkileyen birçok faktör vardır. Bunlar (Costa, vd., 2012; Balaras vd., 2003):

- Havalimanının büyüklüğü (iklimlendirilecek alan ve hacim, dış havaya açık bina yüzeyinin alanı)
- Havalimanı terminal binasının mimari yapısı (şekil faktörü)
 - a. Kompakt modül üniteli terminal
 - b. Pier/Parmak terminal
 - c. Açık Apron terminal
 - d. Uydu terminal
 - e. Doğrusal terminal
- Konum-İklim (dış hava sıcaklığı, güneş ışıınımı, nem seviyesi)
- Isıtma derece gün (HDD)
- Soğutma derece gün (CDD)
- Çalışma saatleri
- Bina zarfı

- Terminal binasının yalıtımı
- HVAC sistemleri ve kontrolü
- Havalimanı bakım seviyesi
- Yolcu / Kullanıcı davranışları
- Enerji yönetimi
- Havalimanının bakım seviyesi
- Hava aracı bakım tesisleri ve kapasiteleri
- Gün ışığından yararlanma
- Kış aylarında ısıtma için güneşten yararlanma seviyesi
- Mekanik ve elektrik sistemlerinin uygun çalışması
- Yolcu sayısı
- Trafik yoğunluğu (iniş kalkış yapan uçak sayısı)

Şekil 2.2’de örnek bir havalimanında toplam enerji tüketiminin %77’sinin terminal binasında, Şekil 2.3’te terminal binasında en yüksek enerji tüketiminin %68 ile ısıtma, soğutma ve havalandırma amaçlı kullanıldığı görülmektedir. Bu oran soğuk iklime sahip ülkelerde daha fazladır. Bu yüzden bina kabuğu özellikle ısıtma ve soğutma için kullanılan enerji miktarında büyük öneme sahiptir. Isıtma ve soğutma amaçlı enerji tüketiminin azaltılması için kritik unsurlar vardır ve bunlar aşağıda listelenmiştir (Dulac vd., 2013).

- Terminal binası dış kabuğunda kullanılan malzemeler ve özellikleri,
- Soğuk iklim koşullarındaki ısı kayıplarını azaltmak için yaşam maliyet değerlendirmesi ile optimum yalıtım kalınlığının belirlenmesi (duvarlar, çatılar ve zeminlerde),
- Düşük termal geçirgenlik ve uygun solar ısı kazanım katsayısına sahip yüksek performanslı pencereler,
- Sıcak iklimler için yansıtıcı yüzeylere sahip çatılar ve duvarlar,
- Sızıntıyı engellemek için yapıdaki sızdırmazlık düzeyi,
- Bina kabuğundaki ısı köprülerinin minimizasyonu,
- Pasif solar tasarım.

2.3. Enerji Kaynakları

Havalimanlarında kara ve hava tarafındaki faaliyetlerin gerçekleştirilebilmesi için belli miktarda enerjiye ihtiyaç duyulur. Havalimanlarındaki en önemli enerji kaynakları (Ortega Alba ve Manana, 2016):

- Elektrik: Havalimanlarındaki çeşitli sistem ve tesislerin işletilmesi için kullanılır.
- Yakıt (doğal gaz, petrol, dizel, propan, kalyak vb.): Kazanlar, kojenerasyon ve trijenerasyon santralleri, acil durum jeneratörleri veya araçlar için kullanılır.

Enerji kaynakları arasında elektrik, hava trafik operasyonlarının emniyetli bir şekilde devam etmesini sağlamak ve havalimanı ana enerji tüketicileri için kritik bir öneme sahiptir. Elektrik ihtiyacı genellikle ticari şebekeden karşılanır ve bir güç şirketi tarafından tedarik edilir. Bununla birlikte, son yıllarda kojenerasyon/trijenerasyon tesisleri ve yenilenebilir enerji teknolojilerinin havalimanlarında kullanımının arttığı görülmektedir (Barrett vd., 2015).

Birleşik ısı ve güç sistemleri (CHP) enerjinin hem güç (elektrik) hem de ısı formunda üretilmesine olanak veren sistemlerdir. Birleşik ısı ve güç sistemleri kojenerasyon olarak da adlandırılır. Elektrik ve ısı ihtiyacının kojenerasyon sistemlerinden sağlanması ile enerji de %15 ile %25 arasında tasarruf sağlanır. Ayrıca atık ısıların süreç içerisinde kullanılması sayesinde %85'e kadar verimlilik sağlanır (Orhan, 2003; Ionita ve Marinescu 2002). Sistem güvenliğini garanti altına almak (frekans veya voltaj anormallikleri olması durumunda) için çift yönlü güç alışverişine izin veren bir bağlantıya ihtiyaç duyulur. Atık ısıdan elde edilen enerji terminal binasında iklimlendirme amaçlı kullanılabilir (Cardona, Piacentino ve Cardona, 2006a). Havalimanlarında kojenerasyon sistemlerinin kullanılmasının en büyük dezavantajları; geleneksel yöntemlerle kıyaslandığında daha fazla alana ihtiyaç duyulması ve elektromanyetik etkileşimleri önlemek için kontrol kulesinden ve pistten yeterince uzakta olması gerekliliğidir (Ortega Alba ve Manana, 2016).

2.3.1. Yenilenebilir enerji kaynakları

Yenilenebilir enerji teknolojileri temiz enerji kaynakları olarak kabul edilir ve bu kaynakların optimum kullanımı; çevresel etkileri en aza indirir, minimum ikincil atıklar üretir ve sürdürülebilirdir. Dünya enerji talebinin %14'ünü karşılayan yenilenebilir enerji kaynakları, tekrar tekrar enerji üretmek için kullanılabilen kaynaklardır. Yenilenebilir enerji kaynakları birincil, yerli, temiz ve tükenmez kaynaklardır. Bu kaynaklar ile enerji

ihtiyacının kısmen veya tamamen karşılanması, ulusal-uluslararası çevresel gerekliliklere uyumu kolaylaştırır. Havalimanları yenilenebilir enerji teknolojilerinin kurulması için çok uygun yerlerdir. Yenilenebilir enerji kaynakları aşağıdaki gibi sıralanabilir (Panwar, Kaushik ve Kothari, 2011):

- Güneş enerjisi,
- Rüzgâr enerjisi,
- Hidrolik (hidroelektrik) enerjisi,
- Jeotermal enerji,
- Biyokütle enerjisi (biyoyakıt enerjisi de dahil),

Yenilenebilir enerji kullanımının faydaları ise aşağıdaki gibi sıralanabilir (Barrett vd., 2015):

- İklim değişikliğinin potansiyel etkilerini hafifletir,
- Yerli enerji tüketimini artırır,
- Enerji kaynaklarını çeşitlendirilmesine olanak sağlar,
- Enerji üretiminin merkezden uzaklaştırılması sağlar,
- İş olanaklarının gelişmesine yardımcı olur.

2.3.1.1. Güneş enerjisi

Güneş enerjisi, güneşten elde edilir ve gelen ışınım fotovoltaik hücrede doğrudan elektrik veya termal sistemlerde ısı üretmek için kullanılabilir. Güneşten dünyaya her yıl yaklaşık 1.5×10^{18} kWh /m² enerji verilir; bu değer, insanlığın yıllık enerji tüketiminin 10,000 katından daha fazladır. Bu gerçek, Dünya'daki yaşamın sürdürülmesinden sorumlu olmanın yanı sıra Güneş ışımalarının neredeyse tükenemeyen, yenilenebilir ve temiz bir enerji kaynağı olduğunu göstermektedir. Bu enerjiyi dönüştürmenin yollarından biri, binalarda kullanılabilme özelliğine sahip olan fotovoltaik (PV) modüllerdir (Zomer vd., 2013).

Havalimanlarının geniş alanlara inşa edilmesi, etrafında gölge oluşturacak büyük bina ve tesislerin olmayışı, tipik yatay yapılarından dolayı PV panellerin kurulması için çok uygun yerlerdir. Sıcak ve güneşli günlerde havalimanı terminal binalarında iklimlendirme sistemlerinin yoğun enerji talebinden dolayı yüksek miktarda enerjiye ihtiyaç duyulur. Dış hava sıcaklığı ile güneş ışınımı kullanılabilirliği ve elektrik ihtiyacı arasında çok kuvvetli bir korelasyon vardır. Binaların mimari yapıları ve kullanılabilecek

alan genişliği düşünöldüğünde havalimanlarında güneş enerjisi sistemlerini kullanmak en akıllı çözümlerden biridir (Rüther ve Braun; 2009). Güneş ışığının panellerden yansıması kontrol kulesi çalışanlarını, kokpit ve kabin ekibini etkileyebilir. Bununla birlikte yapılan çalışmalar güneş ışığının solar panellerden yansıma etkisinin mevcut yüzeylerden yansımasından daha az tehlikeli olduğunu ortaya koymuştur (Barrett vd., 2015; Schiavoni vd., 2013). Havalimanlarında, güneş panellerinin yeri belirlenirken, radyo navigasyon sistemlerinin elektromanyetik sinyallerini engelleyecek, yansıtacak veya bozacak yerleri hariç tutmak gerekir. Ayrıca solar panellerin kurulacağı yerler hava araçlarının operasyon alanları göz önünde bulundurularak emniyet kuralları gereklilikleriyle uyumlu olmalıdır (Plante vd., 2010; Wybo, 2013). Sıcak ve güneşli bölgelerde havalimanlarındaki enerji talebi özellikle sabah saatlerinde güneş panellerinden karşılanabilir. Bununla birlikte, havalimanlarında bu konudaki başlıca problem akşam saatlerinde güneş panellerinden üretilen enerjinin havalimanının talep ettiğı yükü karşılayamamasıdır. Bu sorunun çözümü için en uygun yöntem güneş panelleriyle birlikte enerji depolama teknolojilerinin kullanılmasıdır (Rüther ve Braun 2005). 12 MWp güneş enerjili Cochin Uluslararası Havalimanı ihtiyaç duyduğu enerjinin tamamını apron alanına kurulu 46,150 tane güneş panelinden üretmektedir (Sukumaran and Sudhakar 2017b). Görsel 2.1’de Cochin Uluslararası Havalimanında kurulu güneş enerji santrali görölmektedir (<http-2>).



Görsel 2.1. Cochin Uluslararası Havalimanı güneş enerji santrali (<http-2>)

Görsel 2.2’de San Diego Havalimanı otopark çatısına kurulu güneş enerji santrali havalimanlarında PV modüllerinin kurulumu açısından farklı bir uygulamadır. Bu açıdan, havalimanlarında güneş enerji sistemlerinin kurulumu için farklı bölgeler değerlendirilebilir. San Diego Havalimanında kurulu güneş enerjisi sistemi ile Terminal 1 ve 2’nin enerji talebinin %13’ünün karşılanması hedeflenmektedir. Ayrıca toplam enerji maliyetlerinde bu sayede 8 milyon dolar tasarruf sağlanması planlanmaktadır (<http-3>).



Görsel 2.2. San Diego Havalimanı otopark çatısına kurulu güneş enerji santrali (<http-3>)

2.3.1.2. Rüzgâr enerjisi

Günümüzde elektrik üretimi için rüzgâr enerjisi, dünyanın birçok bölgesinde yaygın olarak kullanılan rekabetçi ve temiz bir teknolojidir. Rüzgâr teknolojisi, rüzgâr türbinleri aracılığıyla rüzgâr enerjisini elektrik veya mekanik enerjiye dönüştürür. Türbinlerin işlevi rüzgâr hareketini bir jeneratöre aktarmak ve bu sayede güç üretmektir. Rüzgâr türbinleri, aerodinamik olarak tasarlanmış kanatçıklar vasıtasıyla rüzgârdan gücü alır ve onu mekanik güce dönüştürür (Balat, 2009). Rüzgâr enerjisi, havalimanlarının geniş ve boş alanlarının büyüklüğü göz önüne alındığında potansiyel olarak çok kullanışlı bir yenilenebilir enerji kaynağıdır. Bununla birlikte, rüzgâr türbinlerinin havalimanlarının mania sınırlamaları için fiziksel bir engel ve radyo navigasyon sistemleri için de parazit kaynağı olması, havalimanı yakınlıklarına rüzgâr türbinlerinin kurulumunu sınırlamaktadır. Havalimanlarına rüzgâr türbinlerinin kurulumu ile ilgili kararlar verilirken çok detaylı

analizlerin gerçekleştirilmesi gerekir. Bu analizler, hava trafik emniyeti ve radyo navigasyon sistemlerindeki sinyal bozulmalarını içermelidir (Barrett vd. 2015).

Görsel 2.3'te görülen rüzgâr enerji santrali, Boston Logan Uluslararası Havalimanında enerji ihtiyacının %2'sini karşılamaktadır. Bu sayede yıllık 13 bin dolar tasarruf edilmekte olup ilk yatırım maliyetini 10 yılda karşılamaktadır (http-4 ve http-5).



Görsel 2.3. Logan Uluslararası Havalimanında kurulu rüzgâr enerji santrali (http-4)

2.3.1.3. Hidrolik (hidroelektrik) enerjisi

Su gücü ile elektrik enerjisi üretimine hidroelektrik enerji denir. Havalimanlarında enerjinin bu türünü kullanabilmek için, yakınlarında kullanılabilir kinetik enerji potansiyeline sahip geniş bir su kütlesinin bulunması gerekir. Havalimanları için seçilen düz arazilere yakın, akış hızı yüksek olan nehir veya akarsuların olması çok olası bir durum değildir. Buna ek olarak, havalimanlarına yakın hidroelektrik santrali kurmanın çevresel etkileri de düşünüldüğünde, hidroelektrik santrallerinin havalimanlarının durumuna uygun olmadığı görülmektedir (Rowlings, 2016).

2.3.1.4. Jeotermal enerji

Jeotermal enerji, yerin derinliklerinde birikmiş ısıнын oluşturduğu sıcak su ve buhardan elde edilen enerjidir. Havalimanlarının bulunduğu bölgelerin belirli jeolojik yapılara (sıcak su rezervleri veya sıcak kayalar gibi) sahip olması gerektiğinden,

jeotermal enerjinin kullanımı, diğer yenilenebilir enerji kaynaklarından daha zordur (Barbier, 2002).

Selanik Havalimanı yeni terminal binasının ısıtılması ve soğutulmasında jeotermal enerji kullanılmaktadır. Bu sayede yıllık enerji tasarrufu, ısıtma ve soğutma için sırasıyla 13,150 MWh ve 7,500 MWh'tir (Mendrinis ve Karytsas, 2003). Paris Orly Havalimanında 2011 de kurulan bir jeotermal sistem sayesinde, havalimanı terminal binasının ısıtma ihtiyacının %70'ini karşılanmaktadır. Bu sayede yıllık 9,000 ton CO₂ emisyonu tasarrufu sağlamaktadır. Bu sistem sayesinde havalimanı doğal gaz tasarrufunun 4,000 ton eşdeğer petrol (tep) olduğu görülmüştür (http-6).

2.3.1.5. Biyokütle

Biyokütleden üretilen biyoyakıtlar katı, sıvı veya gaz halinde bulunabilirler. Birçoğu bitki kökenli olmakla beraber genellikle içten yanmalı motorlarda enerji kaynağı olarak kullanılabilirler. Havalimanlarında biyokütle uygulamalarıyla ilgili başarıyla uygulanmış örnekler mevcuttur. Londra'da ki Stansted Havalimanında ısıtma ve sıcak su ihtiyacı biyokütleden karşılanmaktadır. İngiltere'de ki East Midlands Havalimanı sahasında 26 hektarlık söğüt ormanı terminal binasındaki kazanlarda kullanılmak için kurulmuştur. Ayrıca Heathrow Havalimanında kurulu kojenerasyon tesisinde enerji kaynağı olarak biyokütle kullanılmaktadır. Münih ve Amsterdam Havalimanlarında apron taşımacılığında kullanılan araçlarda yakıt olarak biyodizel kullanılmaktadır. Aeroports de Paris Havalimanında ki 14 MW'lık kazandan kullanılan biyokütle sayesinde havalimanındaki ısıtma ihtiyacının %25'i karşılanmaktadır. Bu sayede bir yılda enerji kullanımı kaynaklı CO₂ emisyonlarının 18 ton azaldığı görülmektedir (Rowlings ;2016).

2.4. Havalimanlarında Enerji Performans Göstergeleri

Havalimanlarında enerji tüketimini etkileyen faktörler Bölüm 2.2'de açıklanmıştır. Havalimanlarında enerji tüketimiyle ilgili yapılan çalışmalarda, yolcu başına (kWh/yolcu) ve birim alan başına (kWh/m²) bağlı değerlendirmeler mevcuttur. Enerji Performans Göstergeleri (EPG) havalimanlarında enerji tüketimleriyle ilgili bir parametre olarak kullanılabilir, fakat enerjinin iyi veya kötü kullanıldığıyla ilgili fikir vermezler. EPG'ler havalimanlarının kendi enerji performansıyla ilgili önceki yıllara göre kıyas yapılmasında kullanılan önemli parametrelerdir.

Tablo 2.1’de bazı havalimanlarının yolcu başına tükettiği enerji miktarı verilmiştir. Bu tabloda verilen havalimanlarının özelliklerinden biri ISO 50001 EnYS’yi uygulamalarıdır (Kılış ve Kılış, 2016).

Tablo 2.1. *Havalimanlarında yolcu başına enerji tüketimi (Kılış ve Kılış, 2016)*

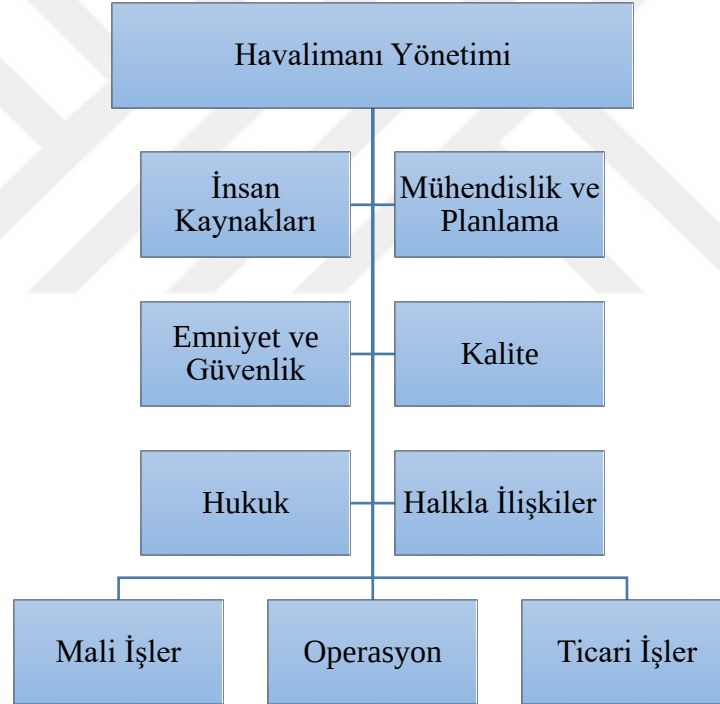
Havalimanı	Enerji Tüketimi/Yolcu Sayısı (kWh/yolcu)
Amsterdam Havalimanı	6.97 kWh
Atatürk Havalimanı	8.14 kWh
Barselona Havalimanı	11.63 kWh
Munich Havalimanı	9.30 kWh
San Francisco Havalimanı	12.79 kWh
Seoul Havalimanı	16.28 kWh

Yunanistan’da bulunan 29 havalimanında ısıtma ve soğutma amaçlı kullanılan ortalama enerji miktarı 101 kWh/m² olduğu hesaplanmıştır. Üç iklim bölgesinden oluşan Yunanistan’da her iklim bölgesi için ısıtma ve soğutma için kullanılan enerji miktarı sırasıyla 31 kWh/m² 130.5 kWh/m² ve 216.5 kWh/m²’dir. İklimlendirme için kullanılan enerji miktarı havalimanının bulunduğu bölgenin iklim koşullarının (nem, sıcaklık, HDD ve CDD gibi.) etkisinin çok büyük olduğu çalışmalarla ortaya konmuştur (Balaras, 2003).

3. SÜRDÜRÜLEBİLİR ENERJİ YÖNETİM MODELİ

3.1. Havalimanlarının Yönetim Yapısı

Havalimanlarında büyüklük ve kapasiteye bağlı farklı yönetim organizasyon şemaları mevcuttur. Yönetim yapısını etkileyen bir diğer husus da farklı yönetim tarzlarıdır. Merkeziyetçi yönetim anlayışını benimseyen havalimanlarında biçimsel örgüt yapıları tercih edilirken, esnek yönetim anlayışına sahip havalimanlarında yalın bir örgüt yapısı tercih edilir. Esnek yönetim anlayışına sahip havalimanlarında, yönetim kademelerinin daha az ve sade olduğu görülmektedir. Bununla beraber karma örgüt yapılarına sahip havalimanları da mevcuttur. Günümüzde havalimanlarında yönetim yapılarına bakıldığında, Şekil 3.1'deki gibi sade örgüt yapıları göze çarpmaktadır (Şengür, 2016).



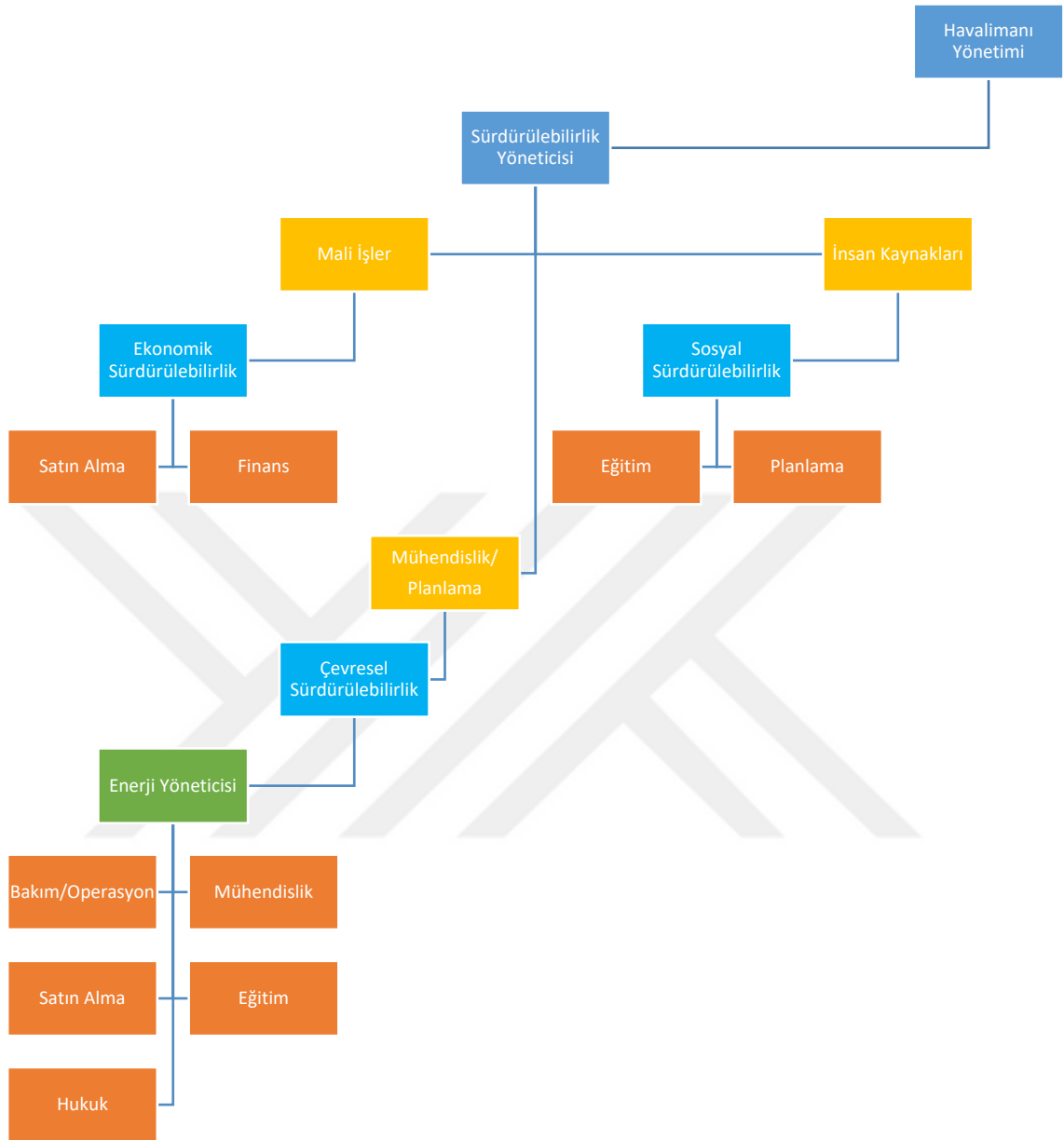
Şekil 3.1. Havalimanlarında organizasyon yapısı (Şengür, 2016)

Havalimanlarında enerji yönetim biriminin şekil 3.1'de gösterilen organizasyon yapısına dahil olması gerekir. Etkin bir enerji yönetimi için, enerji yönetim birimi havalimanı yönetimine bağlı ve aynı organizasyon şeması içinde olmalıdır. Enerji yönetim ekibi ve sayısı, havalimanı büyüklüğü ve faaliyetlerine göre değişebilir. Fakat

etkin bir enerji yönetim sisteminde, enerji yönetim birimi hem minimum gereklilikleri sağlamalı hem de ihtiyaçlar göz önünde bulundurularak oluşturulmalıdır.

3.2. Sürdürülebilirlik ve Enerji Yönetim Organizasyon Yapısı

Şekil 3.2’de görüldüğü gibi havalimanlarında yönetim organizasyon yapısına enerji yönetim biriminin dahil edilmesi ve yönetim temsilcisinin üst yöneticiye bağlı aynı zamanda sürdürülebilirlik yöneticisi olması bu tezde önerilmektedir. Yönetim temsilcisinin aynı zamanda sürdürülebilirlik yöneticisi olması, sürdürülebilirlik ile ilgili tüm çalışmaların tek bir çatı altında toplanması ve daha kolay yönetilmesi açısından önemlidir. Enerji ile sürdürülebilirliğin her boyutu (çevresel, ekonomik ve sosyal) arasındaki ilişki dikkate alındığında, bu iki kavramın birbirinden ayrı olgular gibi düşünülmesini olanaksız kılmaktadır. Bu nedenle çevresel, ekonomik ve sosyal sürdürülebilirliğin tek bir çatı altında toplanması ve yönetilmesi hem daha kolay hem de daha etkili olacaktır. Bu tezde önerilen yönetim modeli yapısı sürdürülebilirlik yöneticisinin aynı zamanda yönetim temsilcisi olması, sürdürülebilirlik yöneticisine bağlı bir enerji yöneticisi ve enerji ekibinin olmasıdır.



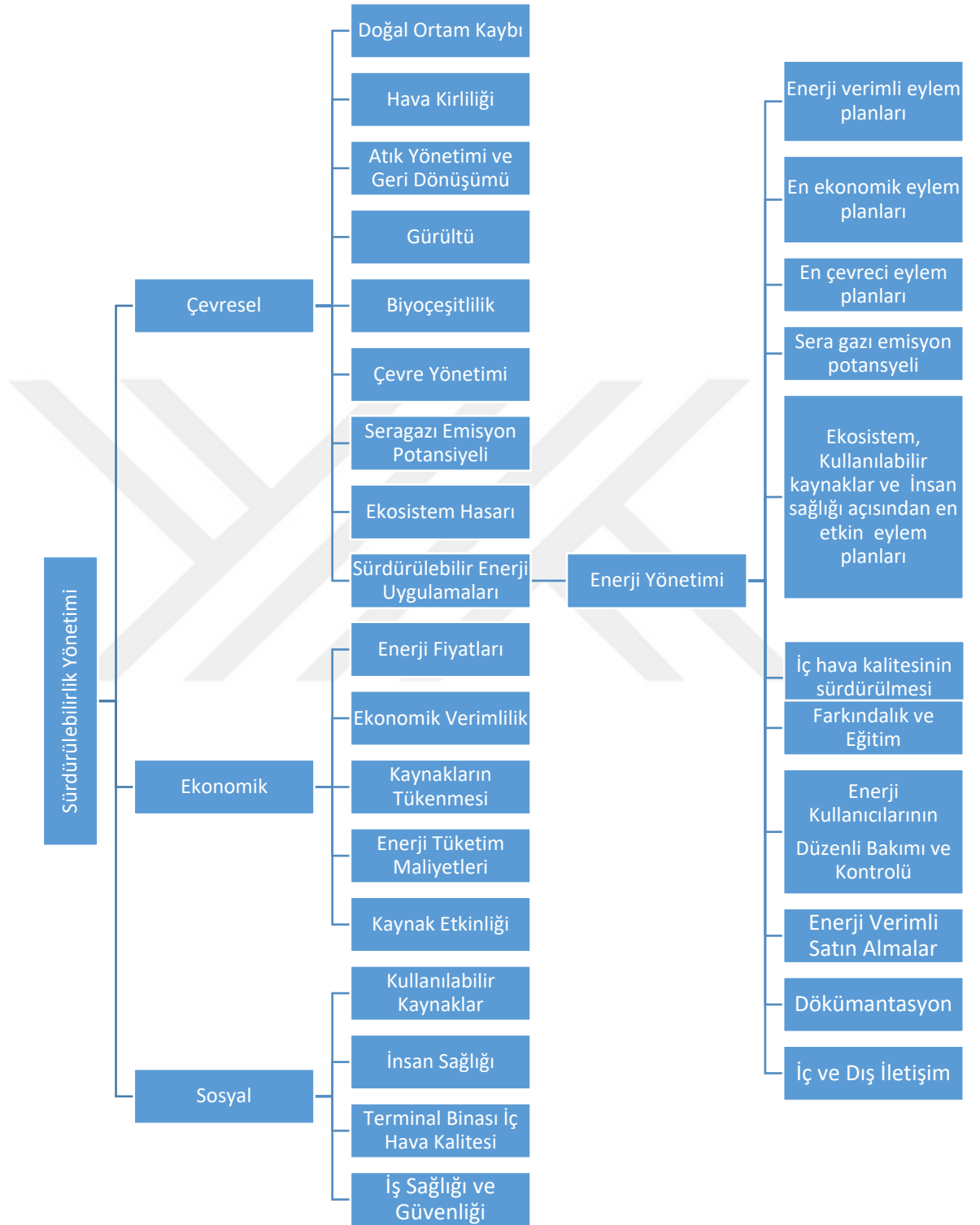
Şekil 3.2. Havalimanlarında sürdürülebilirlik yönetimi ve enerji yönetim birimi

Bu tezde Şekil 3.2 ‘de görüldüğü gibi mali işler, insan kaynakları ve mühendislik birimlerinin sürdürülebilirlik yöneticisine bağlı olması önerilmektedir. Ayrıca mali işler bölümünün ekonomik sürdürülebilirlik, insan kaynaklarının sosyal sürdürülebilirlik ve mühendislik biriminin çevresel sürdürülebilirliği yönetmesi yine bu tezde önerilmektedir. Sosyal sürdürülebilirliğin alt bölümlerinde eğitim ve planlama departmanlarının olması ve bu departmanların havalimanının sürdürülebilirlik ve enerji politikalarına uygun işe

alım, tüm çalışanların eğitim ihtiyaçlarının planlanması ve enerji politikası hakkında farkındalık oluşturmada sorumlu olması gerekmektedir. Ekonomik sürdürülebilirlik, satın alma ve finans alt bölümlerinden oluşmalıdır. Mali kaynakların etkili kullanılması temel sorumluluğu olmalıdır. Tüm satın alma süreçlerini enerji ve çevresel performansın sürekli iyileştirilmesi için bir fırsat olarak değerlendirilmesi yine bu bölümün en önemli görevlerinden biridir. Enerji ile ilgili satın almalarda fiyat, performans ve verimlilik kriterlerinin araştırılması ve satın alma süreçlerinin takibi bu departman tarafından gerçekleştirilmelidir.

Şekil 3.3'te havalimanlarında sürdürülebilirlik yönetimi ve boyutları görülmektedir. Bu açıdan bakıldığında sürdürülebilir enerji uygulamaları çevresel sürdürülebilirlik kapsamında incelenen bir başlıktır. Enerji tüketiminin doğrudan çevresel ekonomik ve sosyal etkilerinin olduğu yapılan birçok çalışmayla kanıtlanmıştır. Bu açıdan bu tezde, enerji yönetim uygulamalarında enerji performansı sürekli iyileştirilirken ekonomik ve çevresel açıdan optimum eylem planlarının oluşturulması ve uygulanması önerilmektedir. Şekil 3.3'ten de görüleceği gibi oluşturulan enerji yönetim mantığında enerji tüketimi kaynaklı sürdürülebilirliğin tüm boyutları (ekonomik, sosyal ve çevresel) göz önünde bulundurulmuştur. Eylem planları oluşturulurken aşağıdaki seçeneklerin göz önünde bulundurulması önerilmektedir:

- Enerji verimliliği,
- Sera gazı emisyon potansiyeli,
- İnsan sağlığı,
- Kullanılabilir kaynaklar,
- Ekosistem hasarı,
- En çevreci eylem planları,
- En ekonomik eylem planları.



Şekil 3.3. Sürdürülebilirlik yönetimi ve boyutları

3.3. Sürdürülebilir Enerji Yönetimi Kavramı

Literatürde birçok tanım bulunmasına rağmen sürdürülebilirlik, gelecek nesillerin kendi ihtiyaçlarını karşılama yeteneğinden ödün vermeksizin, mevcut neslin artan ihtiyaçlarını karşılamak olarak tanımlanabilir. Sonuç olarak sürdürülebilirlik; ekonomik büyüme, çevreyi koruma ve enerji arasındaki dengeyi tanımlamak için kullanılabilir (Ozturk ve Yuksel, 2016). Türkiye’deki mevcut enerji tasarruf potansiyelinin yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen miktardan fazla olduğu görülmektedir. Bu potansiyelin etkin bir enerji yönetimiyle geri kazanılması en hızlı ve en ucuz elde edilen, en temiz enerji kaynağı olduğu kabul görmektedir (Aksoy vd., 2013). Enerji tüketiminin ekonomik, sosyal ve çevresel sürdürülebilirlikle iç içe geçtiği ve doğrudan etkilediği çağımızda enerji yönetimini de sürdürülebilir kılmak çok önemlidir. Enerji yönetiminin sadece ekonomik açıdan düşülmemesi aynı zamanda en çevreci senaryoların enerji verimli yatırımlarda değerlendirilmesi ve sürekli hale getirilmesi günümüzde bir zorunluluk haline gelmiştir.

3.3.1. Ekonomik sürdürülebilirlik

Sürdürülebilirliğin bu boyutu, enerji ihtiyacının uygun maliyetli ve satın alınabilir olup olmadığını değerlendirir. Finansman gücü, ihtiyaç duyulan enerjiye sadece ulaşmayı değil aynı zamanda toplumun enerjiyi satın almaya maddi anlamda gücünün yetmesini garanti altına almalıdır. Bunlar, enerji tedarikinin sürdürülebilirliğini sağlamak için önemlidir (Iddrisu ve Bhattacharyya, 2015).

Enerji tüketimi finansal işlem gerektirdiğinden, bu bir şekilde kazanca dönüştürülmediğinde enerji tüketimine devam edilmesi mümkün olmaz. Enerji verimliliğinin en önemli göstergelerinden biri de enerji yoğunluğu değeridir. Enerji yoğunluğu birim üretim veya hizmet başına harcanan enerjiyi ifade eder. Bu değer, toplam enerji tüketiminin yurt içi Gayri Safi Milli Hasıla’ya (GSYİH) bölünmesiyle bulunur. Bu değerın küçük olması enerjinin verimli kullanıldığı anlamına gelir. Ülkemizde bu değer gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerle kıyaslandığında daha yüksek olduğu görülmektedir (Doğan ve Yılankıran, 2015). Havalimanlarında enerji yoğunluğu yolcu veya birim alan başına enerji tüketimi olarak tanımlanabilir. Bu nedenle ekonomik sürdürülebilirlik açısından bakıldığında, enerjide dışa bağımlı olan ülkemizde enerji yoğunluğunu üretim kalitesi, miktarı ve konfordan ödün vermeksizin düşürmek zorunlu hale gelmiştir. Enerji verimliliğiyle ilgili yatırımlarda en iyi ekonomik senaryoları

değerlendirmek ve bunu sürekli hale getirmek, ekonomik sürdürülebilirlik açısından önemlidir.

3.3.2. Sosyal sürdürülebilirlik

Sürdürülebilirliğin sosyal boyutu, enerjinin toplumsal paylaşımını inceler. Adil paylaşım ve fırsat eşitliği ile ilgili her olgu toplumun tüm bireyleri tarafından kabul görür. Kişi başına enerji tüketimi ve enerji yoğunluğu gelişmişliğin ve sosyal refahın bir göstergesi olarak kabul görmektedir (Iddrisu ve Bhattacharyya, 2015). Günümüzde enerji kullanımının, küresel ısınma, insan sağlığı, ekosistem ve kullanılabilir kaynaklar üzerinde büyük etkiye sahip olduğu bilinmektedir. Bu açıdan enerjinin verimli kullanılması, enerji kaynaklı ekosistem zararlarını en aza indirir, bu hem refah seviyesini artırır hem de gelecek nesillere daha yaşanılabilir bir dünya sunar. Havalimanları özelinde düşünüldüğünde, günümüzde sosyal yaşam merkezi haline gelen havalimanlarında, yolcuların ihtiyaçlarını (konfor, güvenlik, alışveriş, beslenme vb.) karşılamada enerjiye gereksinim giderek artmaktadır. Bu sebeplerden havalimanlarında konfor ve hizmet standartları geliştirilirken, enerjiyi verimli kullanmak sosyal sürdürülebilirlik için önem arz etmektedir.

3.3.3. Çevresel sürdürülebilirlik

Sürdürülebilirliğin çevresel boyutu enerji tüketiminin, ekosistem ve insan sağlığı üzerine negatif etkilerini azaltmayı hedefler. Sera gazı emisyonlarının özellikle de fosil yakıt kaynaklı CO₂'nin küresel ısınma konusunda lider bir rol oynadığı yapılan çalışmalarla kanıtlanmıştır. Son yıllarda iklim değişikliği konusu, fosil yakıtlardan kaynaklı sera gazı emisyonları en ciddi çevresel sorunlardan biri haline gelmiştir (Miao, 2017). Dünyadaki enerji tüketiminin 2040'a kadar %56 artacağı tahmin edilmektedir. Bu ihtiyacın büyük çoğunluğunun fosil yakıtlardan elde edildiği düşünüldüğünde, bunun enerji kaynaklarının tükenmesi ve küresel ısınma konuları ile ilgili ciddi problemler doğuracağı düşünülmektedir (Gopalakrishnan, 2014). CO₂ ve diğer sera gazı emisyonlarını azaltmak için gerekli önlemler alınmazsa dünyanın yüzey sıcaklığının 2100'lü yılların sonuna doğru 1.1 – 6.4 °C artacağı tahmin edilmektedir (Bernstein vd., 2007). Ortalama 2 °C'lik sıcaklık artışı çevre, insan sağlığı ve doğal ekosisteme tahribatı geri döndürülemez şekilde zarar verebilir. 2015 yılında Paris'te gerçekleştirilen ve 195 ülkenin katıldığı konferansta alınan ortak karara göre, küresel sıcaklık artışına

endüstriyelleşme öncesi dönemler baz alınarak 1.5 °C'den fazla izin verilmemesi taahhüdünde bulunulmuştur (UNFCCC, 2015; http-8).

Havalimanları, yolcu ve kargo taşımacılığında önemli bir rol oynamaktadır. Bununla beraber havacılık sektörünün büyümesi ve hava yolu ile seyahat eden yolcu sayısında sürekli artış, havalimanı işleticilerini sürdürülebilirlik konusunda bir program geliştirmeye zorlamaktadır. Havalimanları ile ilgili çevresel düzenlemeler olmasına rağmen, havalimanlarında bunun ötesine geçme ve çevresel performansı sürekli geliştirme arzusu son yıllarda artarak devam etmektedir. Genel olarak, havalimanı işleticilerini sürdürülebilir hale getirmeye iten özel etkenler aşağıdaki gibi sıralanabilir (SAGA, 2009):

- Dünya çapında farkındalık ve küresel ekonomi,
- Hava yolu endüstrisindeki finansal baskılar,
- Artan enerji maliyetleri,
- Çevre ile ilgili yasal mevzuatlar,
- Kaynakların korunması,
- Yaşlanan altyapı,
- Havalimanı yaşam döngü maliyeti,
- Sürdürülebilirliği kolaylaştırıcı teknolojik gelişimler,

Havalimanlarında, enerji tüketimi kaynaklı CO₂ emisyonlarını belirleme ve bunları azaltma ile ilgili literatürde çok sayıda çalışma mevcuttur. Bu çalışmalar özellikle enerji performansını arttırmaya yönelik, yenilenebilir enerji kaynakları ve enerji verimli teçhizat ile ilgilidir. Havalimanlarında yapılacak enerji verimli (Kojenerasyon ve trijenerasyon tesisleri, yenilenebilir kaynaklardan elektrik üretme, mevcut aydınlatma yapısını daha verimli aydınlatma cihazları ile değiştirme vb.) projelerde mutlaka Yaşam Döngü Değerlendirme (YDD) yöntemi kullanılmalıdır. Sadece bu yöntem ile enerji verimli teçhizatın ham maddesinin doğadan elde edilmesi ile başlayıp atık olarak tekrar doğaya dönene kadar neden olacağı çevresel etkiler belirlenebilir. Havalimanlarında tadilat, yenileme, enerji verimli satın almalar ile tasarruf edilecek enerjinin çevresel etkilerinin, yapılan yenileme ve tadilat işlemlerinden kaynaklı negatif çevresel etkileri kısa sürede dengelendiği YDD yöntemiyle analiz edilmelidir. Havalimanlarında enerji verimliliği ile ilgili yapılacak her işleme bu açıdan bakılması ve en çevreci senaryoların

değerlendirilmesi gerekir. Tablo 3.1’de enerji kaynaklı sürdürülebilirlik göstergeleri belirtilmiştir (Naganathan ve Chong, 2017; Iddrisu ve Bhattacharyya, 2015).

Tablo 3.1. *Sürdürülebilirlik göstergeleri*

Çevresel	Ekonomik	Sosyal
İklim Değişikliği (Karbon emisyonları)	Ekonomik Verimlilik	Eşitlik
Hava Kirliliği	Enerji Fiyatları	İnsan Emniyeti, Güvenliği
Gürültü Kirliliği	Tedarik Verimliliği	İnsan Sağlığına Etkileri
Su Kirliliği	Kaynak Etkinliği	Topluluk Uyum
Doğal Ortam Kaybı	Tüketim Maliyetleri	Enerji Satın Alınabilirliği
Atmosferin Korunması	Enerji İthalatı	Enerjiye Ulaşım
Biyolojik Çeşitliliği Koruma	Enerji Güvenliği	
Enerji Kaynaklarının Azalması	Yaşam Döngü Maliyet Analizi (Life Cycle Cost)	
	Kaynakların Tükenmesi	

3.4. ISO 50001 Enerji Yönetim Sistemi

Enerji yönetimi; enerji verimliliği, kullanımı ve tüketimi dahil enerji performansının iyileştirilmesi amacıyla kuruluşlar tarafından oluşturulan bir sistem ve süreçtir (McLaughlin, 2015). Enerji yönetiminin temelini “ISO 50001 Enerji Yönetim Sistemi (EnYS)” oluşturur. ISO 50001 dünya genelinde uygulanan yönetim sistemi modeli üzerine temellendirilmiştir. ISO 50001 yönetim stratejileri kamu ve özel sektör kuruluşlarının enerji verimliliğini artırır, maliyetleri azaltır ve enerji performansını geliştirir. ISO 50001 standartları, organizasyonların enerji performanslarını bilinen bir çerçevede yönetim uygulamalarına entegre edebilmeleri için tasarlanmıştır. ISO 50001 EnYS konu ile ilgili bir çerçeve oluşturur ve diğer yönetim sistemlerinde olduğu gibi PUKÖ (Planla–Uygula–Kontrol Et–Önlem Al) süreçlerini takip eder (Kanneganti vd., 2017). PUKÖ tüm yönetim sistemlerinde kullanılan ortak bir döngü olmakla birlikte dört aşamadan oluşur. Bunlar (Ramamoorthy, 2012):

Planla: Hedefe ulaşmak için sistem, süreç ve kaynak dağılımının planlanması.

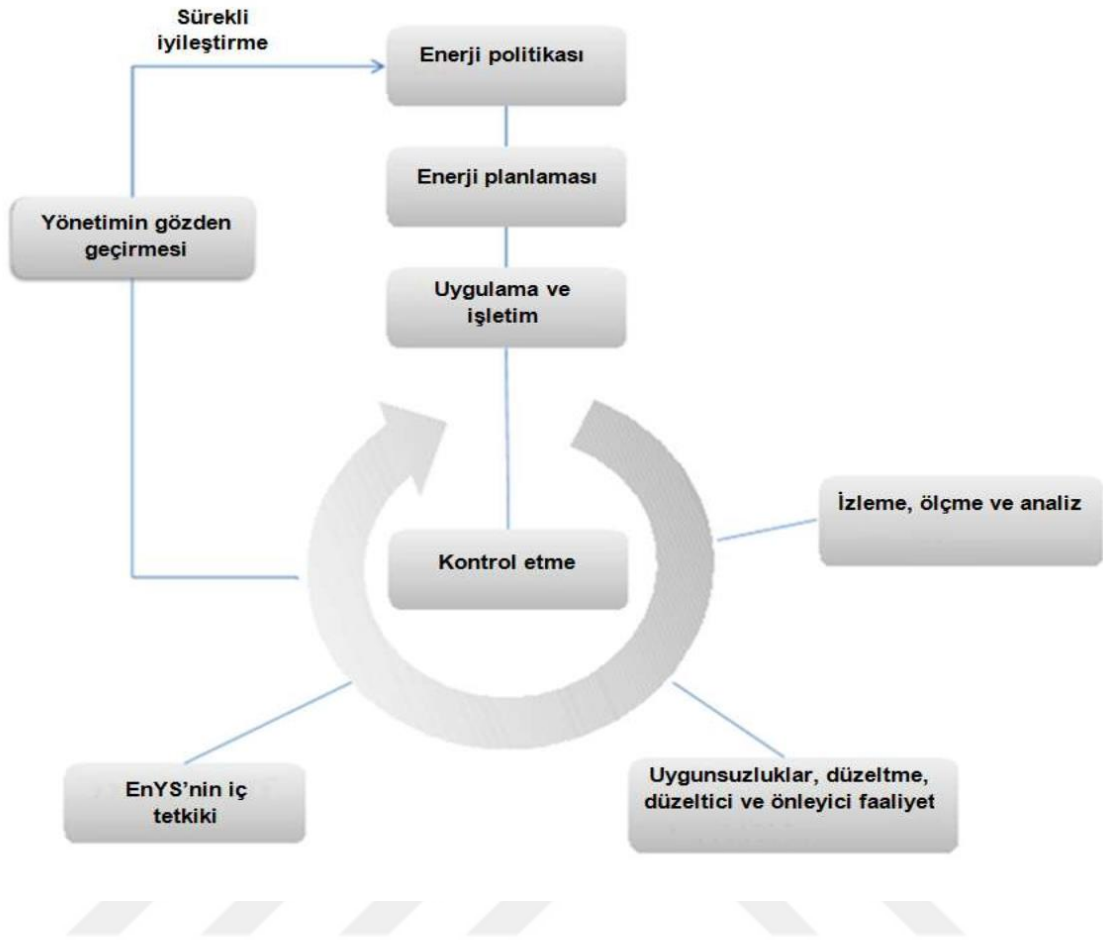
Uygula: Gerekli eylemleri plana uygun olarak yürütmek.

Kontrol Et: Önceden tanımlanmış kriterlere uygun olarak sonuçların ölçülmesi, izlenmesi ve doğrulanması.

Önlem Al: Süreci iyileştirmek için gerekli sonuçları ve önemli değişiklikleri analiz etmek.

Şekil 3.4'te EnYS modeli gösterilmiştir (TSE, 2013) ve ISO 50001 EnYS'nin faydaları aşağıda listelenmiştir (<http-7>):

- Enerji kaynaklarının yönetimi konusunda kılavuzluk eder,
- Enerji kaynaklarının yönetilmesinde şeffaflık sağlamak ve iletişimi kolaylaştırmak,
- En iyi enerji yönetim uygulamalarını teşvik etmek ve enerji yönetim davranışlarını güçlendirmek,
- Enerji-verimli yeni teknolojik uygulamaların değerlendirilmesi ve önceliklendirilmesine yardımcı olmak,
- Tedarik zinciri boyunca enerji verimliliğini teşvik etmek için bir çerçeve oluşturmak,
- Sera gazı emisyonlarını azaltma projeleri için enerji yönetim uygulamalarına olanak sağlamak,
- Çevre, sağlık ve emniyet gibi diğer organizasyonel yönetim sistemleri ile entegrasyona izin vermek.



Şekil 3.4. ISO 50001 Enerji Yönetim Sistem modeli (TSE, 2013)

ISO 50001 kuruluşlara aşağıda verilen gereklilikleri yerine getirmek için bir çerçeve sağlar (McLaughlin, 2015):

- Daha verimli enerji kullanımı için politika geliştirmek,
- Politikayı karşılamak için amaç ve hedef belirlemek,
- Enerji kullanım ve tüketimini daha iyi anlamak ve karar vermek için veri kullanmak,
- Sonuçları ölçmek,
- Politikanın etkinliğini gözden geçirmek,
- Enerji performansını sürekli geliştirmek.

ISO 50001, diğer bütün ISO yönetim sistem standartları gibi herhangi bir organizasyonun büyüklüğü ve faaliyet alanına, özel veya kamu sektörü olup olmamasına ve coğrafi konumuna bakmaksızın uygulanabilmesi için tasarlanmıştır. İşletmeler,

büyükölük ve faaliyet alanı fark etmeksizin enerji tüketimlerini azaltabilir ve enerji performanslarını geliştirebilirler. Bunu daha ileriye götürmek, enerji verimliliğı konusunda işletmelerde üst yönetimin taahhüdü, tüm çalışanların farkındalığı ve faaliyetlerinde doğru kaynakların kullanmasıyla mümkündür. Enerji yönetim sistemi üretim çıktısı, kalite, emniyet, konfor veya diğör organizasyonel gerekliliklerden ödün vermeksizin iş sağığı ve güvenliğı etkinliğini de amaçlar. Enerjiyi etkili yönetmenin işletmelere doğrudan finansal faydalarından bazıları aşağıdaki gibi sıralanabilir (McLaughlin, 2015).

- Enerji tüketim maliyetlerini azaltır,
- Enerji fiyatlarının artmasından daha az etkilenir,
- Üretimin her aşamasında verimliliğı artırır,
- Üretim güvenilirliğı, ürün ve kazançları artırır,
- Ekipman performansını artırır.

3.4.1. Üst yönetimin taahhüdü

Bir enerji yönetim sistemi, üst yönetimin bu konuda taahhüdü olmadan başarılı olamaz. İlk olarak, üst yönetim bir enerji politikası oluşturmalı ve EnYS'nin geliştirilmesi, uygulanması, sürdürölmesi ve sürekli iyileştirilmesi için kaynakları belirlemelidir. İkincisi, üst yönetim EnYS'nin kapsam ve sınırlarını tanımlamalı enerji yönetiminin önemini tüm çalışan ve paydaşlara iletmelidir. Üçüncüsü, üst yönetim bir enerji temsilcisi atamalı ve enerji yönetim ekibinin kurulmasına olanak sağlamalıdır. Yönetim temsilcisi ve enerji ekibi, enerji yönetim faaliyetlerinden sorumlu olacaktır. Yönetimin taahhüdü ve desteğı olmadan, EnYS başarıyla uygulanmaz ve enerji performansında bir iyileşme gerçekleşemez. Üst yönetimin taahhüdü bütün yönetim sistemlerinde olduğı gibi EnYS'de de olmazsa olmaz bir olgudur. Aşağıda üst yönetimin rolü ve sorumlulukları maddelerle özetlenmiştir (Howell, 2014):

- EnYS'nin geliştirilmesi, uygulanması ve sürdürölmesi,
- EnYS ekibi tarafından yazılan ve yayınlanan gerekli dokümanların gözden geçirilmesi ve onaylanması,
- Yönetim temsilcisi ve enerji yönetim ekibini atama,
- EnYS'nin uygulanması için yeterli kaynağın sağlanması,
- EnYS'nin gözden geçirilmesini yönetmek,
- Enerji tasarrufunun önemini duyurmak ve tüm çalışanları bu konuda teşvik etmek,

- Enerji performans göstergelerinin (EPG) uygunluğunu denetlemek ve emin olmak,
- Uzun dönemli planlamalarda enerji konusunu göz önünde bulundurmak,
- Karar verirken enerji performansını göz önünde bulundurmak.

Üst yönetimin aşağıdaki maddeler de dahil, EnYS'nin uygulanması için gerekli tüm kaynakları sağlamayı taahhüt etmelidir. Bu kaynaklar (TSE, 2013);

- İnsan kaynakları,
- Uzmanlık becerileri,
- Teknoloji,
- Finansal kaynakları,

içerir.

3.4.2. Yönetim temsilcisi

Yönetim temsilcisi üst yönetim tarafından enerji ile ilgili tüm konularda tam yetkilendirilmiş ve üst yönetime karşı sorumlu olan kişidir. Yönetim temsilcisinin atanması, EnYS'nin üst yönetim tarafından temsil edilmesi anlamına gelir. Bu da enerji performansının geliştirilmesi için üst yönetimin taahhüdünün bir parçasıdır. Yönetim temsilcisi enerji ve sürdürülebilirlik konusunda bilgiye, tecrübeye ve yönetim becerilerine sahip olmalıdır.

3.4.3. Enerji yöneticisi

Enerji yöneticisi: “enerji yönetim faaliyetlerinin yerine getirilmesinden sorumlu kişi” olarak tanımlanmaktadır (http-15). Havalimanlarında sürdürülebilir bir enerji yönetim sisteminde, enerji yöneticisinin görevleri aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Havalimanı enerji tüketim ve CO_{2e} haritasını oluşturmak,
- Geçmişe ait enerji tüketim verileriyle havalimanı için EPG'leri belirlemek ve enerji referans çizgisini oluşturmak,
- Enerji tasarruf potansiyelini belirlemek,
- Hiçbir yatırım gerektirmeden geri kazanılacak tasarruf potansiyeli ile ilgili en kısa sürede gerekli önlemleri almak, bunları yaparken hizmet kalitesinden ve konfordan ödün vermemeyi garanti altına almak,
- Enerji iyileştirme fırsatlarını belirlemek,
- Enerji etütleri ile enerji verimsiz ekipmanları tespit etmek ve bunlarla ilgili eylem planları oluşturmak,

- Havalimanında enerji etütleri ile terminal ve diğer ilgili binalardaki, bina zarfindan kaynaklı kaçakları tespit etmek ve bunlarla ilgili eylem planları oluşturmak,
- Enerji verimliliği ile ilgili kısa, orta ve uzun vadede yapılacakları belirlemek ve bunları üst yönetime iletmek,
- Enerji performansını sürekli izlemek,
- İyileştirme fırsatlarının mühendislik ve çevresel analizlerini yapmak,
- İyileştirme fırsatlarının ekonomik ve çevresel geri ödeme sürelerini belirlemek ve en iyi senaryoların eylem planlarını oluşturmak,
- Havalimanında kullanılabilecek yenilenebilir enerji potansiyelini belirlemek bunların ekonomik ve çevresel analizlerini gerçekleştirmek,
- Enerji ile ilgili yapılan tüm faaliyetlerin kayıt altına alınmasını sağlamak,
- EnYS ile ilgili yapılan tüm çalışmalara enerji ekibini dahil etmek ve yukarıda yazılan tüm maddelerle ilgili enerji yönetim ekibinin önerilerini dikkate almak,
- Enerji yönetim ekibinin motivasyonunu arttırmak,
- Enerji ile ilgili yapılacak finansal yatırımlar hakkında rapor oluşturmak ve bunu üst yönetime iletmek.

3.4.4. Enerji ekibi

EnYS faaliyetlerinin etkin bir şekilde uygulanmasından ve enerji performansının iyileştirilmesinden sorumlu olan kişilerdir. Enerji yönetim ekibinin rolü enerji performansını izlemek, geliştirmek ve bunu üst yönetime iletmektir. Havalimanlarında enerji yönetim ekibi oluştururken minimum gereklilikler dikkate alınarak oluşturulmalıdır. Enerji yönetim ekibinde görev alacak çalışanların sayısı havalimanının büyüklüğü ve enerji yapısı dikkate alınarak oluşturulmalıdır. Enerji performansının sürekli iyileştirilmesi amacıyla kurulacak enerji yönetim ekibinde çalışanların EnYS içindeki sorumluluklarına göre gerekli bilgi ve tecrübeye sahip olmaları, ilgili konuda eğitilmiş ve sistem içinde gönüllü çalışmaları gelişmiş bir enerji performansı için önemlidir. Enerji yönetim ekibinde yer alabilen bazı birimler aşağıdaki listelenmiştir.

- Mühendislik,
- Havalimanı bakım/operasyon,
- Satın Alma,
- Eğitim,
- Finans,

- İnsan kaynakları,
- Yasal düzenlemelere uyumu izlemek için hukuk departmanı,
- Araştırma ve geliştirme.

ISO 50001 enerji yönetim ekibi ve sayısı ile ilgili detaylı bilgi vermez. Enerji yönetim ekibi, kuruluşların organizasyon yapıları ve faaliyetleri göz önünde bulundurularak oluşturulmalıdır. Havalimanları özelinde düşünüldüğünde minimum mühendislik, havalimanı bakım/operasyon, satın alma, eğitim ve hukuk departmanlarından oluşması şu açılardan önemlidir;

Mühendislik: Havalimanında enerji ile ilgili tüm mühendislik (ekonomik, çevresel vb.) analizlerinin yapılması, enerji etütlerinin planlanması, yapılması ve yorumlanması, enerji performansının sürekli takip edilmesi, enerji tüketen ekipmanlarının bakım planlarının oluşturulması ve araştırma geliştirme faaliyetlerinin yürütülmesi açısından önemlidir.

Havalimanı Bakım/Operasyon: Enerji tüketen sistemlerde meydana gelebilecek arızalara ve düzensizliklere anında müdahale etmeleri, planlanan düzeltici ve önleyici bakımların gerçekleştirilmesi açısından önemlidir.

Satın Alma: Piyasada mevcut enerji verimli ekipmanların takibi, satın alınması ile ilgili proformaların oluşturulması ve satın alma işleminin takibi açısından önemlidir.

Eğitim: Havalimanlarında hiçbir finansal yatırım yapmadan enerjide tasarruf etmek ancak tüm çalışanların bu konuda gerekli farkındalığa sahip olmasıyla mümkündür. Bu farkındalığın oluşması ve tüm çalışanların gelişmiş bir enerji performansının faydaları hakkında bilgi sahibi olması gerekir. Enerji verimliliği ile ilgili kurumsal kültürün oluşması açısından tüm çalışanların gerekli konularda eğitim almaları sağlanmalıdır. Havalimanında çalışan tüm personelin EnYS ile ilgili eğitim programlarının oluşturulması, gerekli eğitimlerin verilmesi ve bunların kayıt altına alınması, enerji ekibinin gerekli ISO 50001 eğitimlerinin takibi açısından önemlidir.

Hukuk: Havalimanlarında enerji ve çevre ile ilgili yasal mevzuatların takibi açısından önemlidir.

3.4.5. Enerji politikası

Enerji politikası kuruluşun, enerji performansının iyileştirilmesini taahhüt etmelidir. Enerji politikası üst yönetim tarafından tanımlanmalı ve bu politika aşağıdaki taahhütleri içermelidir (TSE, 2013);

- Enerji performansının sürekli iyileştirilmesi,
 - Amaç ve hedeflere ulaşmak için gerekli tüm bilgi ve kaynakların kullanılması,
 - Enerji kullanımı, tüketimi ve verimliliği ile ilgili yasal ve diğer şartlara uyacağı,
- ile ilgili taahhütler içermelidir.

Enerji politikası üst yönetim tarafından onaylanır. Enerji politikası üst yönetimin enerji verimliliği ile ilgili faaliyetleri ve EnYS'ye desteğinin ve bu konudaki taahhüdünün yazılı bir belgesi olması açısından önemlidir.

3.4.6. Örnek bir enerji politikası

Gösterdiğimiz faaliyet ve hizmetler süresince sürdürülebilir kalkınma ilkelerini temel alarak enerji performansını sürekli iyileştirmeyi taahhüt ederiz. Bu taahhüdü gerçekleştirirken;

- Mevcut enerji kaynaklarını hizmet kalitesinden ve konfordan ödün vermeksizin en verimli şekilde kullanmak,
- Enerji ile ilgili tüm faaliyetlerde sürdürülebilir kalkınma ilkelerini göz önünde bulundurmak,
- Ulusal ve uluslararası mevzuat, düzenleme ve yasalara uymak,
- Enerji tüketimini yakından izlemek, amaç ve hedeflerin gerçekleştirilmesi için gerekli tüm bilgi ve kaynakları sağlamak,
- Enerji yönetim sisteminin diğer yönetim sistemlerine entegrasyonunu sağlamak,
- Enerji ile ilgili yatırımlarda, satın alınacak ürün ve ekipman seçiminde enerji verimli ve çevreci seçimler yapmak,
- Amaç ve hedeflerimizi sürekli izlemek, değerlendirmek ve gerektiğinde revize etmek,
- EnYS ile ilgili kurumsal kültürün oluşması için gerekli kaynakları sağlamak,
- Tüm çalışanların EnYS ile ilgili katkı, girişim ve fikirlerini değerlendirmek,
- Gelecek üç yıl içinde fosil yakıt kaynaklı enerji tüketimini %20 azaltmak,
- EnYS'nin etkin bir şekilde uygulanması, sürekli geliştirilmesi ve tam olarak anlaşıldığını garanti altına almak için tüm çalışanlara gerekli eğitimleri sağlamak.

3.5. Enerji Planlaması

Enerji planlama süreci, havalimanının bağlı olduğu ulusal ve uluslararası yasal ve diğer şartlar göz önünde bulundurularak oluşturulmalıdır. Enerji planlaması ile ilgili tüm

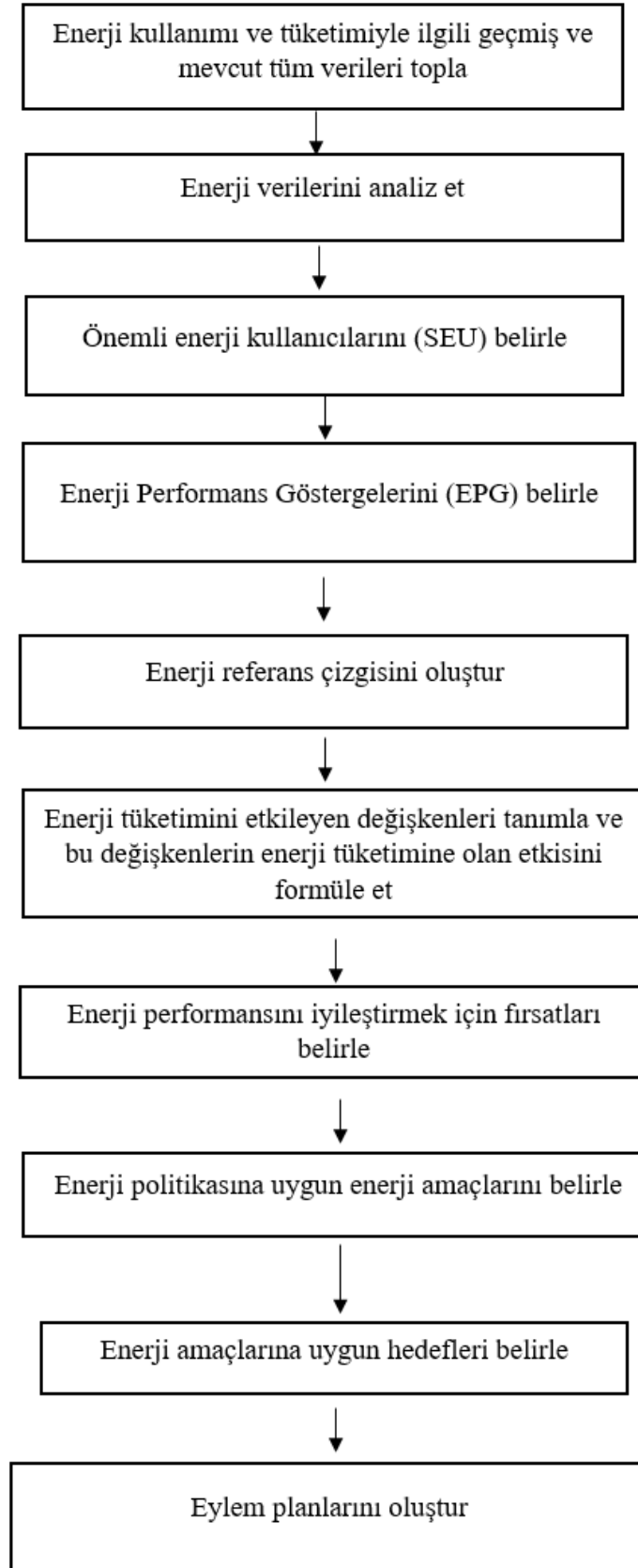
veriler toplanmalı ve yararlı sonuçlar elde edilinceye kadar analiz edilmelidir (Howell, 2014). Enerji planlama süreciyle ilgili yapılması gerekenler Şekil 3.5'te gösterilen enerji planlama akış şeması takip edilerek yapılabilir. Bu akış şeması oluşturulurken enerji planlama süreciyle ilgili yapılması gerekenler sıralı bir şekilde verilmiştir. Bu tezde EnYS'de her bir aşama bu şekilde akış şemalarıyla modellenmiş ve detaylı açıklanmıştır.

Enerji planlamasının amacı planlama çıktılarının elde edilmesidir. Bu çıktılar (TSE, 2013);

- Enerji referans çizgisi,
- Enerji performans göstergeleri,
- Amaçlar,
- Hedefler,
- Eylem planlarıdır.

Enerji kullanımı ve tüketimiyle ilgili geçmiş ve mevcut tüm verilerin toplanması ile havalimanında kullanılan enerji kaynakları ve bu kaynakların hangi ekipmanlar ve süreçlerde kullanıldığı belirlenmelidir. Özellikle yüksek ve yoğun enerji tüketim noktalarının belirlenmesi, bu noktalardaki tasarruf potansiyeli ve iyileştirme fırsatlarının tanımlanması açısından önem arz etmektedir.

Enerji verilerinin analiz edilmesi ile öncelikle enerji haritaları oluşturulmalı ve önemli enerji kullanıcıları (SEU) belirlenmelidir. Havalimanlarında nerede hangi amaçla ne kadar enerji tüketildiği tek bir birim (kWh, kal. vb.) ile ifade edilmelidir. Önemli enerji kullanıcıları belirlenirken toplam enerji tüketiminde ki payı en yüksek olan kullanıcılar seçilmelidir.



Şekil 3.5. Enerji planlama modeli

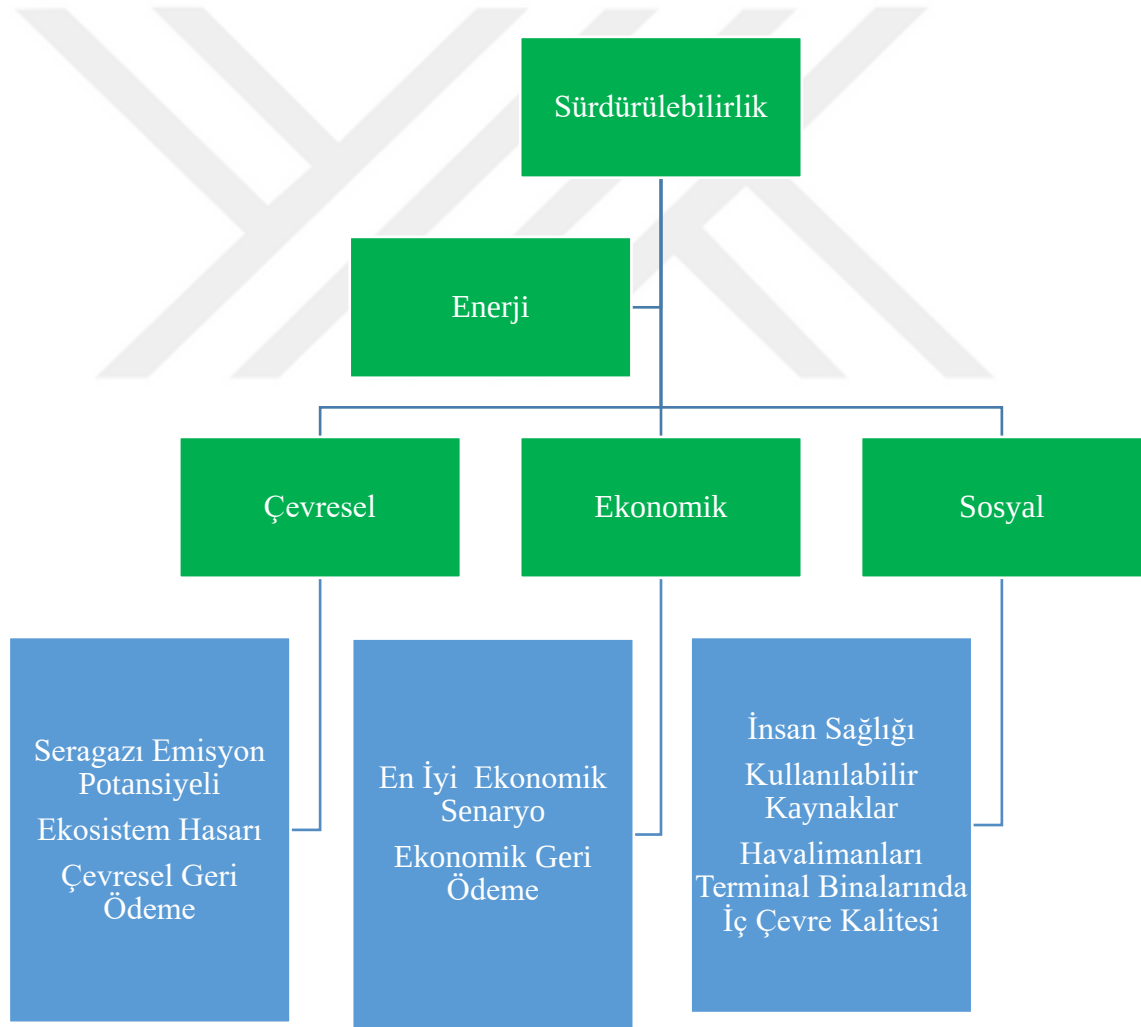
Enerji performans göstergeleri (EPG), geçmiş enerji tüketim verileri ve havalimanındaki diğer (yolcu sayısı, uçuş sayısı, HDD, CDD, yük vb.) değişkenler yardımıyla yapılan istatistiksel analizler sonucunda belirlenir. Toplam enerji tüketimiyle değişkenler arasında yapılacak regresyon analizleri sonucunda elde edilecek denklem ile hem EPG'ler belirlenebilir hem de gelecek ile ilgili enerji tüketim tahminleri yapılabilir. İstatistiksel analizlerde dikkat edilmesi gereken en önemli konu enerji tüketimini etkileyen değişkenlerin yüksek güvenilirlikle belirlenmesidir. Analiz çıktılarının en önemli göstergeleri düzeltilmiş R^2 değeri ile p değeridir. Düzeltilmiş R^2 değeri enerji tüketiminin değişkenler ile ilişkisinin derecesini gösterir, bu değer 1'e ne kadar yakın olursa enerji tüketimi ile değişkenler arasındaki ilişki o kadar güçlü olur. Örneğin düzeltilmiş R^2 değerinin 0.9 bulunması seçilen değişkenlerin enerji tüketimini %90 oranında açıkladığı anlamına gelir. Ayrıca regresyon analizlerinde p değeri seçilen modelde ilgili değişkenler ile enerji tüketimi arasındaki ilişkinin anlamlı olup olmadığı açısından önemlidir. Bu değer genellikle 0.05'ten küçük olması istenir. Fakat 0.05 ile 0.1 arasında ki p değerlerinin de kabul edilebilir olduğu unutulmamalıdır. EPG'leri belirlemedeki en önemli amaçlardan biri de enerji performansının sürekli izlenmesi ve ölçülmesidir.

Geçmiş ve mevcut enerji verileriyle havalimanının yapısına uygun enerji referans çizgisi veya çizgileri oluşturulmalıdır. Enerji referans çizgisi her bir kaynak için veya enerji tüketimini etkileyen her bir değişken için oluşturulabilir. Belirlenen amaç ve hedefler doğrultusunda oluşturulan eylem planları uygulandıktan sonra enerji performansını takip etme ve geçmiş dönemlerle kıyaslanması açısından enerji referans çizgileri çok kullanışlı araçlardır. Uygulanan eylem planlarında yapılan mühendislik hesaplamalarıyla belirlen tasarrufun gerçekte sağlanıp sağlanmadığı izlenmelidir. Teorik olarak hesaplanan tasarruf oranı gerçekleşmemiş ise nedenleri araştırılmalı ve ilgili önlemler mutlaka alınmalıdır.

Enerji performansını iyileştirmek için fırsatların belirlenmesi yapılacak analizler sonucu ortaya çıkacaktır. Öncelikle toplam enerji tüketimi ve bunu etkileyen değişkenler arasındaki ilişki regresyon analiziyle belirlenmelidir. Ayrıca yapılacak detaylı enerji etütleri ile enerji verimsiz ekipman ve noktaların tespitiyle de fırsatlar belirlenebilir. Yapılacak analizler sonucunda fazla ve gereksiz enerji tüketimi, enerji kaçak, kayıp ve verimsiz noktalar tespit edilebilir. Bu kayıpların geri kazanılması ile ilgili eylem planları

oluşturulurken ekonomik ve çevresel hesaplamalarla parasal ve çevresel geri ödeme süreleri belirlenir.

Enerji yönetiminde temel amaç enerji performansının sürekli iyileştirilmesidir. Farklı olarak bu tezde havalimanı için oluşturulan eylem planlarında çevresel performansın da sürekli iyileştirilmesi hedeflenmiş ve yapılacak enerji yatırımlarında en çevreci senaryolar YDD yöntemiyle değerlendirilmiştir. Bu tezde yapılan tüm analizler için enerji tüketimiyle ilgili sürdürülebilirliğin Şekil 3.6’da gösterilen çevresel, ekonomik ve sosyal boyutu göz önünde bulundurulmuştur. Bu boyutlarla ilgili Şekil 3.6’da belirtilen tüm alt göstergeler ayrıca değerlendirilmiş ve eylem planları oluşturulurken dikkate alınmıştır.



Şekil 3.6. Eylem planlarında dikkate alınan maddeler

Belirlenen amaç ve hedefler havalimanının enerji politikasına uygun olmakla birlikte hedefler (Rietbergen ve Blok, 2010);

- Spesifik,
- Ölçülebilir,
- Uygun,
- Gerçekçi
- Zamanlı olmalıdır.

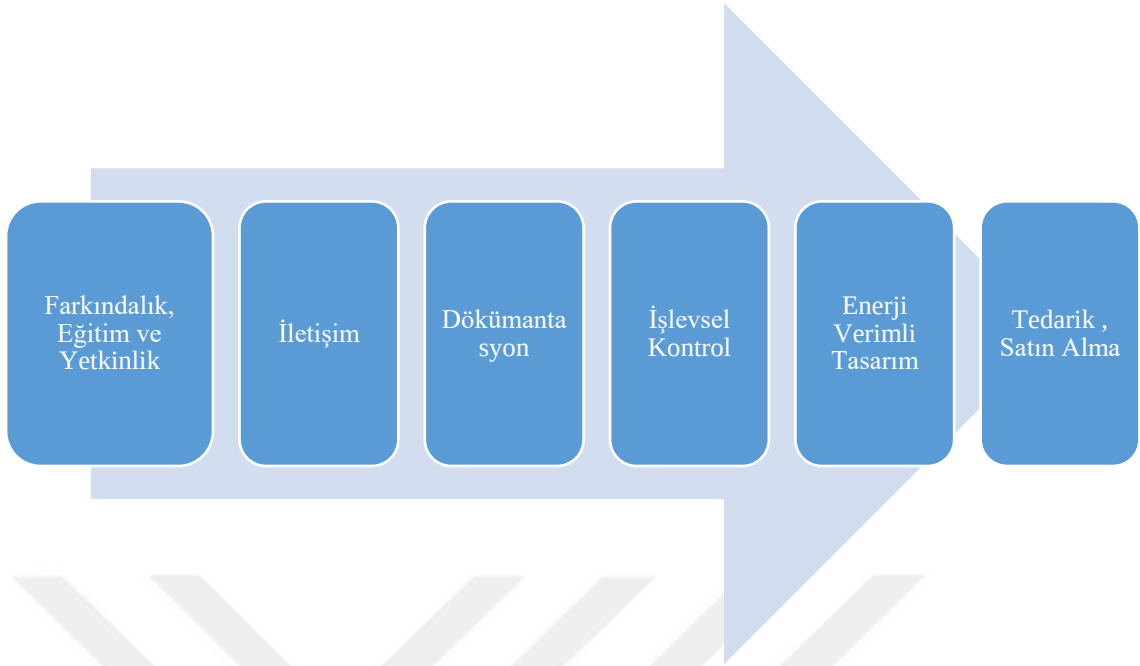
Amaçlar doğrultusunda belirlenen hedefler havalimanına uygulanabilir olmalıdır. Enerji yönetiminde amaç enerji performansının sürekli iyileştirilmesidir. Örneğin havalimanında 2018 sonuna kadar ve 2016 yılı baz alınarak enerji tüketiminin %20 azaltılması bir amaçtır. Bu amacı gerçekleştirmek için; doğal gaz tüketimini %20 azaltmak ve elektrik tüketimini %20 azaltmak ise birer hedeftir. Bu hedeflere ulaşabilmek için yapılan ön ve detay enerji etütlerine bağlı belirlenen iyileştirme fırsatları göz önünde bulundurularak eylem planları oluşturulur ve uygulanır.

Sürdürülebilir bir EnYS'de eylem planları uygulanırken öncelik sırası dikkate alınmalıdır. Bu çalışmada eylem planları önceliklendirilirken aşağıdaki sıralamanın takip edilmesi önerilmektedir:

- Hiçbir yatırım gerektirmeyen planlar,
- Ulusal ve uluslararası yasal gereklilikler,
- Kolay ve kısa sürede uygulanabilirlik,
- Düşük maliyet ile yüksek enerji performansı,
- Yüksek çevresel performans,
- Ekonomik ve çevresel geri ödeme süreleri,
- Önemli enerji kullanıcıları ile ilgili planlar,
- Varsa yenilenebilir enerji ile ilgili planlar.

3.6. Uygula

Uygula sürecinde, enerji planlama aşamasında belirlenen eylem planları ve diğer çıktılar kullanılır. Şekil 3.7'de uygulama sürecinin aşamaları gösterilmiştir.



Şekil 3.7. Uygula (TSE, 2013)

3.6.1. Farkındalık, eğitim ve yetkinlik

Gelişmiş bir enerji performansı için tüm çalışanların EnYS'nin, enerji politikasının ve EnYS içindeki görev ve sorumluluklarının farkında olmalıdır. Bu farkındalığı sağlamak için tüm çalışanların havalimanında EnYS'nin varlığı ve gelişmiş enerji performansının faydaları ile ilgili konularda bilinçlendirilmelidir. Havalimanı çalışanları, konu ile ilgili hazırlanmış broşürler, eğitim dokümanları, eğitim videoları vb. yöntemlerle bilinçlendirilebilir. Ayrıca havalimanı çalışanlarının almaları gereken zorunlu eğitimlere EnYS ile ilgili başlangıç eğitimlerinin eklenmesi ile farkındalık konusu garanti altına alınabilir. Enerji performansını etkileyecek tüm çalışanların ilgili konularda deneyimli, bilgili ve yetkin olması EnYS'nin uygulanması ve enerji performansının sürekli iyileştirilmesi için çok önemli olgulardır. Enerji yönetim birimi ve enerji performansını etkileyen çalışanların eğitim ihtiyaçlarının belirlenmesi ve ilgili eğitimleri almaları sağlanmalıdır. Özellikle önemli enerji kullanıcıları ile ilgili çalışanların bu alanda yetkin olması enerji performansının sürekli iyileştirilmesi açısından olmazsa olmaz olgulardan biridir.

3.6.2. İletişim

İletişim, uygulama aşamasının en önemli süreçlerinden biridir. EnYS ile ilgili iç iletişimde hangi yöntemlerin kullanılacağı belirlenmelidir. Tüm çalışanların EnYS ile ilgili yapılan çalışmalardan haberdar olması iç iletişim ile mümkündür. İç iletişim ile ilgili havalimanı yapısı ve büyüklüğü dikkate alınmalıdır. Havalimanlarında iç iletişimde aşağıda verilen yöntemler kullanılabilir (Howell, 2014). Ayrıca ihtiyaç doğrultusunda iç iletişimi sağlama amaçlı farklı yöntemler seçilebilir ve geliştirilebilir.

- E-Posta,
- Broşür,
- Dergi,
- İnternet,
- Toplantı,
- Seminer,
- Video,
- Reklam panoları vb.

Özellikle tüm çalışanları EnYS ile ilgili fikirlerini iletmesini teşvik etmek enerji performansının geliştirilmesine önemli katkı sağlayabilir. Tüm çalışanların EnYS ile ilgili görüş ve önerilerini iletecek yöntemler havalimanı yapısı ve büyüklüğü dikkate alınarak belirlenmelidir. Özellikle standart bir raporlama formunun oluşturulması ve bunun teşvik edilmesi havalimanlarında bu kültürün oluşmasına katkı sağlar.

EnYS'nin havalimanı enerji tedarikçileri, paydaşlar ve havalimanında faaliyet gösteren çeşitli kuruluşlara iletilmesi ile ilgili ihtiyaç ve yöntem belirlenmelidir. Havalimanı enerji politikası ve enerji performansının dış iletişime açık olması kurumsal imaj açısından önemlidir. Enerji performansı ve gerçekleştirilen eylem planları müşteriler, paydaşlar ve ilgili taraflarla paylaşılma kararı alınmışsa; enerji performansı ile ilgili yıllık raporlar, enerji tasarruf projeleri ve enerji maliyetleri kurumsal internet adreslerinden veya faaliyet raporları şeklinde dış iletişime açık hale getirilebilir.

3.6.3. Dokümantasyon

Etkili bir EnYS için enerji yönetim faaliyetlerinin kayıt altına alınması ve saklanması gerekir. ISO 50001 EnYS'ye göre aşağıdaki maddelerin dokümente edilmesi bir gerekliliktir (Howell, 2014; TSE, 2013):

- Kapsam ve sınırlar,
- Enerji politikası,
- Enerji planlama süreci,
- Enerji gözden geçirme için kriter ve yöntemler,
- EPG'lerin belirlenmesi ve güncellenmesi için yöntem,
- Enerji amaç ve hedefleri,
- Eylem planları,
- EnYS'nin temel elemanları ve bunların etkileşimlerinin açıklanması,
- Doküman kontrolü,
- Enerji satın alma şartnameleri,
- İç tetkikler için tetkik planları ve programları,
- Kuruluş tarafından gerekli olduğu belirlenen diğer dokümanlar.

ISO 50001'e göre aşağıdaki kayıtlar saklanmalıdır (TSE, 2013):

- Enerji gözden geçirme,
- Enerji performansının iyileştirilmesi için fırsatlar,
- Enerji referans çizgileri,
- Yetkinlik, eğitim ve deneyim kayıtları,
- Yetkinlik ihtiyaçlarının karşılanması için verilen eğitimler ve diğer faaliyetler,
- Dış iletişim kararı,
- Tasarım faaliyetlerinin sonuçları,
- Anahtar faaliyetlerin izleme ve ölçme sonuçları,
- Anahtar faaliyetlerin izlenmesi ve ölçülmesinde kullanılan ekipmanların kalibrasyon kayıtları,
- Enerji performansında meydana gelen önemli sapmalar,
- Yasal ve diğer gerekliliklere uygunluğun değerlendirilmesi ile ilgili kayıtlar,
- İç tetkik sonuçlarının kayıtları,
- Düzeltici ve önleyici faaliyet kayıtları,
- Yönetimin gözden geçirilmesi.

3.6.4. İşlevsel kontrol

Önemli enerji kullanıcıları, sistem ve ekipmanların tasarım parametrelerini göz önünde bulundurarak işletme talimatlarının hazırlanması ve uygulanması enerji

performansını önemli ölçüde etkiler. Bunların bakımlarının düzenli aralıklarla yapılması, enerji tüketimlerinin sürekli izlenmesi ve gerekli görüldüğünde önleyici bakımlarının gerçekleştirilmesi gerekir. Önemli enerji kullanıcıları, sistem ve ekipmanlarla ilgili bakım prosedürleri ve periyotları oluşturulmalı, bakım faaliyetleri belirlenen aralıklarla gerçekleştirilmelidir.

3.6.5. Enerji verimli tasarım

Yeni tesislerin yapılması veya mevcut tesislerin yenilenmesi aşamasında havalimanı enerji politikası ve enerji performansı göz önünde bulundurularak enerji verimli tasarım seçilmelidir. Bunun yanı sıra sürdürülebilir enerji yönetiminde enerji verimli tasarımlarda çevresel kriterlerde göz önünde bulundurulmalıdır. Yeni tesislerin yapılması veya mevcut tesislerin yenilenmesi aşamasında sürdürülebilirliğin çevresel, ekonomik ve sosyal boyutları göz önüne alınarak değerlendirilmesi bu tezde önerilen bir yöntemdir. Bu tezde oluşturulan tüm aksiyon planları Şekil 3.6'da gösterilen sürdürülebilirlik boyutları dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir. Tasarım sürecinde enerji ve çevre performansı dikkate alınarak eylem planları oluşturulmalıdır. Ömür Maliyet Değerlendirmesi (LCC – Life Cycle Cost) ve YDD yöntemi kullanılarak bu sürecin ekonomik ve çevresel analizlerinin yapılması ile en iyi seçenek belirlenebilir.

3.6.6. Tedarik, satın alma

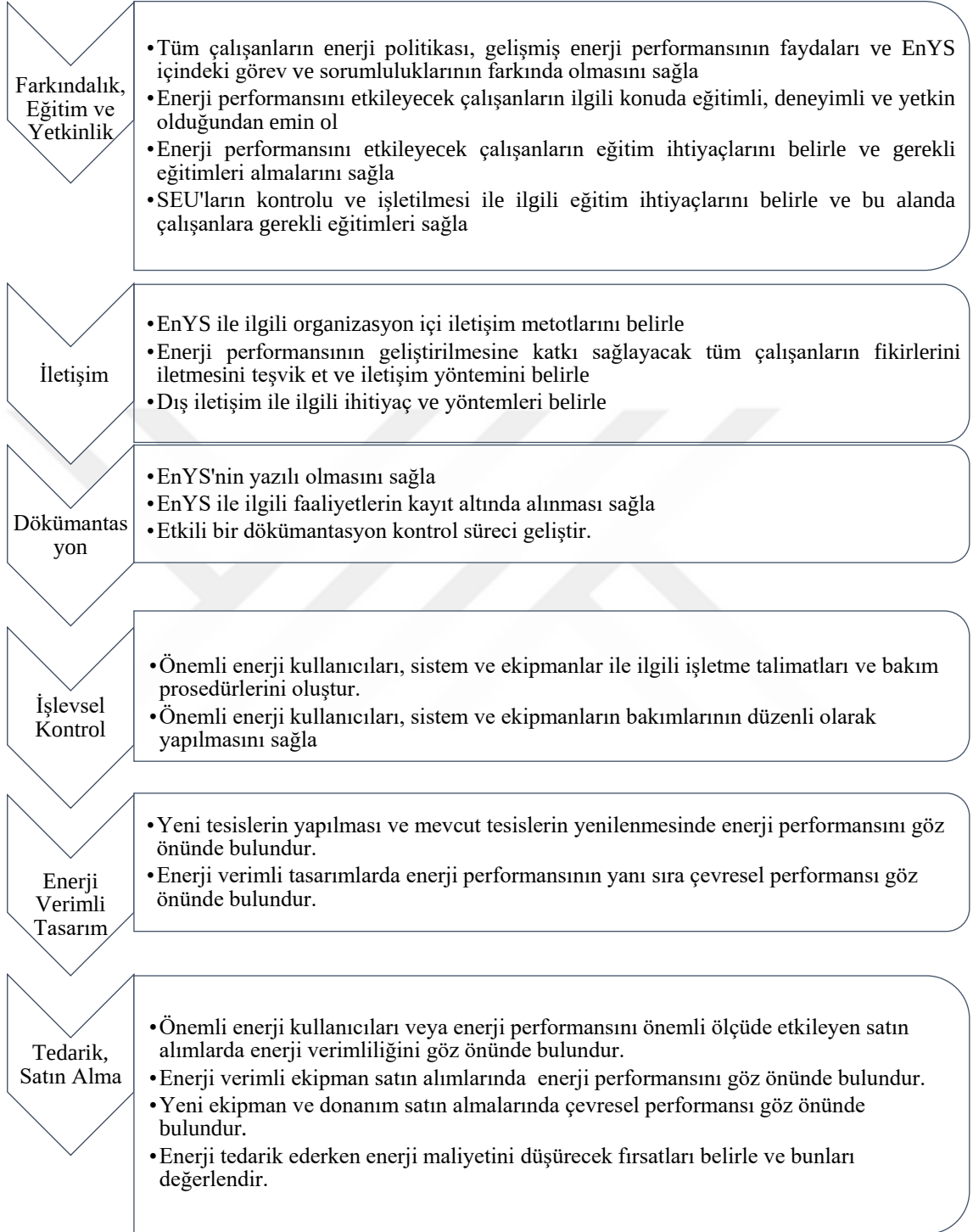
Önemli enerji kullandırıcıları veya enerji performansını etkileyecek enerji, hizmet, teçhizat ve ekipman satın almalarında tedarikçilere tüm bu satın almaların enerji performansı temelinde değerlendirildiği bildirilmelidir. Ayrıca bu satın almalarla ilgili fiyat, performans ve verimlilik kriterleri satın alma birimi tarafından araştırılıp satın alma şartnamelerinde belirtilmelidir. Enerji ile ilgili tüm satın almalar enerji performansını iyileştirme fırsatı olarak görülmeli, bu temelde değerlendirilmeli ve gerçekleştirilmelidir. Enerji verimli ekipman satın alımlarında, ekipmanların kullanım ömrü boyunca enerji performansı ve çevresel etkileri değerlendirilmeli, satın alma şartnameleri ekipman ömrü de göz önünde bulundurularak oluşturulmalıdır. Enerji tedarik ederken maliyetleri düşürecek ve çevresel etkileri azaltacak fırsatların da değerlendirilmesi önemlidir. Enerji temininde göz önünde bulundurulması gereken kriterler aşağıda özetlenmiştir (Eccleston, March ve Cohen, 2012).

- Enerji kalitesi ve ulaşılabilirlik,

- Kapasite ve maliyet,
- Çevresel etki,
- Yenilenebilirlik,
- Kuruluş tarafından uygun görülen diğer parametreler,

Tüm süreçler ve adımları Şekil 3.8’de belirtilmiştir. Her aşama enerji ve sürdürülebilirlik performansını iyileştirme fırsatı olarak görülmeli ve yönetilmelidir.

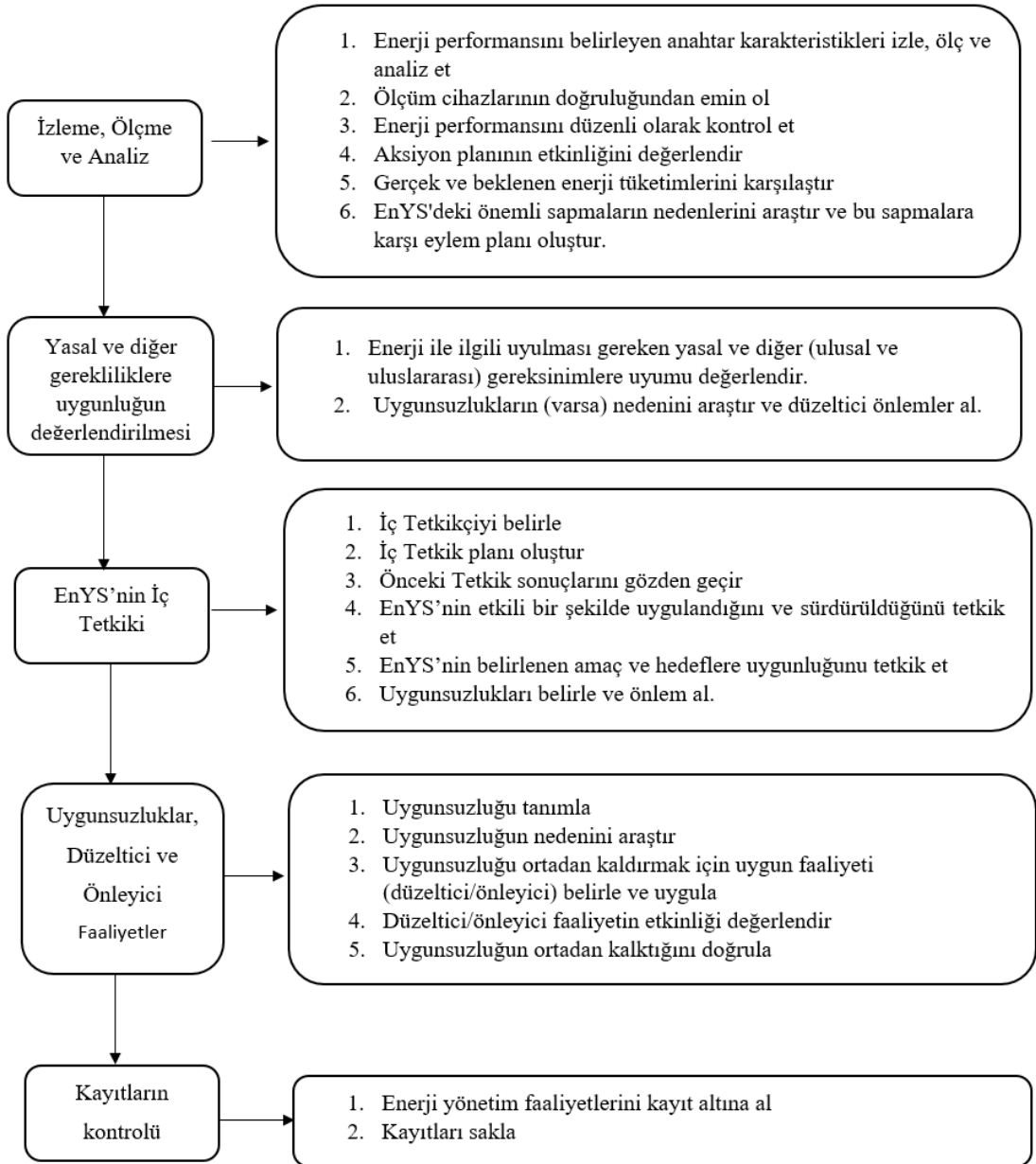




Şekil 3.8. Uygula süreç modeli

3.7. Kontrol Et

Enerji yönetim sisteminde kontrol et süreci izleme ölçme ve analiz, yasal gerekliliklere uyumun değerlendirilmesi, EnYS'nin iç tetkiki, uygunsuzlukların belirlenmesi, düzeltici ve önleyici faaliyetler ve kayıtların kontrolü aşamalarından oluşmaktadır. Her bir aşamada dikkate alınması gerekenler Şekil 3.9'da gösterilmiş ve detaylı anlatılmıştır.



Şekil 3.9. Kontrol et süreç modeli

3.7.1. İzleme, ölçme ve analiz

Enerji performansını belirleyen anahtar karakteristiklerin düzenli aralıklarla izlenmesi, ölçülmesi, analiz edilmesi ve kayıt altına alınması standardın bir gerekliliğidir. Bu karakteristikler minimum şunları içermelidir (Thumann ve Mehta, 2013):

- Önemli enerji kullanımları ve enerji gözden geçirme çıktıları,
- Önemli enerji kullanıcıları ve ilgili değişkenler,
- Enerji performans göstergeleri,
- Amaç ve hedeflere ulaşılması için belirlenen eylem planlarının etkinliği,
- Gerçek ve beklenen enerji tüketimleri.

Enerji tüketiminin sürekli izlenmesi, EPG ve SEU'ların düzenli kontrolü EnYS'nin etkinliğinin belirlenmesi açısından önemli araçlardır. Önceki aşamalarda yapılan faaliyetlerin tümünün etkinliği bu aşamada kontrol edilir. Enerji tüketimini ölçen cihaz ve sayaçların doğruluğundan emin olmak, enerji tüketimi ve performansının izlenmesi açısından önemli bir parametredir. Ölçüm cihazları ve sayaçlarının kalibrasyon ihtiyacı ve aralığı belirlenmeli gerekli ise kalibre edilmelidir. Ayrıca detay enerji etütleri yapmak için kullanılan enerji verimliliği ölçüm cihazlarının kalibre edilmiş olması ölçüm doğruluğu açısından önemlidir. Bu cihazların kalibrasyon protokolleri bulunmalı ve üretici firmanın belirlediği aralıklarda kalibrasyonları yapılmalıdır. Kalibrasyonlarla ilgili tüm dokümanlar kayıt altına alınmalı ve saklanmalıdır.

EPG'lerin düzenli olarak kontrol edilmeleri enerji performansındaki sapmaların belirlenmesi ve bunlarla ilgili önlemlerin en kısa zamanda alınması gerekir. EPG'ler ile ilgili kontroller enerji tüketimi ölçüm periyoduyla ilgilidir. Ölçüm periyotlarının kısa olması bu kontrollerin yapılma sıklığını artırır ve EPG'lerdeki sapmalara karşı daha hızlı önlem alınmasını sağlar. SEU'ların ve bunlarla ilgili değişkenlerin kontrolünde dikkat edilmesi gerekenler aşağıdaki gibidir (McLaughlin, 2015):

- Üretici firmanın belirlediği limitlerde çalıştırıldığı,
- Verimli çalışıp çalışmadığı,
- SEU'ların çalışmasından sorumlu kişilerin eğitim ve yetkinliği,
- Bakım kayıtları ve bakım gereklilikleri kontrol edilmelidir.

Enerji planlama sürecinde amaç ve hedeflere ulaşmak için belirlenen eylem planlarının etkinliği bu aşamada kontrol edilmelidir. Eylem planları oluşturulurken

hedeflenen enerji tasarruflarının, eylem planları uygulandıktan sonra gerçekleştiğinden emin olunmalıdır. Eylem planları oluşturulurken yapılan mühendislik analizleri ile hesaplanan enerji tasarrufları elde edilmiş ise belirlenen hedefe ulaşılmıştır. Fakat eylem planı uygulandıktan sonra enerji performansında bir iyileşme gerçekleşmemişse nedenleri araştırılmalı ve bunlarla ilgili gerekli önlemler alınmalıdır.

Regresyon analiziyle elde edilen **beklenen enerji tüketimi (standart enerji tüketimi)**, gerçek enerji tüketimi ile karşılaştırılarak yorumlanır. Buradan elde edilen sonuçlarla enerji tasarruf oranı ve miktarı belirlenebilir. Gerçek enerji tüketimi ile beklenen enerji tüketimi arasındaki fark negatif olması enerjide tasarruf edildiği anlamına gelir ve aradaki fark tasarruf edilen miktarı ifade eder. Beklenen enerji tüketimi ile gerçek enerji tüketimi arasında önemli sapmalar ve istenmeyen sonuçlar var ise bunların kök sebepleri araştırılmalı ve gerekli önlemler alınmalıdır.

3.7.2. Yasal ve diğer gerekliliklere uygunluğun değerlendirilmesi

Enerji birimi, havalimanında enerji ile ilgili uyulması gereken yasal ve diğer gereksinimleri periyodik olarak değerlendirmelidir. Herhangi bir sapmanın nedeni analiz edilmeli ve düzeltici önlemler alınmalıdır. Yapılan değerlendirmeler yönetim temsilcisine iletilmeli, yönetimin gözden geçirilmesinde bir girdi olarak kullanılmalı, kayıt altına alınmalı ve bu kayıtlar saklanmalıdır (Eccleston, March ve Cohen, 2012).

3.7.3. EnYS'nin iç tetkiki

İç tetkik, EnYS'nin belirlenen amaç ve hedeflere uygunluğunu, etkili bir şekilde uygulandığını ve sürdürüldüğünü belirlemek için mevcut durumun objektif olarak değerlendirilmesi amacıyla kullanılan bir süreçtir. İç tetkik süreci sistematik, bağımsız ve tarafsız olmalıdır (TSE, 2013). İç tetkikçi enerji yönetim biriminden olabileceği gibi yetkin dış kaynaklar tarafından da yapılabilir. Burada dikkat edilmesi gereken en önemli konu iç tetkikçinin bu konuda yetkin olmasıdır. İç tetkikin amaçları; EnYS'nin sürdürülmesi, farkındalık yaratmak ve planlama ile uygulama arasındaki farkın belirlenmesidir. İç tetkik ihtiyaçlar ve enerji yapısı dikkate alınarak minimum 12 ayda bir yapılmalıdır. İç tetkik yapılmadan bir iç tetkik planı ve takvimi oluşturulmalı ve sistematik olarak uygulanmalıdır. Daha önce yapılmış tetkikler varsa bunların çıktıları dikkate alınmalıdır. İç tetkik sürecinde belirlenen uygunsuzlukların sebebi araştırılmalı ve gerekli düzeltici önlemler alınmalıdır. İç tetkik sonuçları kayıt altına alınmalı ve üst yönetime raporlanmalıdır.

3.7.4. Uygunsuzluklar, düzeltici ve önleyici faaliyetler

Enerji yönetim sisteminde gerek mevcut gerekse potansiyel uygunsuzlukların belirlenmesi ve bunlarla ilgili düzeltici ve önleyici faaliyetlerin uygulanması bir gerekliliktir. Mevcut bir uygunsuzluk, EnYS’de herhangi bir gereksinimin karşılanmadığı durumdur. Potansiyel uygunsuzluk ise, önlem alınmazsa gelecekte uygunsuzluğun oluşacağı durumdur. Uygunsuzluk tespit edildikten sonra, uygunsuzluğun türü (minör veya majör) ve enerji performansına etkisi belirlenmelidir (Gopalakrishnan vd., 2014).

Minör Uygunsuzluk: EnYS’nin uygulanmasına engel olmayan standardın şartlarından birindeki sapma.

Majör Uygunsuzluk: EnYS’nin, standardın gerekliliklerini karşılama yeteneğinin olmaması veya sistemin tamamen çökmesi olarak tanımlanabilir.

Uygunsuzluk tespit edildikten sonra, uygunsuzluğun kök nedeni araştırılmalı ve nedeni belirlenmelidir. Uygunsuzluğu ortadan kaldırmak için bir eylem planı (düzeltici/önleyici faaliyet) hazırlanmalı, uygulanmalı ve kayıt altına alınmalıdır. Eylem planı uygulandıktan sonra eylem planının etkinliği değerlendirilmeli ve uygunsuzluğun ortadan kalktığı doğrulanmalıdır.

Düzeltilici Faaliyet: EnYS’de mevcut bir uygunsuzluğun nedenini ortadan kaldırmak olarak tanımlanabilir.

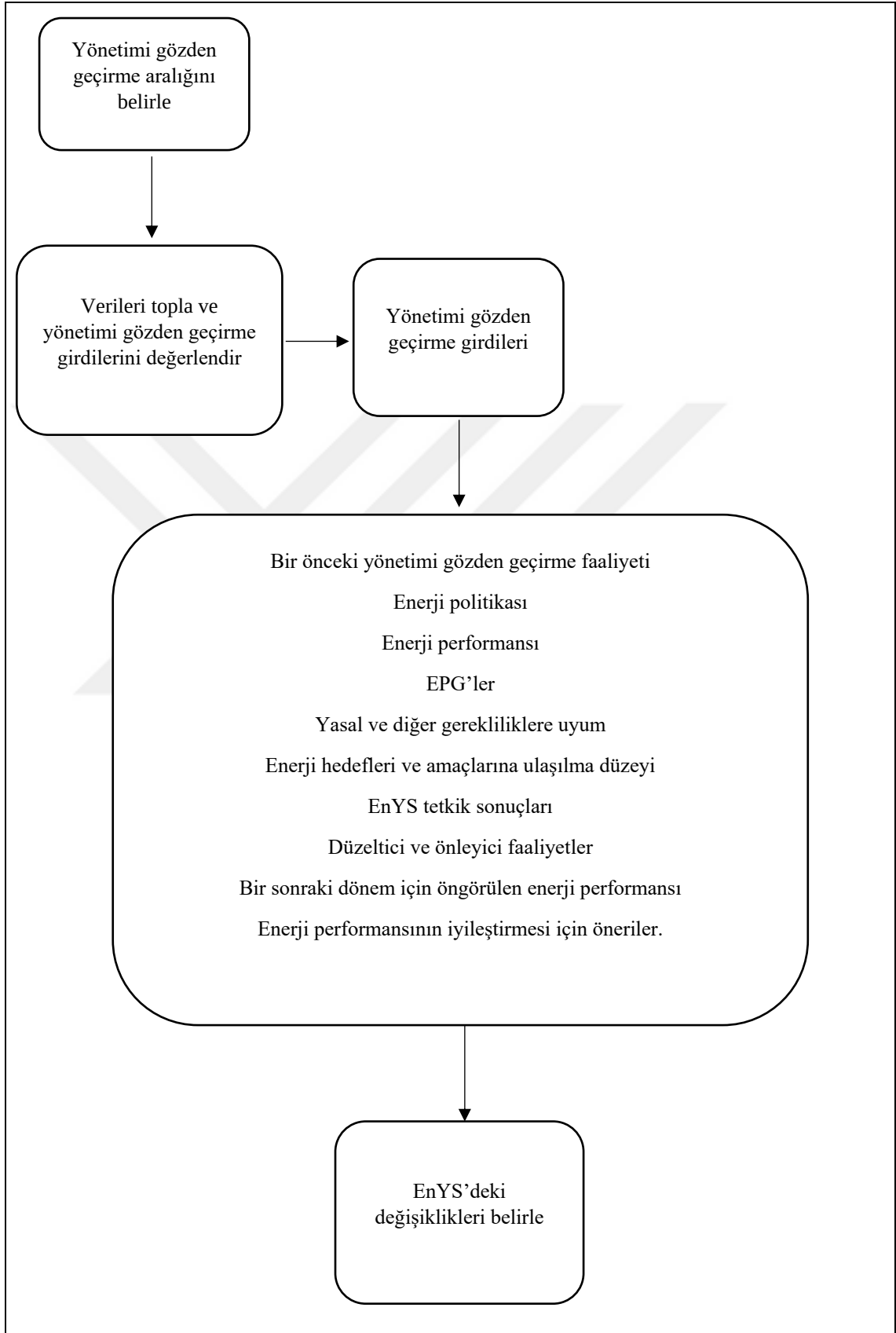
Önleyici Faaliyet: EnYS’de potansiyel bir uygunsuzluğun nedenini ortadan kaldırmak olarak tanımlanabilir.

3.7.5. Kayıtların kontrolü

ISO 50001 EnYS’nin gerekliliklerinden biri de bölüm 3.6.3’te belirtilen tüm kayıtların oluşturulması ve saklanmasıdır. EnYS’nin uygulandığının en önemli göstergelerinden biri de standardın gerektirdiği kayıtlardır.

3.8. Yönetimin Gözden Geçirilmesi

Şekil 3.10’da EnYS’nin gözden geçirme sürecinde yapılması gerekenler sıralı halde verilmiştir.



Şekil 3.10. Yönetimi gözden geçirme süreci

Enerji performansının sürekli iyileştirilmesi amacıyla EnYS'nin uygunluk, yeterlilik ve etkinliğini güvence altına almak için yılda en az bir kere gözden geçirilmesi bir gerekliliktir. EnYS'nin gözden geçirilmesi üst yönetim tarafından gerçekleştirilir. Şekil 3.10'da belirtilen yönetimin gözden geçirilme girdileri değerlendirilir. Yönetim gözden geçirmeleri, enerji performansının sürekli iyileştirilmesi için "kontrol et" ve "önlem al" aşamalarının önemli bir parçasıdır. Sürecin sonunda gerekli görüldüğünde EnYS ile ilgili gerekli değişiklikler yapılır. Bu değişiklikler aynı zamanda yönetimin gözden geçirme çıktıları olarak isimlendirilir. Bunlar (Howell, 2014):

- Enerji performansındaki değişiklikler,
- Enerji politikasındaki değişiklikler,
- EPG'lerdeki değişiklikler,
- Amaç ve hedeflerdeki değişiklikler,
- Kaynakların tahsisindeki değişiklikler,

4. ÖRNEKLEM VE YÖNTEM

Anadolu Üniversitesi Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesinin bünyesinde bulunan Hasan Polatkan Uluslararası Havalimanı 29 Mart 1989 tarihinde trafiğe açılmış olup, özellikle Anadolu Üniversitesi Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi Pilotaj Bölümünün uçuş eğitimleri ile Eskişehir ve çevre illerde oluşabilecek hava taşımacılığı talebini karşılamak üzere kurulmuştur. Temmuz 2005 tarihine kadar eğitim uçuşları ile birlikte hava taksi, ambulans, özel uçuş okullarının eğitim uçuşları, bakım, VIP, mecburi iniş gibi amaçlar için kullanılmıştır. 2005 yılı itibariyle uluslararası trafiğe açılmış olan havalimanında uluslararası uçuşlar gerçekleştirilmektedir (Battal, Küçükönal ve Oktal, 2006). Üniversitenin bünyesinde işletilen havalimanı içerisinde bir adet terminal binası, hava trafik kontrol kulesi, iki adet uçak bakım hangarı, itfaiye binası ve meteoroloji istasyonu bulunmaktadır. Havalimanının görüntüsü Görsel 4.1’de gösterilmektedir.



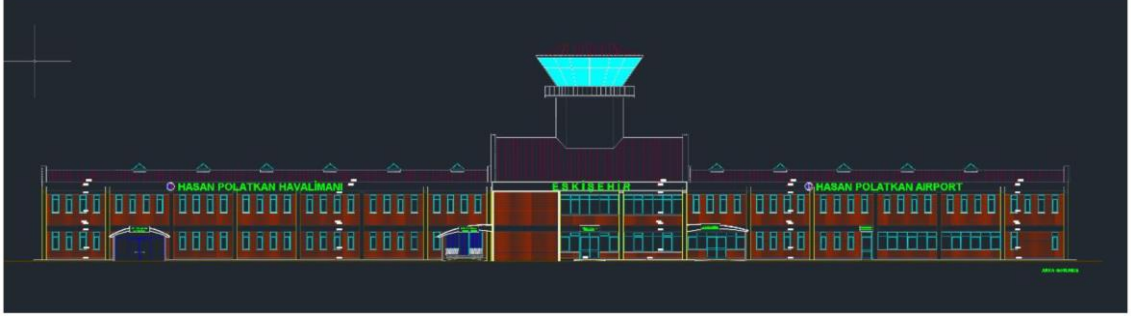
Görsel 4.1. Hasan Polatkan Uluslararası Havalimanı

Tablo 4.1’de Hasan Polatkan Uluslararası Havalimanına ait beş yıllık istatistikler verilmiştir. Tablo 4.1’den de görüldüğü üzere yolcu sayısı sürekli artmış ve ileriki yıllarda artmaya devam edeceği tahmin edilmektedir (<http-9>).

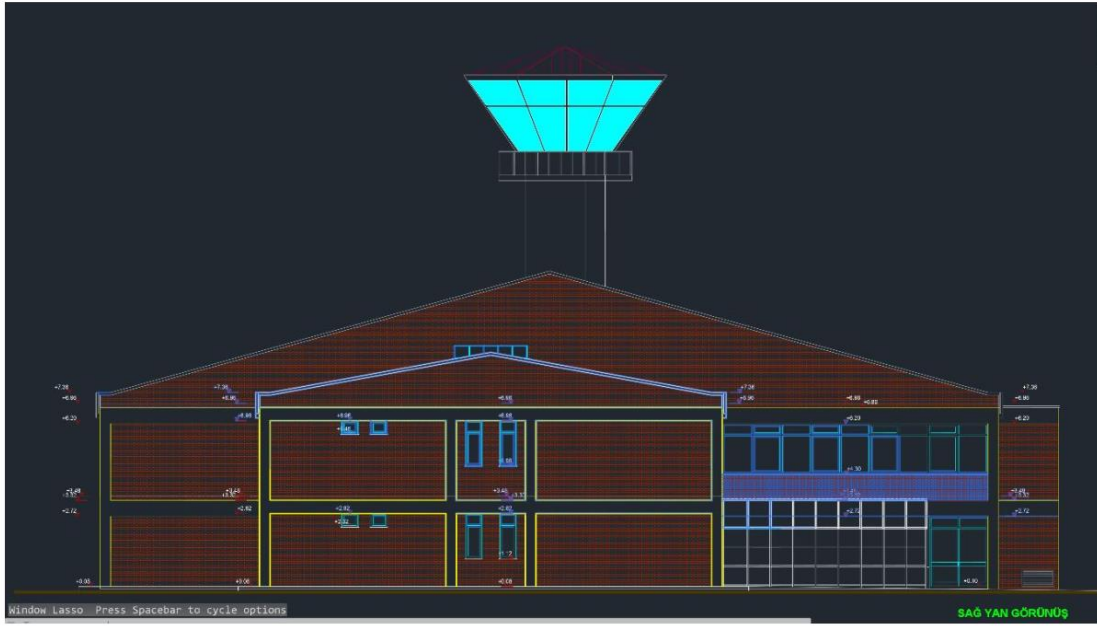
Tablo 4.1. Hasan Polatkan Uluslararası Havalimanı istatistikleri

Yıl	Yolcu	Ticari Uçuş	Yük (Ton)
2017	79,941	583	1,739
2016	56,454	391	1,193
2015	51,925	446	1,184
2014	45,872	377	1,058
2013	34,400	292	792

Bu tezde kapsam olarak Hasan Polatkan Uluslararası Havalimanı terminal binası seçilmiş ve enerji etütleri gerçekleştirilmiştir. Görsel 4.2 ve 4.3'te terminal binasının önden ve yandan görünüşü gösterilmiştir.



Görsel 4.2. Havalimanı terminal binası önden görünüşü



Görsel 4.3. Havalimanı terminal binası yandan görünüşü

4.1. Enerji Etüdü

Enerji etütlerinin amacı, enerji tüketimi ve maliyetlerini azaltmak için fırsatları belirlemektir. Enerji yöneticisi belirlendikten sonra, bu kişiye yeterli bir enerji yönetim programı geliştirmek için gerekli destek sağlanmalıdır. Enerji yöneticisinin yapması gereken ilk adım enerji etüdü yapmaktır. Enerji analizi veya enerji denetimi olarak da adlandırılan enerji etüdü, enerji tüketimini ve maliyetlerini azaltmak için fırsatların

belirlenmesinde kullanılan en etkili yöntemlerden biridir. Enerji etüdü yapmanın amaçları aşağıdaki gibi sıralanabilir (Capehart, Turner ve Kennedy, 2012):

- Enerji kullanımını ve maliyetlerini belirlemek,
- Enerjinin hangi proseslerde hangi amaçlar için tüketildiğini belirlemek,
- Enerjinin nasıl kullanıldığını, enerji verimsiz ekipman ve süreçleri belirlemek,
- Enerji tüketimini ve maliyetlerini azaltmak için yeni ekipman ve alternatifleri belirlemek,
- Bu alternatiflerin ekonomik ve mühendislik analizlerini yapmak ve en etkin çözümleri belirlemek.

Amerikan Isıtma, Soğutma ve İklimlendirme Mühendisleri Topluluğu (ASHRAE), ticari binalar için üç enerji etüt seviyesi oluşturmuştur. Bunlar (ASHRAE, 2015):

ASHRAE Seviye 1: 1. seviye etüt, enerji sistemleri ve geçmiş enerji tüketim verilerinin analiz edilmesiyle enerji verimliliği fırsatlarının tanımlanması için kullanılan hızlı bir yöntemdir. Enerji ile ilgili problemleri noktaların tespiti, düşük maliyetli veya maliyet gerektirmeden alınacak önlemlerin belirlenmesi ve bunlarla ilgili önlemlerin kısa sürede alınması için 1. seviye enerji etütleri kullanılır. Sonuçlar seviye 2 ve seviye 3 enerji etütlerinde önceliklerin belirlenmesinde kullanılır.

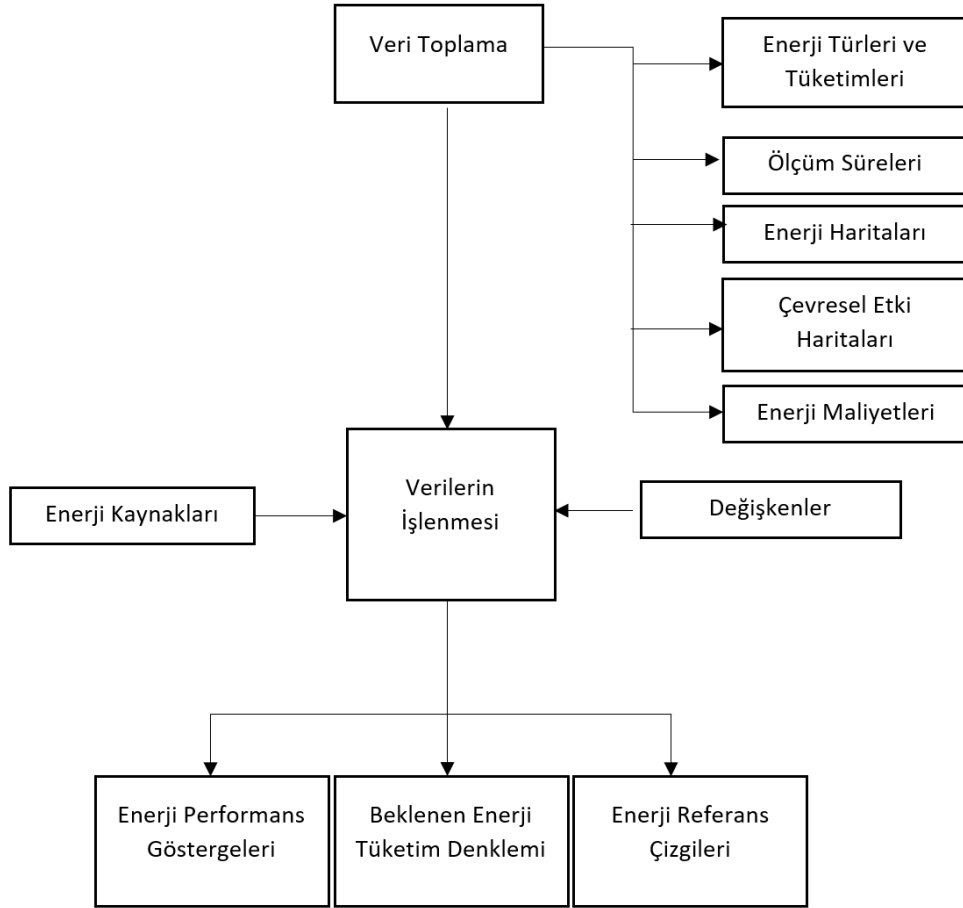
ASHRAE 2. Seviye: 2. seviye enerji etütleri daha kapsamlı olmakla birlikte, geçmişe ait daha detaylı verilerin elde edilmesi, kapsamlı saha ziyaretleri ile verilerin toplanması, ekonomik analizler yardımıyla fırsatların belirlenmesi ve bunların uygulanmasını içeren kapsamlı bir etüttür. Bu aşama düşük ve orta maliyetli eylem planlarının belirlenmesini kapsar.

ASHRAE Seviye 3: 3. seviye etütler, enerji sistemlerinin daha ayrıntılı incelemesi ve analiz edilmesini kapsar. Daha detaylı veri toplanması, enerji tüketen proses ve ekipmanların detaylı analizi bu aşamada gerçekleştirilir. Enerji performansının iyileştirilmesi için yüksek maliyet gerektiren yatırımların ekonomik ve mühendislik analizleri bu aşamada yapılır.

4.1.1. Ön etütler

Ön enerji etütleri geçmişe ait enerji tüketim verileri ve enerji tüketimini etkilediği düşünülen değişkenler kullanılarak enerji maliyetleri, EPG'ler, enerji referans çizgileri ve

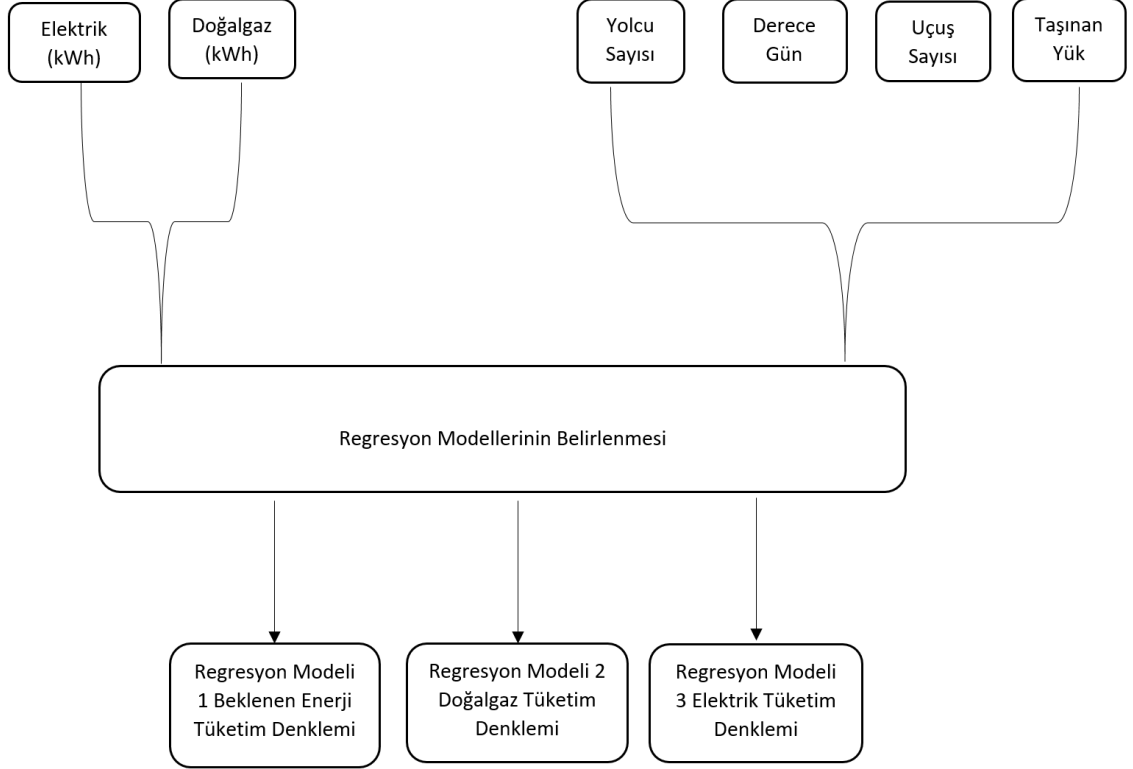
beklenen enerji tüketim denklemlerinin elde edilmesi için gerekli bir süreçtir. Şekil 4.1’de enerji yönetim sistem uygulamalarında kullanılmak üzere bir ön etüt modeli gösterilmiştir.



Şekil 4.1. *Ön etüt modeli*

Havalimanlarında enerji tüketimleri ve türleri ile ilgili geçmişe ait veriler toplanarak enerji maliyetleri ve enerji haritaları oluşturulur. Enerji haritaları ve maliyetlerinin belirlenmesinin amacı nerede hangi amaçla ne kadar enerji tüketildiğini ve maliyetlerini belirlemektir. Havalimanlarında enerji tüketimini etkileyen değişkenler regresyon analizi yardımıyla belirlenebilir. Şekil 4.2’de bu tezde kullanılan değişkenler gösterilmiştir. Regresyon analizi yardımıyla havalimanında enerji tüketiminin hangi değişkenlerle ne oranda değiştiği matematiksel olarak modellenilebilir. Bu tezde enerji

tüketimini etkileyebilecek tüm değişkenler analiz edilip bunlarla ilgili matematiksel modeller belirlenmiştir.

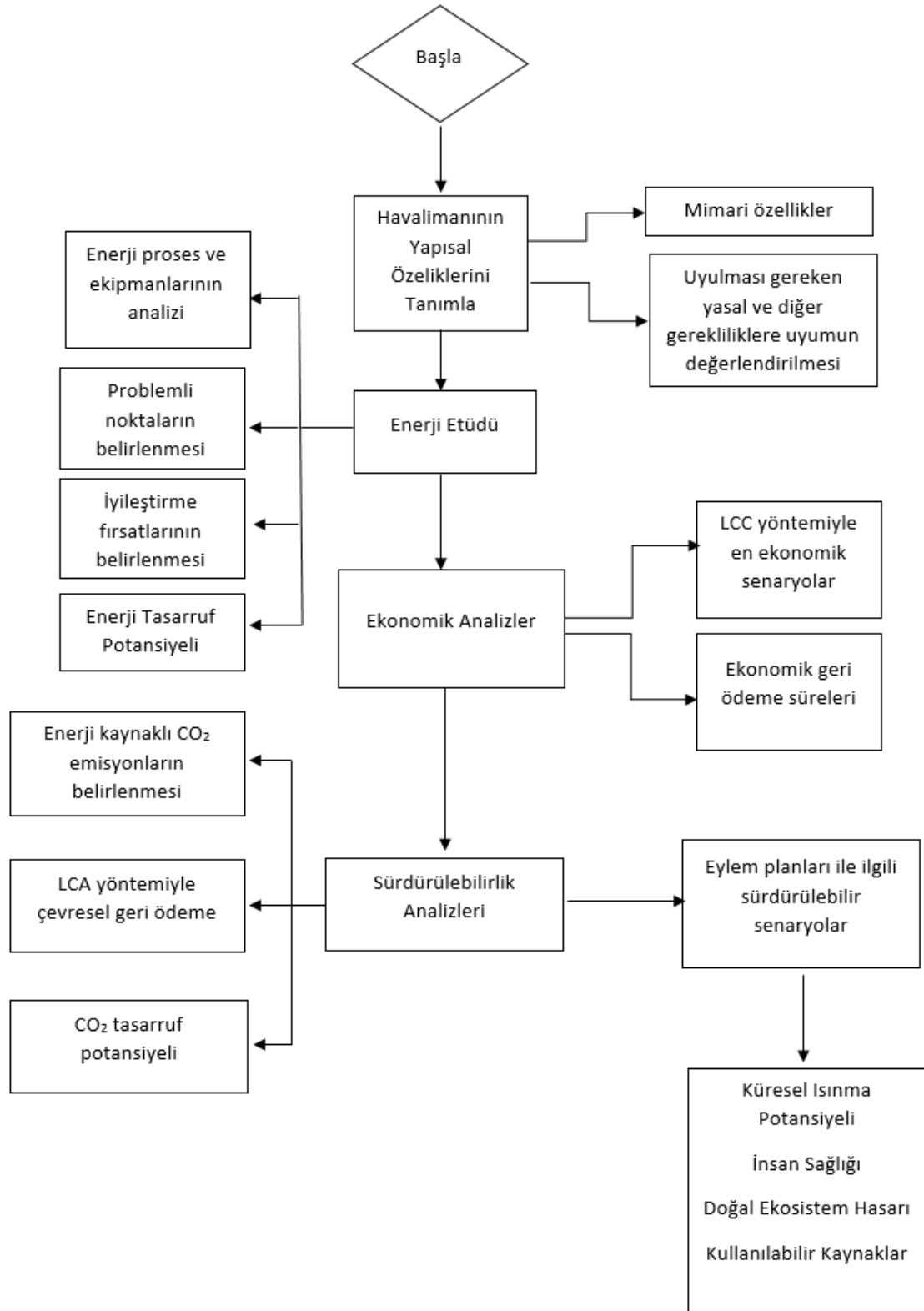


Şekil 4.2. Regresyon modelinde kullanılan enerji kaynakları ve değişkenler

4.1.2. Detay etütler

Detay etütler enerji verimliliği ölçüm cihazları yardımıyla enerji verimsiz noktaların tespit edilmesi, bunlarla ilgili eylem planlarının oluşturulması, bu eylem planlarının ekonomik, mühendislik ve çevresel analizlerinin yapılmasını kapsar. Ayrıca havalimanlarında hem yapısal hem de enerji ile ilgili uyulması gereken yasal ve diğer gerekliliklerin belirlenmesi ile mevcut durumun yasal gerekliliklerle kıyaslanması ve gerekli önlemlerin alınması yine bu aşamada gerçekleştirilir. Bu tezde havalimanları için önerilen detay etüt modeli Şekil 4.3'te gösterilmektedir. Detay etütlerin amacı enerji verimsiz noktaların tespit edilmesi ve bunlarla ilgili eylem planlarının oluşturulmasıdır. Bu tezde eylem planları oluşturulurken önerilen metot en ekonomik ve en çevreci senaryoların LCC ve YDD yöntemi kullanılarak belirlenmesidir. Havalimanlarında

sürdürülebilir enerji yönetimi uygulamalarında hem enerji hem de çevre performansının sürekli iyileştirilmesi amaçlanmalıdır.



Şekil 4.3. Detay etüt modeli

Detay enerji etütleri enerji verimliliği ölçüm cihazları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Belirlenen problemli noktalar için aksiyon planları oluşturulmuş ve bunların ekonomik, mühendislik ve çevresel analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla termal kamera, baca gazı ölçüm cihazı ve çok fonksiyonlu ölçüm cihazı yardımıyla enerji etütleri gerçekleştirilmiş ve yorumlanmıştır. Enerji verimliliği ölçüm cihazlarının özellikleri aşağıda özetlenmiştir.

4.1.2.1. Termal kamera seti

Termal kameralar ısı kaçak ve kayıpların hassas ve hasarsız tespit edilmesini sağlayan cihazlardır. Havalimanı terminal bina kabuğu ve ısı merkezinde bulunan kazanlarda ısı düzensizliklerin tespiti için Testo 875-2i termal kamera seti kullanılmıştır. Bu tezde termal kameranın kullanım amaçları aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- Terminal bina kabuğunda meydana gelen ısı kayıpları ve hava sızdırmazlığının tespiti,
- Isı yalıtım uygulama hataların bulunması,
- Terminal bina kabuğunda meydana gelen ısı kayıp ve düzensizliklerin tespiti,
- Yer altı ısıtma hattında ve ulaşılamaz borulardaki sızıntılar,
- Çatıda oluşabilecek kaçakların yer tespiti,
- Isıtma sisteminin ve tesisatın kontrolü, düzensiz sıcaklık dağılımının belirlenmesi,
- Radyatörlerdeki birikintiler ve tıkanmaların tespiti,
- Isı merkezinde bulunan kazanlarda meydana gelen ısı kayıplar,

4.1.2.2. Baca gazı analiz cihazı

Baca gazı analiz cihazı, ısıtma sistemleri için yanma sonrası açığa çıkan CO₂, CO, verimli bir yanma için hava-yakıt oranı, hava fazlalık katsayısı ve yanma veriminin aynı anda belirlenmesi için kullanılır. Havalimanı terminal binası doğal gazlı yoğunlaşmalı kazanlar kullanılarak ısıtılmaktadır. Bu kazanların baca gazı analizleri, Testo 330-2 LL baca gazı analiz cihazı kullanılarak düzenli aralıklarla gerçekleştirilmiştir.

Yakın cinsine bağlı, baca gazında karbonmonoksit (CO) oluşumuna neden olmayacak şekilde oksijen (O₂) oranının düşük olması istenir. Baca gazı analizlerinde O₂ oranının yakıtın cinsine bağlı olarak %2.2-3 arasında olması istenir. Yanma sonucu

CO₂'nin baca gazında yüksek olması yanma olayının daha iyi gerçekleştiği anlamına gelir. Bu açıdan baca gazında yüksek oranda karbondioksit (CO₂) olması istenir. Daha iyi bir yanma elde edebilmek için teorik havadan daha fazla havaya ihtiyaç duyulmaktadır. Teorik miktarından fazla olan hava miktarına fazla hava adı verilmektedir. Yanma esnasında kullanılan havanın teorik hava miktarına oranına hava fazlalık katsayısı adı verilir (Çengel ve Boles 2013). Hava fazlalık katsayısı düştüğünde yanma sonucu CO miktarı artar buna bağlı yanma verimi azalır. Baca gazı analizlerinde CO'nun olması istenmez, çünkü varlığı eksik yanmayı işaret eder. Baca gazı analizlerinde CO miktarı 100 ppm değerine kadar normal kabul edilir. Hava fazlalık katsayısı arttığında baca gazında ölçülen O₂ ve baca gazı sıcaklığı artar. Baca gazı sıcaklığındaki artış yanma sonucu oluşan gazların bacadan daha yüksek sıcaklıklarda çıkmasına bu da baca gazı kayıplarını arttırarak toplam verimin düşmesine neden olur. Bu nedenle baca gazında ölçülen O₂'nin belirli bir aralıkta olması istenir. Baca gazı analiz cihazı kullanılarak ısı merkezinde bulunan kazanlarda düzenli aralıklarla ölçümler yapılmıştır. Bu parametrelerde olması gereken referans değerler ayrıca aşağıda belirtilmiştir (Bilgin, 2001; Parker, Scollon ve Smith 2001).

- Baca gazı sıcaklığı 130-150 °C,
- O₂ %2- 3,
- CO₂ %11,
- CO maksimum 100 ppm,
- Hava fazlalık katsayısı 1.2 – 1.3.

Kazan verimi iki yöntemle belirlenebilir birincisi giriş-çıkış veya doğrudan yöntem, ikincisi ise ısı kaybı veya dolaylı yöntemdir (Petrecca, 2014). Doğrudan yöntem ile hesaplama,

$$\eta_{th}(\%) = \frac{Q_y}{Q_T} \times 100 \quad (4.1)$$

denklemleriyle elde edilir. Q_y elde edilen yararlı ısı ve Q_T toplam ısı girişini ifade eder. Isı kaybı diğer bir deyişle dolaylı yöntem ile verim hesabı,

$$\eta_{th}(\%) = 100 - \frac{Q_k}{Q_T} \times 100 \quad (4.2)$$

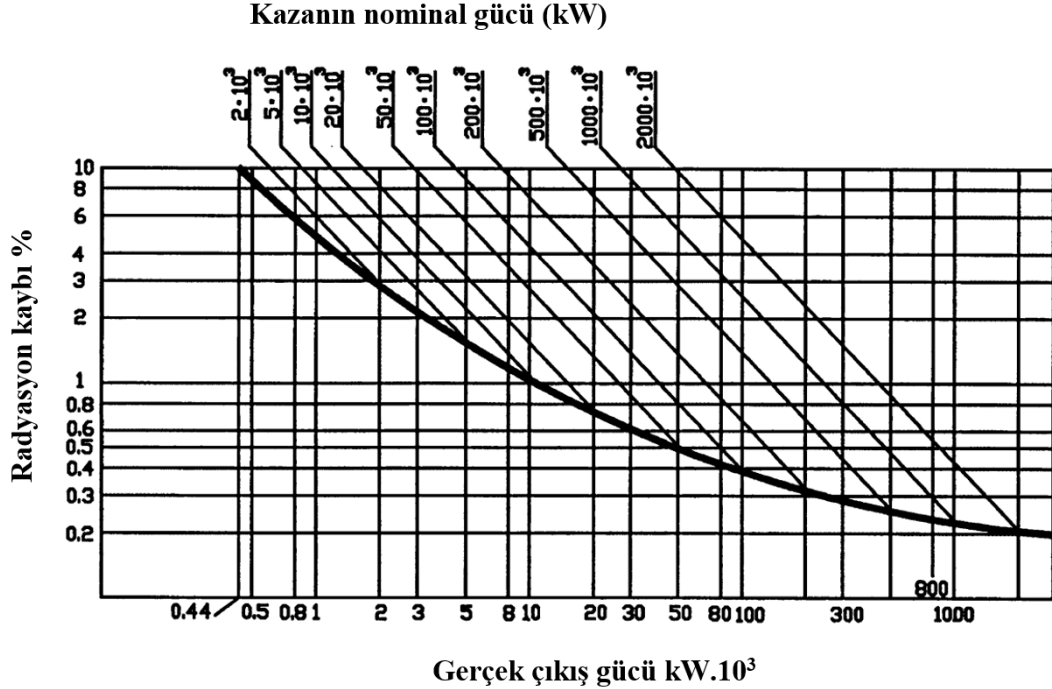
denklemlerle belirlenebilir Q_k toplam ısı kayıplarıdır. Baca gazında meydana gelen kayıplar,

$$\text{Baca gazı kaybı \%} = K_s \times \frac{T_b - T_a}{\%CO_2} \quad (4.3)$$

denklemlerle hesaplanır. K_s Hassenstein katsayısı, T_b ve T_a sırasıyla baca gazı ve ortam sıcaklığıdır. K_s değeri baca gazında ölçülen CO_2 miktarıyla belirlenir ve baca gazında ölçülen (doğal gaz için) CO_2 yüzdesi %8, %9, %10 ve %11 olduğunda bu değer sırasıyla 0.457, 0.466, 0.476 ve 0.486 olarak alınır (Petrecca, 2014). Eksik yanmadan dolayı meydana gelen kayıplar ise yüzde olarak,

$$\text{Yanma kayıpları \%} = K_c \times \frac{\%CO}{\%CO_2 + \%CO} \quad (4.4)$$

denklemlerle hesaplanır. Burada K_c yanmamış yakıtın kayıp katsayısıdır ve doğal gaz için 37.9 olarak alınır. Kazan radyasyon kayıpları ise kazanın kapasitesi ve anlık çalışma gücüne göre değişir. Radyasyon kayıpları Şekil 4.4 kullanılarak belirlenebilir (Petrecca, 2014).

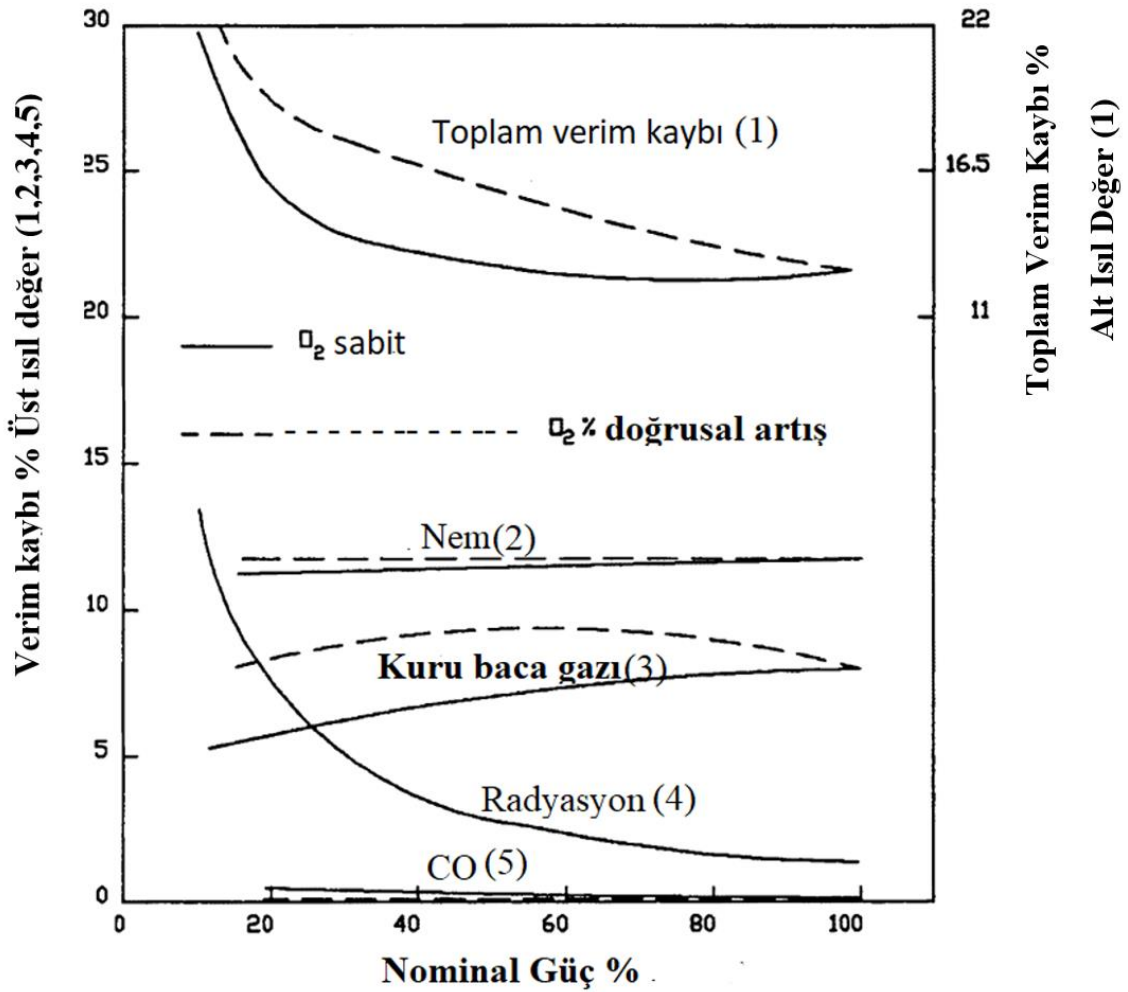


Şekil 4.4. Radyasyon kayıpları grafiği

Isı girdisine bağlı olarak, yakıtın üst ısı değeri (ÜİD) ve alt ısı değerine (AİD) bağlı kayıplar % olarak,

$$Toplam\ kayıp\ (ÜİD\ \%) = \frac{Toplam\ kayıp\ (AİD\ \%)}{\alpha} + 100 \times \frac{(\alpha - 1)}{\alpha} \quad (4.5)$$

denklemleriyle belirlenir, α ÜİD'nin AİD'e oranıdır ve doğal gaz için bu değer 1,12'dir. O₂ oranına bağlı toplam verimdeki değişim Şekil 4.5'te gösterilmiştir. Baca gazında ölçülen O₂ referans değerinin %3 olduğu durum ile doğrusal olarak arttığı durum arasındaki verim kaybı yine aşağıdaki grafik kullanılarak bulunabilir (Petrecca, 2014).



Şekil 4.5. Kazan ateşleme hızındaki değişiklikler ile kayıplardaki değişim (Petrecca, 2014)

4.1.2.3. Çok fonksiyonlu ölçüm cihazı

Çok fonksiyonlu ölçüm cihazı ile belirli sensör ve proplar kullanılarak birçok ölçüm gerçekleştirilebilir. Testo 435-4 çok fonksiyonlu ölçüm cihazı kullanılarak aydınlatma

şiddeti (lüks), iç hava kalitesi ölçümleri (sıcaklık, nem rüzgâr hızı, ortam CO₂), ısıtıl hesaplamalar için yüzeylerin U değeri ölçümleri gerçekleştirilebilir.

4.2. Regresyon Analizi

Regresyon analizi bağımsız (tahminci) değişkenler ile bağımlı bir değişken arasında matematiksel bir model veya eşitlik bulmak için kullanılan bilimsel bir yöntemdir. Tek bir bağımsız değişken kullanılarak yapılan analizlere tek değişkenli regresyon analizi, birden fazla değişken kullanılarak yapılan analizlere ise çok değişkenli regresyon analizi denir (Tso ve Yau, 2007).

4.2.1. Doğrusal regresyon analizi

Tek değişkenli doğrusal regresyon analizi bir bağımlı değişken ile bir bağımsız değişken arasındaki matematiksel ilişkiyi modellemek için kullanılır. Tek değişkenli regresyon analizi ile bağımlı ve tahminci değişken arasındaki doğrusal ilişkiyi temsil eden bir doğrunun denklemi formüle edilir. Bu denklem, eşitlik (4.6) ile ifade edilir (Fitzmaurice, 2016; Fumo ve Biswas, 2011).

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \varepsilon \quad (4.6)$$

Burada Y bağımlı değişken X ise bağımsız değişkendir. β_0 ve β_1 regresyon katsayılarıdır, ε ise tahmin edilen değer ve gerçek değer arasındaki hatadır. Denklem (4.6)'daki regresyon modeline ait tahmin modeli Denklem (4.7)'deki gibidir.

$$\hat{Y} = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 X_1 \quad (4.7)$$

Burada $\hat{Y}$ tahmin edilen değer $\hat{\beta}$ ise tahmin edilen regresyon katsayısını ifade eder. Birden fazla tahminci değişkenin bağımlı bir değişkeni doğrusal bir denklem ile açıklamaya çalışan istatistiksel analize çok değişkenli doğrusal regresyon analizi adı verilir. Birden fazla tahminci değişkenin bulunduğu çoklu doğrusal regresyon modelleri matematiksel olarak Denklem (4.8) ile ifade edilir.

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_p X_p + \varepsilon \quad (4.8)$$

Y bağımlı değişken, $X_1, X_2, \dots, X_p$ ise p tane bağımsız değişkendir. $\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_p$ regresyon katsayıları, ε ise tahmin edilen değer ile gerçek değer arasındaki hatadır. Denklem (4.8)'deki regresyon modeline ait tahmin modeli ise Denklem (4.9)'daki gibidir.

$$\hat{Y} = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 X_1 + \hat{\beta}_2 X_2 + \dots + \hat{\beta}_p X_p + \varepsilon \quad (4.9)$$

Burada $\hat{Y}$ tahmin edilen değer $\hat{\beta}_0, \hat{\beta}_1, \hat{\beta}_2$ ve $\hat{\beta}_p$ ise tahmin edilen regresyon katsayılarını ifade eder.

4.2.1.1. Modelin anlamlılığı

Doğrusal regresyonda tahminci değişkenlerin bağımlı değişkeni hangi oranda açıkladığını ifade eden değere belirlilik katsayısı (R^2) denir. Bu değer 0 ile 1 arasında değişir. Belirlilik katsayısı modelin gerçeğe ne kadar yakın olduğunu diğer bir ifade ile modelin gücünü açıklar. Çoklu doğrusal regresyon analizinde modele birden fazla bağımsız değişken eklendiğinde R^2 değeri artar bundan dolayı çoklu regresyon analizlerinde modelin gücünü düzeltilmiş R^2 (R^2_{adj}) değeri belirler. Örneğin bu değer 0.9 bulunmuş ise bağımlı değişkenin tahminci değişkenler tarafından %90 açıklandığını ifade eder. R^2 ,

$$R^2 = \left[COR(Y, \hat{Y}) \right]^2 = 1 - \frac{\sum (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum (y_i - \bar{y})^2} \quad (4.10)$$

denklemleriyle hesaplanır. $COR(Y, \hat{Y})^2$ korelasyon katsayısını ifade eder. R^2_{adj} ise,

$$R^2_{adj} = 1 - (1 - R^2) \frac{n-1}{n-p-1} \quad (4.11)$$

denklemleriyle hesaplanır (Fumo ve Biswas, 2015). Burada k regresyon katsayılarının (β) sayısını ifade eder. Denklem (4.6) ve (4.8)'den de anlaşılacağı gibi $k = p + 1$ 'dir. n ise gözlem sayısını ifade eder.

4.2.2. Doğrusal olmayan regresyon

Bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki ilişkinin doğrusal olmadığı modellere doğrusal olmayan regresyon modelleri denir. Genel olarak bağımsız değişken ile bağımlı değişken arasındaki matematiksel ilişki bilinmemektedir ve bir (f) fonksiyonuyla gösterilir. Bu fonksiyon Denklem (4.12) ile ifade edilir (Özdemir, 2011; Serin, 2010):

$$Y = f(X, \beta) + \varepsilon \quad (4.12)$$

Denklem (4.12) doğrusal olmayan regresyon modelinin matematiksel olarak genel formunu belirtir. $f(X, \beta)$ fonksiyonu Y bağımlı değişkeninin X tahminci değişkenlerinin bir fonksiyonu olduğunu ifade eder. Doğrusal olmayan regresyon modellerinde X ve β parametreleri,

$$X_q = \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ \vdots \\ X_q \end{bmatrix} \text{ ve } \beta_p = \begin{bmatrix} \beta_1 \\ \beta_2 \\ \vdots \\ \beta_p \end{bmatrix} \quad (4.13)$$

denklemleriyle ifade edilir. (Özdemir, 2011).

4.3. Optimum Yalıtım Kalınlığının Hesaplanması

4.3.1. Dış yüzeylerde meydana gelen ısı kaybı

Binalarda ısı kayıp ve kazançları dış yüzeylerden duvar, çatı, zemin ve pencereler ile hava infiltrasyonundan dolayı gerçekleşir. Isıtma ve soğutma için gerekli olan enerji miktarının belirlenmesinde en sık kullanılan yöntemlerden biri Derece – Gün yöntemidir. Derece – Gün sayısı bir denge sıcaklığı belirlenerek Denklem (4.14) ve (4.15) ile hesaplanabilir. Denge sıcaklığı ısıtma ve soğutmaya ihtiyacının olmadığı bir değer seçilebilir. Denge sıcaklığı, istenilen iç ortam sıcaklığı, binanın özellikleri ve kullanım şekline göre değişiklik gösterir. Geleneksel olarak ısıtma için 15 °C ve soğutma için 22 °C denge sıcaklığı seçilerek derece gün değeri hesaplanır. Eskişehir için Isıtma Derece Gün (HDD) ve Soğutma Derece Gün (CDD) değerleri uzun yıllar gerçekleşen dış hava sıcaklıklarının ortalaması baz alınarak hesaplanmıştır (Kaynaklı, 2011; Bulut, Büyükalaca, ve Yılmaz, 2007).

$$HDD = \sum_{gün} (T_b - T_0)^+ \quad (4.14)$$

$$CDD = \sum_{gün} (T_0 - T_b)^+ \quad (4.15)$$

T_b denge sıcaklığı, T_0 ise günlük ortalama sıcaklıktır. Birim yüzey alanı için yıllık ısı kayıp ve kazançları ısı transfer katsayısı (U) ve derece gün değerleri ile Denklem (4.16) ve (4.17)'deki gibi hesaplanabilir (Kurekci, 2016; Sisman vd., 2007).

$$q_{,H} = \frac{86400 \times HDD \times U}{\eta} \quad (4.16)$$

$$q_{,C} = \frac{86400 \times CDD \times U}{COP} \quad (4.17)$$

η ısıtma sisteminin verimi, COP ise soğutma sisteminin performans katsayısıdır. Isı yalıtım malzemesi içeren duvardaki U değeri Denklem (4.18) ile hesaplanır.

$$U = \frac{1}{R_i + R_w + R_{ins} + R_o} \quad (4.18)$$

R_i ve R_o sırasıyla iç ve dış hava tabakasının ısıl direncidir. R_w yalıtımsız yüzeyin ısıl direnci, R_{ins} yalıtımın ısıl direncidir ve Denklem (4.19) ile hesaplanır.

$$R_{ins} = \frac{x}{k} \quad (4.19)$$

k ve x sırasıyla ısı yalıtım malzemesinin ısı iletkenlik katsayısı ve kalınlığıdır. $R_{w,t}$ ise yalıtımsız yüzeyin toplam ısıl direncini ifade eder ve Denklem (4.20) ile hesaplanabilir.

$$R_{w,t} = R_i + R_w + R_o \quad (4.20)$$

Yalıtımlı yüzeyin toplam ısı transfer katsayısı Denklem (4.21) ile hesaplanır.

$$U = \frac{1}{R_{w,t} + R_{ins}} \quad (4.21)$$

Isıtma için yıllık enerji ihtiyacı E_{yul_H} Denklem (4.22) ile belirlenir.

$$E_{yul_H} = \frac{86400 \times HDD}{(R_{w,t} + R_{ins}) \times \eta} \quad (4.22)$$

Soğutma için yıllık enerji ihtiyacı E_{yul_C} Denklem (4.23) ile hesaplanabilir.

$$E_{yul_C} = \frac{86400 \times CDD}{(R_{w,t} + R_{ins}) \times COP} \quad (4.23)$$

4.3.2. Optimum yalıtım kalınlığı

Bina kabuğu dış yüzeylerine yalıtım uygulanması yüzeyindeki ısı kaybı ve kazançları önemli derecede azaltır. Optimum yalıtım kalınlığının hesaplanabilmesi için maliyet analizinin yapılması gerekir. Birim yüzey alanı için yıllık ısıtma ve soğutma maliyet analizleri Denklem (4.24) ve (4.25) ile hesaplanabilir (Kaynaklı ve Kaynaklı, 2016; Bolattürk, 2006).

$$C_{AH} = \frac{86400 \times HDD \times C_{yakıt}}{(R_{w,t} + R_{ins}) H \times \eta} \quad (4.24)$$

$$C_{AC} = \frac{86400 \times CDD \times C_e}{(R_{w,t} + R_{ins}) \times COP} \quad (4.25)$$

C_{AH} ve C_{AC} sırasıyla birim alan için yıllık ısıtma ve soğutma maliyeti, $C_{yakıt}$ ısıtma için kullanılan yakıtın birim fiyatı, C_e elektriğin birim fiyatıdır. H ise yakıtın alt ısı değeridir. Şimdiki değer faktörü (PWF), faiz ve enflasyon oranının bir fonksiyonudur (Kurekci, 2016).

$i > g$ iken

$$r = \frac{i - g}{1 + g} \quad (4.26)$$

$g > i$ iken

$$r = \frac{g - 1}{1 + g} \quad (4.27)$$

$$PWF = \frac{(1 + r)^{LT} - 1}{r \times (1 + r)^{LT}} \quad (4.28)$$

$i = g$ iken

$$PWF = \frac{LT}{1 + i} \quad (4.29)$$

i faiz oranı, g enflasyon oranı, r gerçek faiz oranı LT ömür ve PWF şimdiki değer faktörüdür. Hesaplamalar da kullanılan LT değeri binanın ömrü veya yalıtım malzemesinin ömrü seçilebilir. Yapılan birçok çalışmada bu değer 10, 20, 25 ve 30 yıl

seçilerek yapılmıştır. Bu tezde optimum yalıtım kalınlığı hesaplamaları, LT 20 yıl kabul edilerek yapılmıştır. Isı yalıtım malzemesinin maliyeti Denklem (4.30) ile hesaplanır.

$$C_{ins} = C_y \times x \quad (4.30)$$

$$C_{t_H} = C_{A_H} \times PWF + C_y \times x \quad (4.31)$$

$$C_{t_C} = C_{A_C} \times PWF + C_y \times x \quad (4.32)$$

$$C_{t_{H,C}} = C_{A_H} \times PWF + C_{A_C} \times PWF + C_y \times x \quad (4.33)$$

C_{t_H} , C_{t_C} ve $C_{t_{H,C}}$ sırasıyla yalıtımlı bir binada LCC analizi kullanılarak hesaplanmış ısıtma, soğutma ve ısıtma-soğutma maliyetidir.

Optimum yalıtım kalınlığı ısıtma ve soğutma maliyetlerini minimize ederek hesaplanır. Denklem (4.31), (4.32) ve (4.33)'ün x 'e göre türevleri alınıp sıfıra eşitlenerek optimum yalıtım kalınlığı bulunabilir. Isıtma, soğutma ve hem ısıtma hem de soğutma için optimum yalıtım kalınlıkları Denklem (4.34), (4.35) ve (4.36) ile hesaplanır Isıtma için optimum yalıtım kalınlığı;

$$x_{opt,H} = 293.94 \times \left(\frac{HDD \times C_{fuel} \times PWF \times k}{H \times C_y \times \eta} \right)^{1/2} - k \times R_{w,t} \quad (4.34)$$

Soğutma için optimum yalıtım kalınlığı;

$$x_{opt,C} = 293.94 \times \left(\frac{CDD \times C_e \times PWF \times k}{C_y \times COP} \right)^{1/2} - k \times R_{w,t} \quad (4.35)$$

Isıtma ve soğutma için optimum yalıtım kalınlığı;

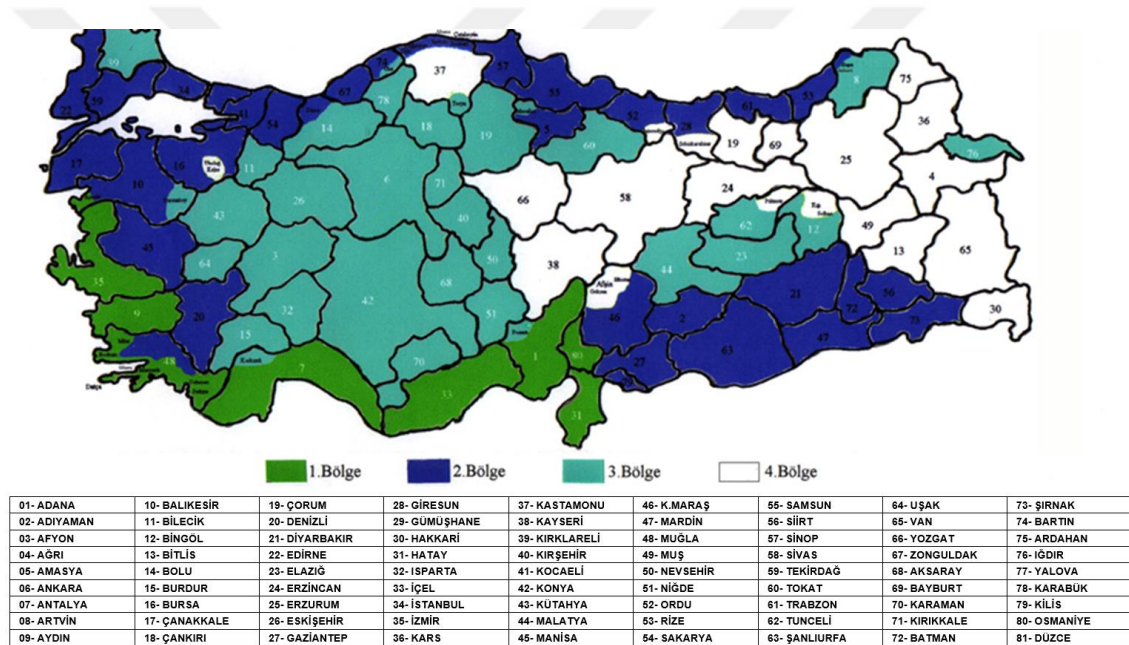
$$x_{opt,H,C} = 293.94 \times \left(\frac{HDD \times C_{fuel} \times PWF \times k}{H \times C_y \times \eta} + \frac{CDD \times C_e \times PWF \times k}{C_y \times COP} \right)^{1/2} - k \times R_{w,t} \quad (4.36)$$

4.4. TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları Standardı

TS 825 “Binalarda Isı Yalıtım Kuralları” standardı farklı amaçlar için kullanılan binalarda net ısıtma enerjisi ihtiyacının hesaplanmasında kullanılan bir standarttır. Enerji

yönetim sisteminde enerji planlaması yapılırken ve yönetim gözden geçirmelerde en dikkat edilmesi gereken konu enerji kullanım ve tüketimiyle ilgili uyulması gereken ulusal ve uluslararası yasa ve düzenlemelere uygunluğun garanti altına alınmasıdır. Bundan dolayı havalimanı terminal binasının ısıtma enerjisi ihtiyacı bu standart kullanılarak gerçekleştirilmiştir. 5 Aralık 2008 tarihinde resmî gazetede yayımlanan “Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği” gereği binaların yapı bileşenlerinin TS 825 standardında belirtilen asgari koşulları sağlaması gerekir.

TS 825 standardına göre Türkiye dört farklı iklim bölgesinden oluşmaktadır. Eskişehir ili üçüncü iklim bölgesinde yer almaktadır. Türkiye’de derece gün bölgelerine göre iller Görsel 4.4’te belirtilmiştir (TSE, 2008).



Görsel 4.4. Derece gün bölgelerine göre Türkiye’deki iller (TSE, 2008)

TS 825 standardı gereği iklim bölgelerinde yapı bileşenleri için tavsiye edilen en yüksek U değerleri Tablo 4.2’de gösterilmiştir. Yeni yapılacak ve mevcut binaların yenilenmesinde bina yapı bileşenlerinin U değerleri Tablo 4.2 göz önünde bulundurularak projelendirilmelidir.

Tablo 4.2. Yapı bileşenleri için tavsiye edilen en yüksek U değerleri

	U_D (W/m ² K)	U_T (W/m ² K)	U_t (W/m ² K)	U_p (W/m ² K)
1.Bölge	0.70	0.45	0.70	2.40
2.Bölge	0.60	0.40	0.60	2.40
3.Bölge	0.50	0.30	0.45	2.40
4.Bölge	0.40	0.25	0.40	2.40

Terminal binasında yapılan detay analizler sonucu, yapı bileşenleri ile ilgili oluşturulan eylem planlarında ısıtma enerjisi ihtiyacı ve ekonomik geri ödeme süreleri hesaplanmalarında TS 825 standardı kullanılmıştır.

4.4.1. Yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı hesabı

Yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı binalarda ısı kayıplarından ısı kazançlarının çıkarılmasıyla elde edilir. Bu işlem aylık bazda yapılır ve toplamı yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacını ifade eder yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı,

$$Q_{yıl} = \sum Q_{ay} \quad (4.37)$$

$$Q_{ay} = \text{Isı Kayıpları} - \text{Isı Kazançları} \quad (4.38)$$

$$Q_{ay} = [H \times (\theta_i - \theta_e) - \eta_{ay}(\phi_{i,ay} + \phi_{s,ay})] \times t \quad (4.39)$$

denklemleriyle hesaplanır. H binanın özgül ısı kaybını, $Q_{yıl}$ yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacını, Q_{ay} aylık ısıtma enerjisi ihtiyacını, θ_i aylık ortalama iç sıcaklığı, θ_e aylık ortalama dış sıcaklığı, η_{ay} aylık ortalama kazanç kullanım faktörünü, $\phi_{i,ay}$ aylık ortalama iç ısı kazançları, $\phi_{s,ay}$ aylık ortalama güneş enerjisi kazançlarını, t ısıtma süresini ifade eder. Binanın özgül ısı kaybı,

$$H = H_T + H_V \quad (4.40)$$

denklemleriyle hesaplanabilir. H, H_T ve H_V sırasıyla binanın özgül ısı kaybını, iletim ve taşınım yoluyla gerçekleşen ısı kaybını ve havalandırma yoluyla gerçekleşen ısı kaybını ifade eder. İletim ve taşınım yoluyla gerçekleşen ısı kaybı, binanın dış yüzeylerini oluşturan dış havaya açık veya toprağa temas eden dış duvarlar, çatı, taban, pencereler, kapılar ve ısı köprülerinden meydana gelen ısı kayıplarının toplamından oluşur (TSE, 2008).

İletim ve taşınım yoluyla gerçekleşen ısı kaybı,

$$H_T = \sum AU + IU_I \quad (4.41)$$

denklemleri ile hesaplanabilir. Burada $\sum AU$ yapı bileşenlerinden olan ısı kaybını, IU_I ise yapıdaki ısı köprülerinden kaynaklanan ısı kaybını ifade eder. Eşitlik (4.41)'deki $\sum AU$ ifadesi,

$$\sum AU = U_D A_D + U_p A_p + U_k A_k + 0.8 U_T A_T + 0.5 U_t A_t + U_d A_d + 0.5 U_{ds} A_{ds} \quad (4.42)$$

gibi ifade edilir (TSE, 2008). Burada $U_D, U_p, U_k, U_T, U_t, U_d$, ve U_{ds} sırasıyla dış duvar, pencere, dış kapı, tavan, zemin, dış hava ile temas eden taban ve düşük sıcaklıklardaki iç ortamlarla temas eden yapıların ısıl geçirgenlik katsayısını ifade eder. A ise yüzey alanıdır.

Havalimanı terminal binası doğal havalandırma yoluyla havalandırılmaktadır. Doğal havalandırma yoluyla gerçekleşen ısı kaybı,

$$H_V = \rho \times c \times V' \quad (4.43)$$

şeklinde hesaplanır. H_V havalandırma yoluyla meydana gelen ısı kaybı, ρ havanın birim hacminin kütlesi, c havanın özgül ısısı, V' ise hacimce hava değişim debisidir. Doğal olarak havalandırılan yapılarda Denklem (4.43),

$$H_V = \rho \times c \times V' = \rho \times c \times n_h V_h = 0.33 \times n_h V_h \quad (4.44)$$

gibi ifade edilebilir. n_h ve V_h sırasıyla hava değişim oranı ve havalandırılan hacimdir. Doğal havalandırma yapılan binalarda havalandırma yoluyla meydana gelen ısı kaybı hesabında havalandırma sayısı “ n_h ” 0.8 (h^{-1}) olarak alınır. Havalandırılan hacim ise bürüt hacmin 0.8 ile çarpılmasıyla elde edilir.

Pencerelerden güneş ışımasını yoluyla gerçekleşen ısı kazançlar ($\phi_{s,ay}$), saydam yüzeylerin gölgelenme faktörü ($r_{i,ay}$) ve saydam elemanların güneş enerjisi geçirme faktörü ($g_{i,ay}$) değerleri kullanılarak Denklem (4.45) ile hesaplanır (TSE, 2008).

$$\phi_{s,ay} = \sum r_{i,ay} \times g_{i,ay} \times I_{i,ay} \times A_i \quad (4.45)$$

$I_{i,ay}$ ve A_i sırasıyla, i yönündeki dik yüzeylere gelen aylık ortalama güneş ışınlam şiddetini ve pencerelerin toplam alanı ifade eder. Türkiye’de tüm iklim bölgeleri için aylık ortalama güneş ışınlam şiddeti (W/m^2) Tablo 4.4’te verilmiştir. $g_{i,ay}$ ise güneş enerjisi geçirme faktörü olarak adlandırılır ve

$$g_{i,ay} = F_w \times g \quad (4.46)$$

denklemleriyle ifade edilir. F_w camlar için düzeltme faktörü ve g yüzeye dik gelen ışın için güneş enerjisi geçirme faktörünü ifade eder.

Tablo 4.3. Aylık ortalama güneş ışınlam şiddeti

Aylar	I güney	I kuzey	I batı/doğu
Ocak	72	26	43
Şubat	84	37	57
Mart	87	52	77
Nisan	90	66	90
Mayıs	92	79	114
Haziran	95	83	122
Temmuz	93	81	118
Ağustos	93	73	106
Eylül	89	57	81
Ekim	82	40	59
Kasım	67	27	41
Aralık	64	22	37

Isıtma enerjisi ihtiyacı için, iç ve güneş enerjisi kazancının sürekli faydalı enerji olarak kabul edilmesi yanlış bir yaklaşımdır. Çünkü ısı kazançları anlık ısı kayıplarından fazla olabilir veya ısıtmaya ihtiyaç duyulmadığı zamanlar olabilir. Ayrıca yapı elemanlarının bünyelerinde ısıнын bir miktarını depoladığı düşünüldüğünde, iç ve güneş enerjisi kazançları kazanç kullanım faktörü diye adlandırılan bir yararlanma faktörü ile azaltılmalıdır. Aylık ortalama kazanç kullanım faktörü,

$$\eta_{ay} = 1 - e^{(-1/KKO_{ay})} \quad (4.47)$$

denklemleri ile hesaplanır. KKO_{ay} kazanç/kayıp oranını ifade eder ve

$$KKO_{ay} = (\phi_{i,ay} + \phi_{s,ay})/H \times (\theta_{i,ay} - \theta_{e,ay}) \quad (4.48)$$

İfadesi ile belirlenir.

Havalimanı terminal binası için aylık ısıtma enerjisi ihtiyacı her ay için hesaplanarak yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı bulunmuştur. Havalimanları terminal binalarında kış aylarında ısıtma için optimum iç ortam sıcaklığı TS 825 standardında 20 °C olarak alınmıştır. Ortalama dış ortam sıcaklığı Eskişehir ilinin de bulunduğu 3. iklim bölgesinde uzun yıllar gerçekleşen ortalama dış hava sıcaklıkları seçilerek hesaplamalar gerçekleştirilmiştir. Havalimanı terminal binası yoğunlaşmalı kazanlarla ısıtılmakta olup enerji kaynağı olarak doğal gaz kullanılmaktadır. Tablo 4.4'te Türkiye'de bulunan dört iklim bölgesi için uzun yıllar gerçekleşen ortalama dış hava sıcaklıkları verilmiştir.

Tablo 4.4. Uzun yıllar gerçekleşen ortalama dış hava sıcaklıkları

Aylar	1.Bölge	2.Bölge	3.Bölge	4.Bölge
Ocak	8.4	2.9	-0.3	-5.4
Şubat	9.0	4.4	0.1	-4.7
Mart	11.6	7.3	4.1	0.3
Nisan	15.8	12.8	10.1	7.9
Mayıs	21.2	18	14.4	12.8
Haziran	26.3	22.5	18.5	17.3
Temmuz	28.7	24.9	21.7	21.4
Ağustos	27.6	24.3	21.2	21.1
Eylül	23.5	19.9	17.2	16.5
Ekim	18.5	14.1	11.6	10.3
Kasım	13.0	8.5	5.6	3.1
Aralık	9.3	3.8	1.3	-2.8

4.4.2. Geri ödeme süresi

Geri ödeme süresi (GÖS) hesabı, tadilat ve yenileme ile elde edilen tasarrufun yenileme ve tadilatın parasal değerlerinin karşılaştırılması temel alınarak yapılmaktadır. Hesaplamalarda paranın zamana bağlı değeri dikkate alınmıştır. Isı yalıtımı, tadilat ve yenileme için gerekli yatırımın parasal değeri,

$$C_y \times (1 + i_{ef})^n \quad (4.49)$$

şeklinde ifade edilir. Yalıtım, tadilat ve yenileme ile sağlanan tasarrufu gösteren eğri, yapıda yapılan değişiklikler ile sağlanan ve TS 825'e göre hesaplanmış ısı tasarrufunun parasal değerinin yine paranın zamana bağlı değeri dikkate alınarak ileriki yıllara kümülatif taşınması ile elde edilmektedir. Sağlanan tasarrufun parasal değeri,

$$C_{tas} \times \frac{(1 + i_{ef})^{n+1} - 1}{i_{ef}} \quad (4.50)$$

denklemleriyle hesaplanır (TSE, 2008). TS 825 standardı ile yapılan geri ödeme süresi hesaplamalarında efektif faiz (i_{ef}) oranı %10 kabul edilmiştir.

4.5. Aydınlatma

Günlük yaşamın önemli bir parçası olan aydınlatma konut, ticari ve endüstri sektöründe en önemli elektrik kullanıcılarından biridir. Havalimanı terminal binalarında elektrik enerjisinin önemli bir kısmı aydınlatma amacıyla kullanılması ve çok daha verimli aydınlatma elemanlarının (lambda ve armatür) varlığı enerji verimliliği adına önemli bir fırsattır. Havalimanlarında görsel konfordan ödün vermeden aydınlatma sisteminin, minimum miktarda elektrik kullanarak, istenen aydınlatma seviyesine ulaşmak için doğru şekilde tasarlanması gerekmektedir.

Mevcut aydınlatma yapısının daha verimli aydınlatma elemanları ile değişiminin maliyet analizi yapılarak en iyi seçenek belirlenebilir. LCC yöntemiyle mevcut aydınlatma elemanlarının diğer aydınlatma elemanları ile değişiminin maliyet hesapları yapılarak en etkin çözüm belirlenebilir. Aydınlatma için lambaların kullanım ömrü boyunca toplam maliyeti,

$$LCC = \text{Enerji Maliyeti} + \text{Lamba Maliyeti} \quad (4.51)$$

denklemleriyle belirlenir (Dixit, Pathak ve Sudhakar, 2015).

Hasan Polatkan Havalimanı terminal binası için mevcut aydınlatma yapısının daha verimli aydınlatma elemanlarıyla değişimi sonucu enerji tasarrufları değerlendirilip en iyi seçenek belirlenecektir. Bu kapsamda aydınlatma için kurulu güç hesabı aşağıdaki denklemlerle hesaplanacaktır (Petrecca, 2014).

$$e = \frac{\Phi}{P} \quad (4.52)$$

Φ lambda başına nominal lümen (lm), P lambda başına giriş gücü (Watt) ve e (lm/W) lambda etkinlik faktörünü ifade eder. Toplam (lambda ve balast) etkinlik faktörü ise,

$$e_T = \frac{\Phi}{P_T} \quad (4.53)$$

denklemleriyle belirlenir. P_T toplam (lamba ve balast) giriş gücünü ifade eder. Giriş gücü başına efektif lümen,

$$i = \frac{e_T x f x g x h}{10^6} \quad (4.54)$$

denklemleriyle hesaplanır. f , g ve h sırasıyla kullanım katsayısı, lümen azalma faktörü ve kirlenme faktörüdür. Lamba başına efektif lümen ise,

$$l = \frac{\Phi x f x g x h}{10^6} \quad (4.55)$$

denklemleriyle hesaplanır. Toplam gerekli lümen,

$$I = m x n \quad (4.56)$$

denklemleriyle hesaplanır. m ve n sırasıyla ortalama gerekli lüks ve aydınlatılacak alanı ifade eder. Gerekli toplam lamba sayısı,

$$p = \frac{I}{l} \quad (4.57)$$

denklemleriyle hesaplandıktan sonra toplam kurulu güç,

$$q = \frac{I}{i} \quad (4.58)$$

denklemleriyle belirlenir. Birim alan başına kurulu güç,

$$q_b = \frac{q}{n} \quad (4.59)$$

denklemleriyle belirlenir. Yıllık enerji tüketimi (ET) ise,

$$ET = \frac{t x q}{1000} \quad (4.60)$$

denklemleriyle kWh/yıl olarak hesaplanır ve t çalışma saatini ifade eder. Yıllık enerji tasarrufu (ES) ise,

$$ES = ET_{Ref} - ET_y \quad (4.61)$$

denklemleriyle belirlenir. Burada ET_{Ref} ve ET_y sırasıyla mevcut aydınlatma yapısı ve yeni aydınlatma yapısını ifade eder. Yıllık parasal tasarruf ES değerinin elektriğin birim fiyatı

(TL/kWh) ile çarpılmasıyla elde edilir. Geri ödeme süresi ise ilk yatırım maliyetinin (YM) geri kazanılma süresidir ve

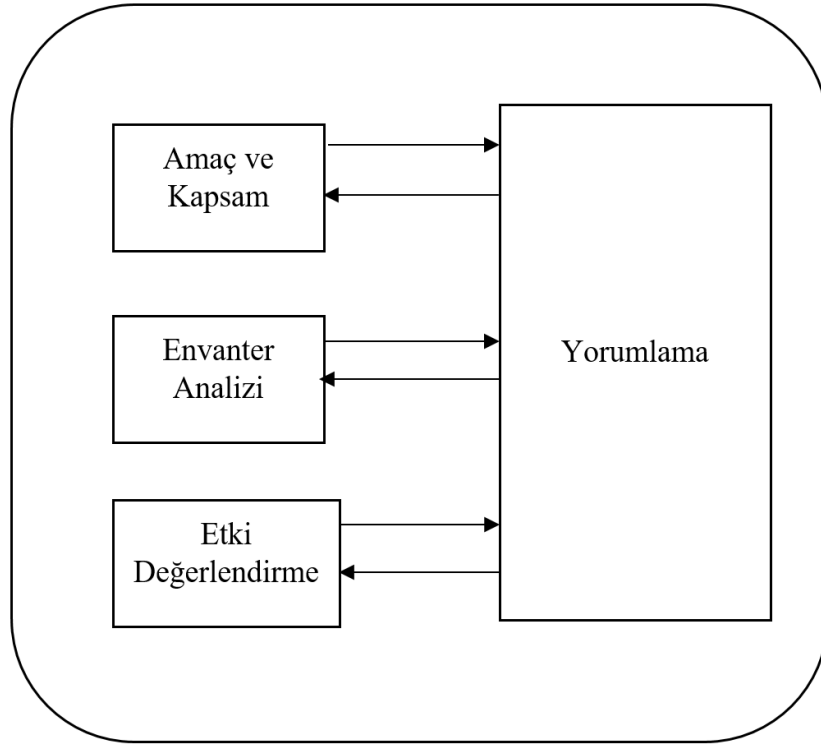
$$GÖS = - \frac{\Delta YM}{\Delta \dot{I}M} \quad (4.62)$$

ifadesiyle hesaplanabilir. Burada $\dot{I}M$ işletme maliyetlerindeki değişimi ifade eder (Mahlia, Razak, ve Nursahida, 2011).

4.6. Yaşam Döngü Değerlendirmesi (YDD)

YDD analizi, bir ürünün veya prosesin ham maddesinin doğadan elde edilmesi ile başlayıp, atık olarak doğaya geri dönene kadar (beşikten-mezara) geçen süreçte tüm çevresel boyutlarını değerlendiren bir yöntemdir. Yaşam döngü aşamaları, hammaddenin doğadan elde edilmesi, işlenmesi, ürüne veya hizmete dönüştürülmesi, taşınması ve dağıtımı, tüketici tarafından kullanılması, atık veya geri dönüşümüne kadar tüm aşamaları içerir (Khasreen, Banfill ve Menzies, 2009). YDD yöntemi Şekil 4.6’da gösterildiği gibi amaç ve kapsam, envanter analizi, etki değerlendirme ve yorumlama aşamalarından oluşmaktadır. YDD’nin önemi aşağıdaki maddelerde açıklanmıştır (ISO, 2006).

- Ürün veya hizmetlerin ömür döngülerinin farklı aşamalarında çevresel performans geliştirme fırsatlarını belirleme,
- Endüstri veya kuruluşlarda karar vericilere bilgi vermek,
- Çevresel performansın önemli göstergelerini seçmede yardımcı olmak,
- Pazarlamaya yardımcı olmaktır.



Şekil 4.6. YDD yönteminin aşamaları

4.6.1. Amaç ve kapsam

YDD'nin ilk adımı, problemin tanımlanması ve araştırmanın amacının belirlenmesidir. Belirlenen amaç açık ve şeffaf olmalıdır ve çalışmanın nedenleri tüm yönleriyle açıklanmalıdır. YDD kapsamı, çalışmanın işlevsel özelliklerini belirtmelidir. Bu nedenle kapsam tanımı, fonksiyonel birim, sistem sınırları, veri kalitesi gereksinimleri ve sistemler arasındaki karşılaştırma gibi hususlar dikkate alınmalı ve tanımlanmalıdır (Rebitzer vd., 2004).

İşlevsel birim, bir ürünün veya hizmetin temel işlevinin karakterize edilmesini sağlayan referans bir parametredir. Örneğin yalıtım malzemesinin üretimi için bu değer 1 kg alınabilir veya elektrik üretiminde 1 kWh elektrik üretimi seçilebilir. İşlevsel birim ürün veya hizmetin yaşam döngüsü boyunca neden olacağı etkilerin (birim başına) sayısallaştırılması için kullanılır. Yukarıda verilen örnekteki gibi 1 kg yalıtım malzemesinin veya 1 kWh elektrik üretiminin belirlenen sistem sınırları içinde neden olacağı çevresel etkileri belirlemek için kullanılır. İşlevsel birim çalışmanın amacı ve kapsamıyla tutarlı olmalı ve açıkça tanımlanmalıdır. Farklı çalışmalarla karşılaştırılmak istendiğinde işlevsel birimlerin aynı olması gerekir, aksi halde karşılaştırılma yapılamaz.

Sistem sınırları yapılacak olan YDD çalışmasının (ham maddenin doğadan elde edilmesi, üretim, nakliye, uygulama ve atık senaryoları) girdi ve çıktılarından oluşur. Veri kalitesi, mühendislik alanındaki diğer çalışmalar gibi YDD çalışmalarının sonuçları üzerinde büyük etkiye sahiptir bu nedenle, bir YDD çalışması yapılırken veri kalitesinin uygun değerlendirilmesi gereklidir. Veri kalitesi yüksek olsa bile, bu veriler hatalı bir şekilde kullanıldığında hatalı sonuçlar doğurabilir. Kullanılan veriler, yapılacak olan çalışmaya özgün olmalı ve çalışmayı temsil etmelidir (Pargana, 2012; Günkaya vd., 2016).

4.6.2. Envanter analizi

Yaşam döngü değerlendirme yönteminin ikinci aşaması olan envanter analizi sistem modelleme ve veri elde etme yöntemiyle ilgilidir. ISO yaşam döngü envanter analizini, girdilerin ve çıktıların derlenmesini ve nitelendirilmesini içeren bir aşama olarak tanımlamaktadır (Curran, 2012). Envanter analizi veri toplama, sistem sınırlarının incelenmesi, hesaplama, verinin geçerliliği, çalışmakta olan sistem ile ilgili veri ve paylaşırma aşamalarından meydana gelmektedir. Veri toplama, sistem sınırlarında belirtilen her bir proses için gerçekleştirilmelidir (Çokaygil, 2005). YDD çalışmasının kalitesi doğrudan envanter verilerinin kalitesi ile ilgilidir. Verilerin kaynağı, doğruluğu ve çalışmanın amacına uygunluğu YDD analizinin kalitesini artırır. Envanter analizinde ürün veya proses ile ilgili elde edilen verilerin kaynağı açıkça belirtilmelidir (Khasreen, Banfill ve Menzies, 2009).

4.6.3. Etki değerlendirme

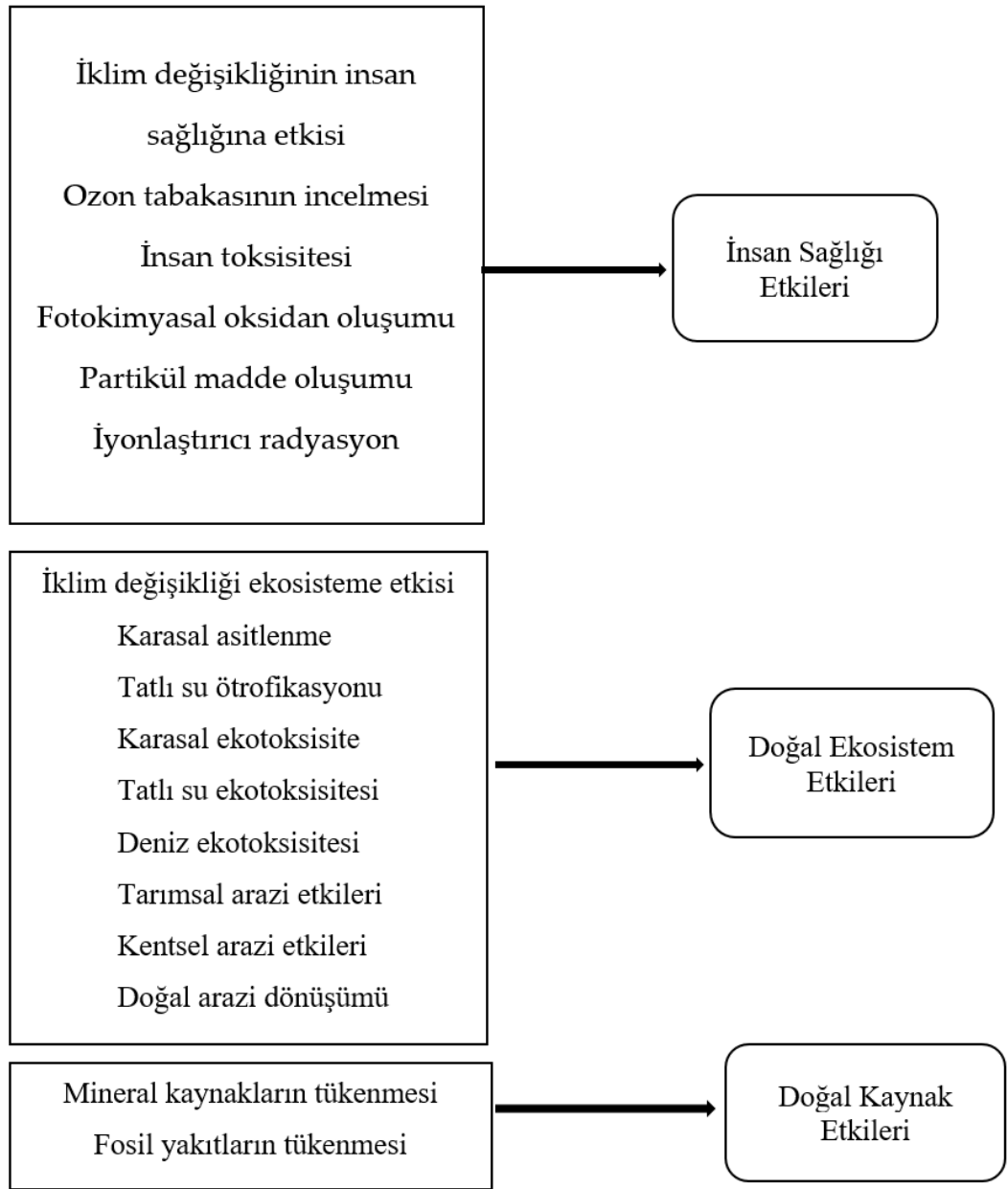
Yaşam döngü etki değerlendirmesi ya da kısaca etki değerlendirmesi, sistem sınırları belli olan bir YDD çalışmasında potansiyel etkilerin büyüklüğünün ve öneminin belirlenip değerlendirildiği aşamadır (Curran, 2012). Bu tezde belirlenen tüm eylem planları için YDD analizi yapılmış olup aşağıdaki etkiler incelenmiştir:

- Küresel ısınma potansiyeli (GWP),
- İnsan sağlığı (İS),
- Doğal ekosistem (DE),
- Kullanılabilir kaynaklar (KK).

IPCC 2013 IPCC 2007'nin güncellenmiş versiyonu olup Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (International Panel on Climate Change, IPCC) tarafından geliştirilmiştir. Bu yöntemle iklim değişikliği faktörünün etkileri 20, 100 ve 500 yıllık

zaman dilimleri için hesaplanabilir. Bu çalışmada küresel ısınma potansiyelinin (GWP) etkileri 100 yıllık zaman dilimi için hesaplanmıştır. Diğer etkiler (İS, DE ve KK) ReCiPe Endpoint (H) V1.13 / Europe ReCiPe H/A kullanılarak değerlendirilmiştir. ReCiPe, Eco-indicator 99 ve CML 2002 yöntemlerinin yeni versiyonudur. ReCiPe Şekil 4.7’de görülen 17 orta nokta etkiyi tahmin etmek için kullanılır. Şekil 4.7’de verilen 17 orta nokta etkisinin 3 son nokta etki kategorisine dönüştürülmesiyle İS, DE ve KK etkileri elde edilir (Goedkoop vd., 2009; Lamnatou ve Chemisana, 2015). YDD analizleri SimaPro 8.3.0.0 yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Modelde kullanılan veriler Sima Pro 8.3.0.0 yazılımında mevcut ecoinvent 3 veri tabanından elde edilmiştir.





Şekil 4.7. ReCiPe orta nokta ve son nokta etkileri arasındaki ilişki

4.6.4. Yorumlama

YDD'nin son aşaması olan yorumlama; analiz sonucu elde edilen bulguların çalışmanın amaç ve kapsamına uygun değerlendirilmesidir. Ayrıca çalışma sonuçlarının kolayca anlaşılabilir, eksiksiz ve tutarlı değerlendirilmesi bu aşamada gerçekleştirilir. Bu çalışmada enerji iyileştirme fırsatları için oluşturulan eylem planları ile ilgili en sürdürülebilir senaryoların değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda eylem planları ile ilgili tüm senaryolar değerlendirilerek çevresel geri ödeme süresi en kısa (en çevreci)

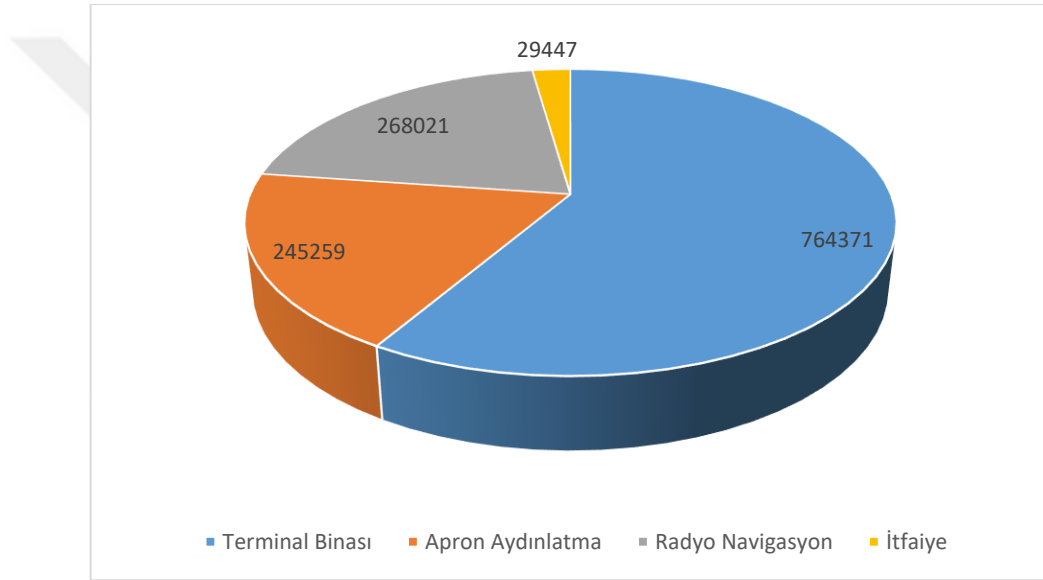
olanı belirlemek bu çalışmanın başlıca amaçlarından biridir. Denklem (4.63)'te belirtildiği gibi eylem planının belirlenen sistem sınırları içerisinde neden olduğu etkilerin tasarruf edilecek enerjinin neden olacağı etkilere bölünmesiyle çevresel geri ödeme süresi belirlenmiştir.

$$GÖS = \frac{\text{Eylem Planının Yaşam Döngü Etkileri}}{\text{Enerji Tasarrufunun Yaşam Döngü Etkileri}} \text{ (yıl)} \quad (4.63)$$

5. BULGULAR VE DEĞERLENDİRMELER

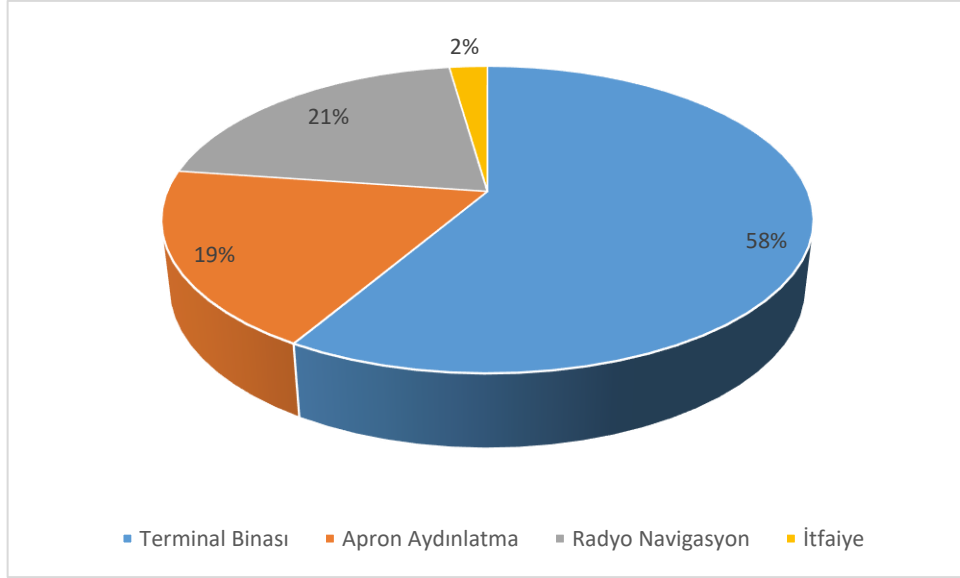
5.1. Havalimanı Enerji Tüketim Haritası

Havalimanında 1 Kasım 2016 ile 31 Ekim 2017 tarihleri arasında geçen bir yıllık süreçte enerji tüketimi incelenmiş ve Şekil 5.1’de görüldüğü gibi enerji tüketim haritası oluşturulmuştur. Bir yıllık süreçte gerçekleşen toplam enerji tüketimi 1,307,098 kWh’tir. Enerji tüketen yapı ve süreçler incelendiğinde terminal binası, apron aydınlatma, radyo navigasyon sistemleri ve itfaiye binasında sırasıyla 764,371 kWh, 245,259 kWh, 268,021 kWh ve 29,447 kWh enerji tüketilmiştir.



Şekil 5.1. Havalimanında enerji tüketim değerleri (kWh)

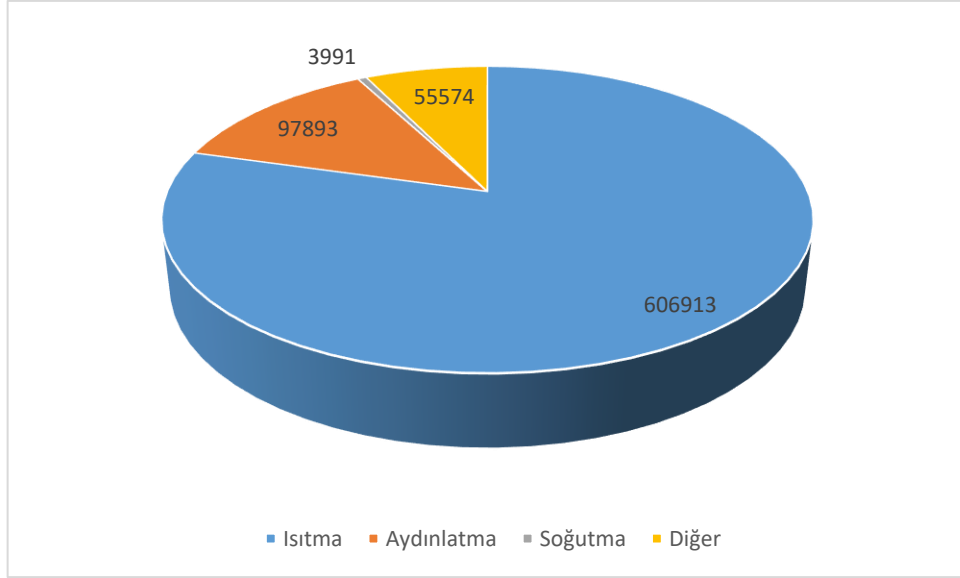
Bir yıllık süreçte Şekil 5.2’den de görüldüğü gibi toplam enerji tüketiminin %58’i terminal binasında gerçekleşmiştir. Apron aydınlatma amaçlı enerji tüketimi, toplam tüketimin %19’undan, radyo navigasyon sistemleri ise toplam tüketimin %21’inden sorumludur. En düşük enerji tüketimi ise %2’lik payla itfaiye binasında gerçekleşmiştir.



Şekil 5.2. Havalimanında enerji tüketim yüzdeleri

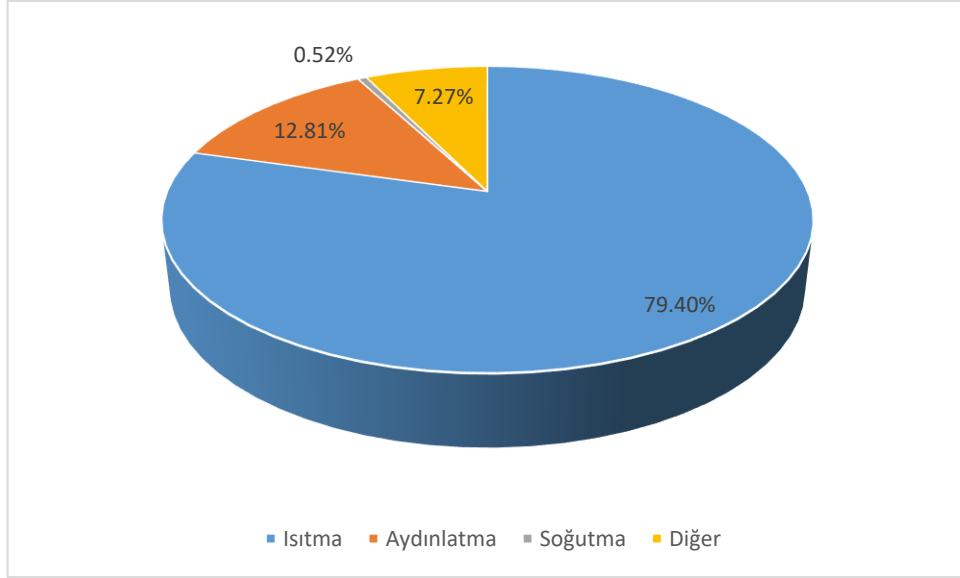
5.2. Terminal Binası Enerji Tüketim Haritası

Enerji yönetim sistemlerinde belirlenen kapsam ve sınırlarda hangi amaçla ne kadar enerji tüketildiğini belirlemek bir gerekliliktir. 1 Kasım 2016 ile 31 Ekim 2017 arasında geçen bir yıllık süreçte Havalimanı terminal binasında gerçekleşen toplam enerji tüketimi 764,371 kWh'tir. Şekil 5.3'te görüldüğü üzere terminal binasında enerji tüketimi ısıtma, aydınlatma, soğutma ve diğer (ofis ekipmanları X-ray cihazları, otomatik kapılar, bagaj bantları vb.) amaçlar için sırasıyla 606,913 kWh, 97,893 kWh 3,991 ve 55,574 kWh kWh olarak gerçekleşmiştir.



Şekil 5.3. Havalimani terminal binasında gerçekleşen enerji tüketimi (kWh)

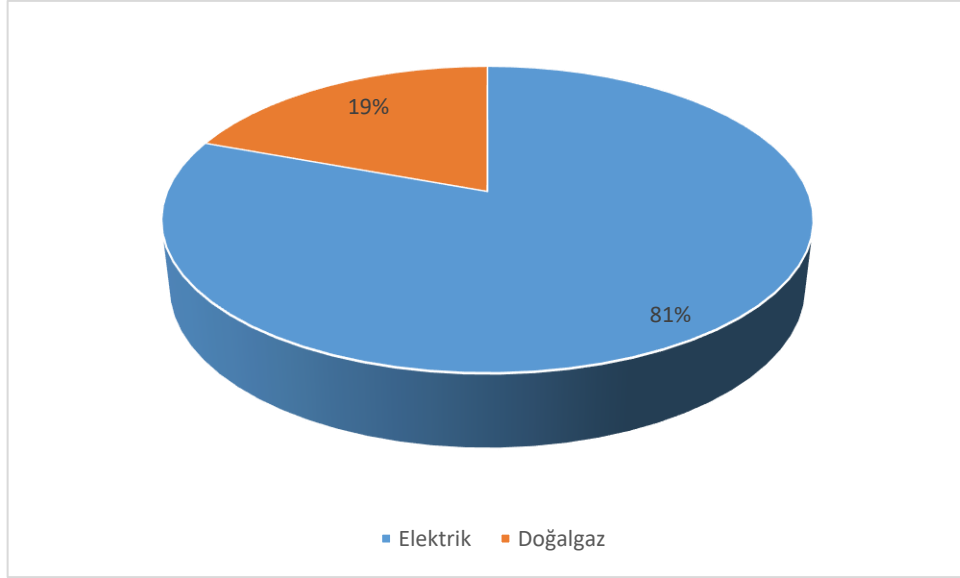
Terminal binasında enerjinin %79.40'ı ısıtma, %0.52'si soğutma, %12.81'i aydınlatma ve %7.27'sinin diğer amaçlar için kullanıldığı Şekil 5.4'te görülmektedir. Enerji etütleri yapılırken enerji tüketim haritaları göz önünde bulundurularak yapılmalıdır. Terminal binasının ısıtılması ve aydınlatılması amacıyla kullanılan enerji toplam yükün %92.21'ini oluşturmaktadır. Bundan dolayı bu tezde enerji analizleri yapılırken bu gerçek göz önünde bulundurulmuştur. Isıtma sistemi ve bina kabuğunun durumu enerji verimliliği ölçüm cihazlarıyla sürekli izlenmiş ve bununla ilgili eylem planları ve tasarruf potansiyelleri belirlenmiştir.



Şekil 5.4. Havalimanı terminal binası enerji tüketim yüzdeleri

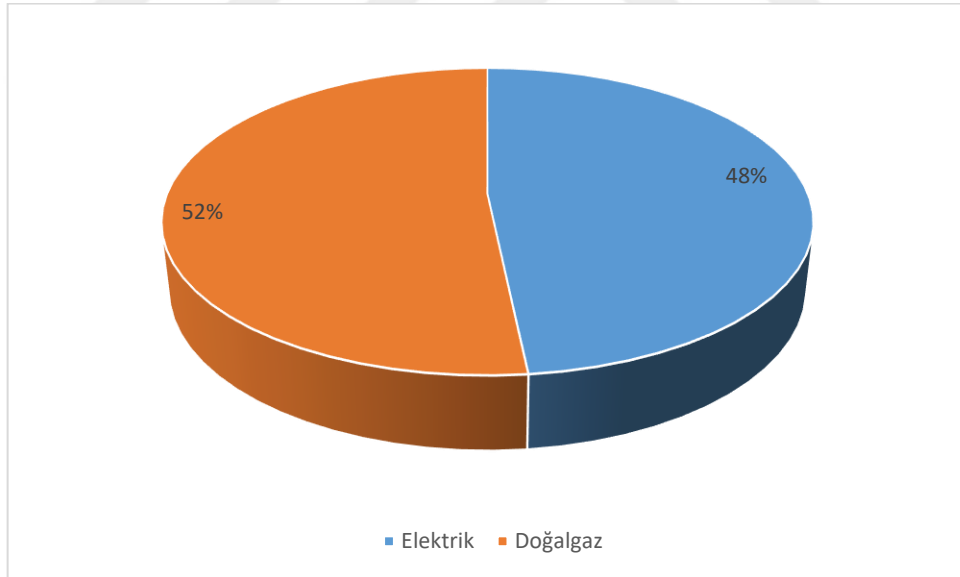
5.2.1. Enerji maliyetleri

Havalimanında kullanılan enerji kaynakları elektrik ve doğal gazdan oluşmaktadır. 1 Kasım 2016 ile 31 Ekim 2017 arasında enerji tüketiminin yıllık maliyetleri belirlenmiştir. Enerjinin birim fiyatı dağıtım şirketlerinin belirlediği fiyatlar üzerinden hesaplanmıştır ([http-10](#), [http-11](#)). Şekil 5.5'te görüldüğü gibi havalimanındaki enerji maliyetlerinin %81'i elektrik %19'u ise doğal gaz kullanımından kaynaklanmaktadır. Havalimanında enerji maliyetlerinin toplamı 408,195 TL olmakla beraber, terminal binasında enerji kullanımı kaynaklı toplam maliyet ise 153,112 TL'dir.



Şekil 5.5. Havalimanı enerji maliyet dağılımı

Terminal binasında Şekil 5.6’da görüldüğü üzere yıllık enerji maliyetlerinin %52’si doğal gaz ve %48’i ise elektrik kullanımından kaynaklanmaktadır.



Şekil 5.6. Havalimanı terminal binası enerji maliyet dağılımı

5.3. Enerji Performans Göstergeleri

Ön etütlerin temel amacı enerji haritaları, EPG’ler ve enerji referans çizgilerinin belirlenmesidir. Bu bölümde havalimanında EPG’ler belirlenecektir. EPG’lerin belirlenmesi için geçmiş dönemlere ait enerji tüketim verileri ve sayılabilen

(sayısallaştırılabilen) değişkenler kullanılmıştır. EPG'lerin belirlenmesinde istatistiksel bir yöntem olan regresyon analizi kullanılmıştır. Bu yöntem ile enerji tüketiminin değişkenlerle hangi oranda değiştiği belirlenmiştir. Regresyon analizi, aylık bazda 1 Kasım 2016 ile 31 Ekim 2017 arasında gerçekleşen toplam enerji tüketiminin derece gün (HDD ve CDD), yolcu sayısı, uçuş sayısı ve taşınan yük miktarı ile değişimi analiz edilmiş bunlarla ilgili bulunan anlamlı sonuçlar sırasıyla verilmiştir. Yapılan regresyon analizinde havalimanında gerçekleşen toplam enerji tüketiminin sadece yolcu sayısı ve HDD ile değiştiği görülmüştür. Tablo 5.1.'de regresyon modelinde kullanılan toplam enerji tüketimi, yolcu sayısı ve HDD değerleri verilmiştir. Havalimanı terminal binasının ısıtılmasında kullanılan kazanların işletme parametreleri dikkate alınarak HDD değerleri hesaplanmıştır. Isıtma amaçlı kullanılan kazanlarda ısıtma eşiği 15 °C değerine kurulmuştur. Ayrıca ısıtmanın olmadığı aylarda HDD değerleri veri kalitesi ve model anlamlılığı için hesaplamalara dahil edilmemiştir.

Tablo 5.1.'de terminal binasında gerçekleşen toplam enerji tüketimi ve değişkenler verilmiştir. Bu değerler kullanılarak regresyon analizi uygulanmış ve terminal binasındaki enerji tüketim denklemi elde edilmiştir. Burada belirtilmesi gereken en önemli konu tablodan da anlaşılacağı gibi 11 aylık veriler kullanılmıştır. Bunun nedeni, Ekim 2017 tarihinde havalimanında yapılan tadilat işlemleri ve kazanların diğer aylara göre düzensiz çalıştırılmasıdır.

Tablo 5.1. Terminal binası enerji tüketim değerleri ve değişkenler

Tarih	Terminal Binası Toplam Enerji Tüketimi (kWh)	Yolcu Sayısı	HDD
Kasım 2016	86900	2,140	332
Aralık 2016	154443	3,273	567
Ocak 2017	164463	2,398	612
Şubat 2017	113203	2,191	420
Mart 2017	86066	2,944	295
Nisan 2017	69984	4,495	214
Mayıs 2017	12168	5,633	0
Haziran 2017	12398	5,945	0
Temmuz 2017	15630	13,576	0
Ağustos 2017	16929	16,935	0
Eylül 2017	13904	8,805	0

Havalimanı terminal binasında gerçekleşen toplam enerji tüketimine ait denklem aşağıdaki gibi bulunmuştur:

$$\text{Enerji Tüketimi} = 9027.59 + 250.49 \times \text{HDD} + 0.52 \times \text{Yolcu Sayısı} \quad (5.1)$$

Bu denklemden de anlaşılabacağı gibi HDD'nin 1 birimlik değişimi ile enerji tüketimi 250.49 kWh değişmektedir. Ayrıca havalimanındaki her bir yolcu değişimi ile enerji tüketimi 0.52 kWh değişmektedir. Regresyon analizine ait R^2_{adj} değeri 0.99 olarak bulunmuştur. Bunun anlamı enerji tüketimiyle HDD ve yolcu sayısı arasında pozitif çok güçlü bir ilişki olduğudur. Diğer bir deyişle HDD ve yolcu sayısındaki değişim enerji tüketimini %99 oranında açıklamaktadır.

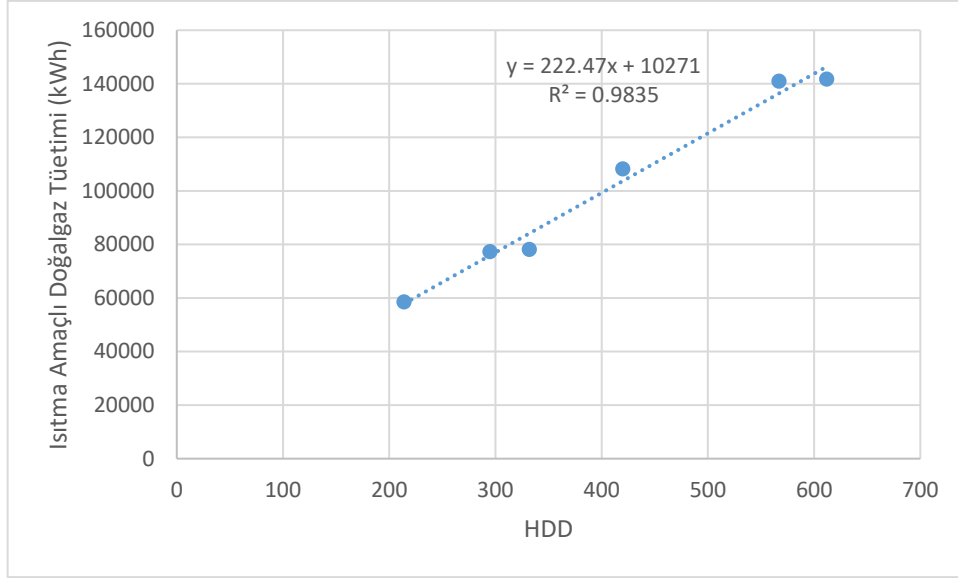
Tüm değişkenler (HDD, CDD, yolcu sayısı, uçuş sayısı, taşınan yük) kullanılarak yapılan çoklu regresyon analizlerinde terminal binasında enerji tüketimini etkileyen değişkenler HDD ve yolcu sayısı olarak bulunmuştur. HDD ve yolcu sayısı dışındaki değişkenlerin enerji tüketimiyle anlamlı ilişkisinin olmadığı görülmüştür. Bu nedenle terminal binasında EPG'ler HDD ve yolcu sayısı olarak belirlenmiştir.

Terminal binasında ısıtmanın gerçekleştiği aylarda, ısıtma amaçlı doğal gaz tüketimi ile HDD arasındaki ilişki ayrıca değerlendirilmiştir. Bu verilerle gerçekleştirilen analizlerde elde edilen sonuçlar Şekil 5.7'de gösterilmiş olup doğal gaz tüketimiyle HDD arasında çok güçlü pozitif bir ilişkinin ($R^2 = 98.3$) olduğu sonucuna varılmıştır. Şekil 5.7'den de görüleceği gibi terminal binasında ısıtma amaçlı kullanılan doğal gaz ile HDD arasındaki matematiksel ilişki Denklem (5.2)'deki gibidir.

$$\text{Enerji Tüketimi}(\text{Doğal gaz}) = 10271 + 222.47 \times \text{HDD} \quad (5.2)$$

Terminal binasında ısıtma amaçlı kullanılan doğal gaz ile HDD arasındaki ilişkinin güçlü olmasının bir diğer önemi ise ısıtma sisteminin dış hava kompanzasyonunun doğru çalışıp çalışmadığının belirlenmesidir. Bu amaçla bu ilişki sürekli analiz edilmiştir.

Yukarıdaki tüm sonuçlardan görüldüğü gibi doğal gaz ve elektrik tüketiminin yolcu sayısı ve HDD ile değişimi matematiksel olarak ifade edilmiş aynı zamanda ilişkinin gücü de belirtilmiştir. Bu denklemler (beklenen enerji tüketim denklemleri) eylem planları uygulandıktan sonra kullanılacak ve gerçek enerji tüketimiyle kıyaslanarak tasarruf miktarı belirlenecektir.

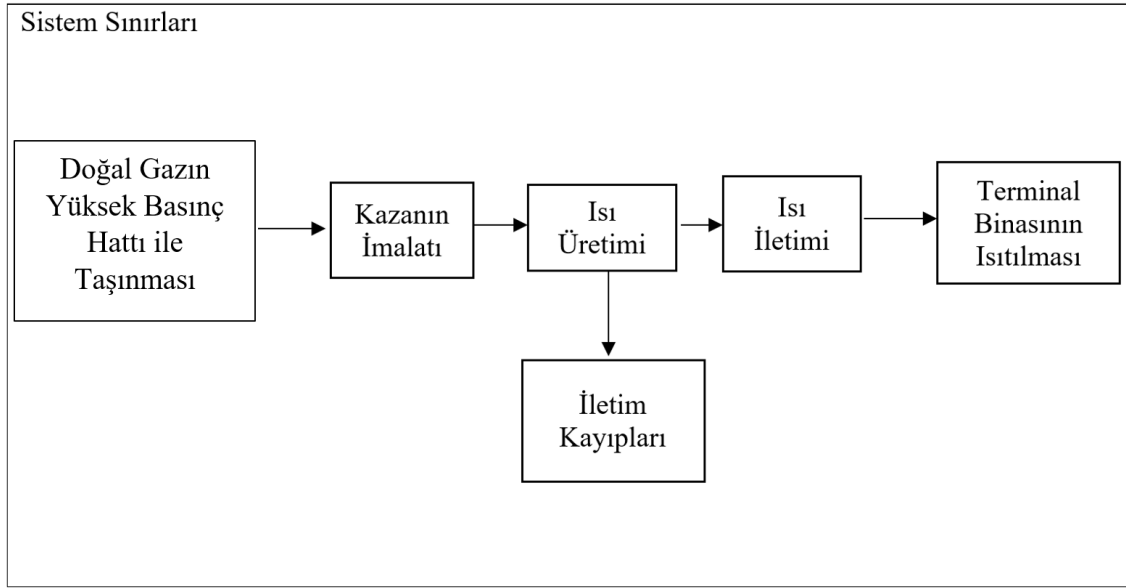


Şekil 5.7. Terminal binası doğal gaz tüketimi ile HDD arasındaki ilişki

5.4. Havalimanında Enerji Tüketimi Kaynaklı Çevresel Etkiler

Hasan Polatkan havalimanında enerji kaynaklı çevresel etkiler YDD yöntemiyle belirlenmiş ve çevresel etki haritaları oluşturulmuştur. Burada özellikle vurgulanması gereken nokta enerji tüketiminin belirlenen sistem sınırları içerisindeki tüm etkileri dikkate alınmıştır. Çevresel haritalar, tüm sera gazlarının küresel ısınma potansiyeli (GWP) için bir ölçüt olan CO₂ eşdeğer (CO_{2e}.) değeri dikkate alınarak oluşturulmuştur.

Elektrik üretimi ve doğal gazın yanması sonucu açığa çıkan sera gazlarının neden olduğu çevresel etkileri belirlemek ve bunları haritalandırmak amacıyla yapılan YDD analizinde doğal gaz için belirlenen sistem sınırları Şekil 5.8’de gösterilmiştir. İşlevsel birim olarak 1 kWh ısı üretimi seçilerek analizler gerçekleştirilmiştir. Doğal gazdan 1 kWh ısı üretiminin neden olduğu çevresel etkiler SimaPro yazılımının 8.3.0.0 versiyonunda mevcut ecoinvent 3 veri tabanından elde edilmiştir.



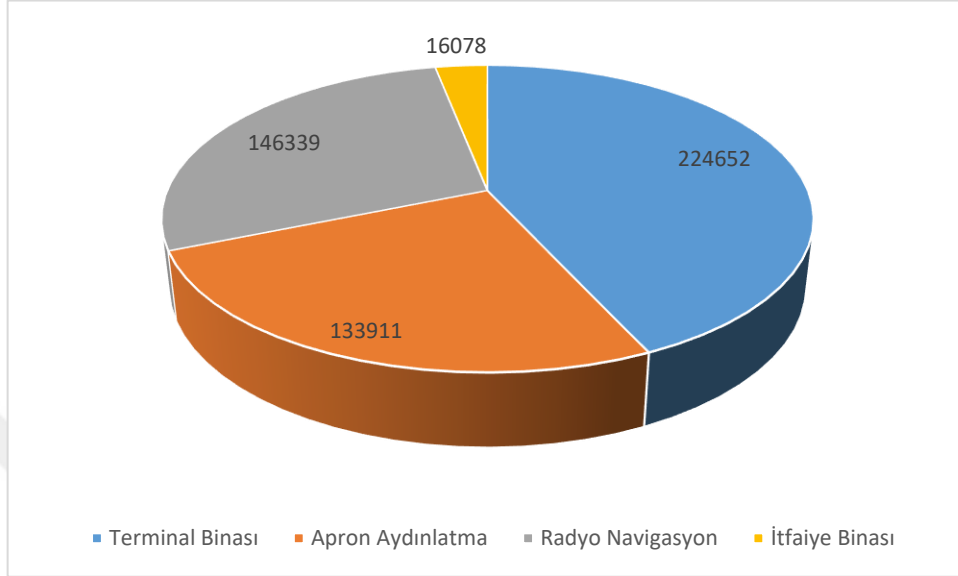
Şekil 5.8. Doğal gaz için sistem sınırları

2017 yılı Temmuz sonu itibariyle Türkiye’de elektrik üremi için kullanılan kaynaklar ve oranları aşağıdaki gibidir (http-12):

- Doğal gaz %34,
- Kömür %31,
- Hidrolik %24,
- Rüzgâr %6,
- Jeotermal %2,
- Diğer %3,

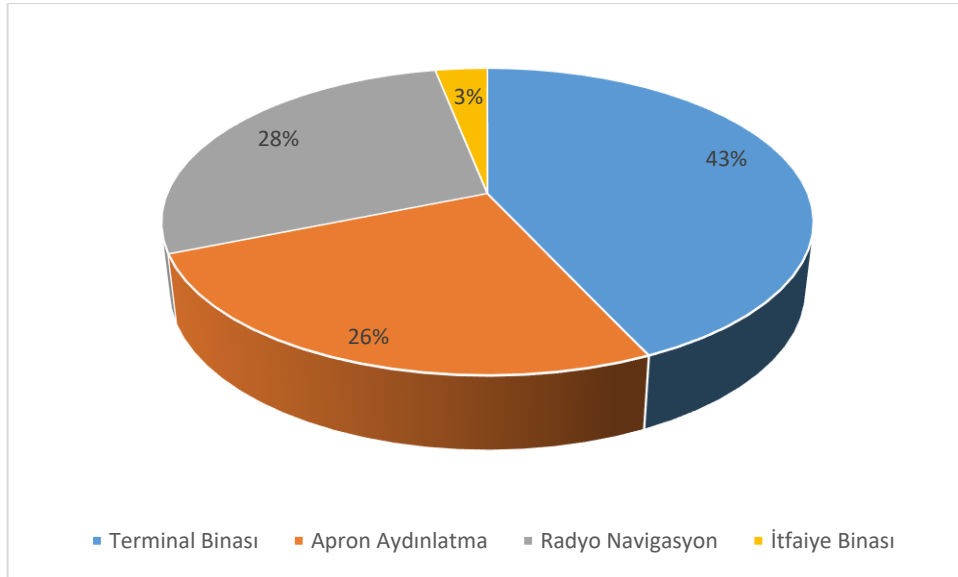
Türkiye’de elektrik üretiminden kaynaklı çevresel etkilerin belirlenmesinde literatürde yapılan mevcut çalışmalar incelendiğinde belirlenen sistem sınırlarına, her bir kaynağın hammaddesinin doğadan elde edilmesiyle başlayıp elektrik üretim tesisinin kurulması ve üretim tesisinin işletme ömrünü tamamlaması arasında geçen tüm süreçler dahil edilmiştir (Günkaya vd., 2016; Atılğan ve Azapagic, 2016). Elektrik üretiminin çevresel etki analizinde diğer çalışmalarda olduğu gibi işlevsel birim 1 kWh olarak seçilmiştir. Etki değerleri, ecoinvent 3 veri tabanından Türkiye’de 1 kWh saat elektrik üretiminin neden olduğu etkiler elde edilmiştir. Veri tabanından elde edilen değer ile Atılğan ve Azapagic’in (2016) yaptığı çalışmadaki GWP değeri karşılaştırıldığında birebirine çok yakın olduğu görülmüştür.

Şekil 5.9’da gösterildiği gibi terminal binası, apron aydınlatma, radyo navigasyon sistemleri ve itfaiye binasında enerji kaynaklı GWP değerleri sırasıyla 224,625 kg CO_{2e}., 133,911 kg CO_{2e}, 146,339 kg CO_{2e} ve 16,078 kg CO_{2e}’dir.



Şekil 5.9. Havalimanında enerji tüketimi kaynaklı çevresel etkiler (kg CO_{2e})

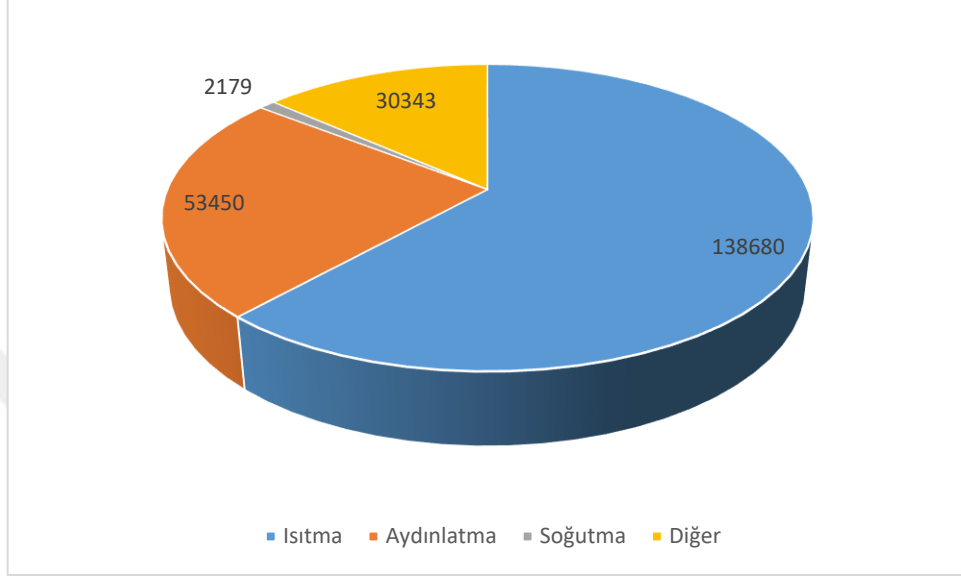
Şekil 5.10’den görüleceği gibi GWP etkilerinin %43’ü terminal binasında, %26’sı apron aydınlatmada, %28’si radyo navigasyon sistemlerinde ve %3’ü de itfaiye binasında kullanılan enerjiden kaynaklanmaktadır.



Şekil 5.10. Havalimanında enerji tüketimi kaynaklı çevresel etki oranları

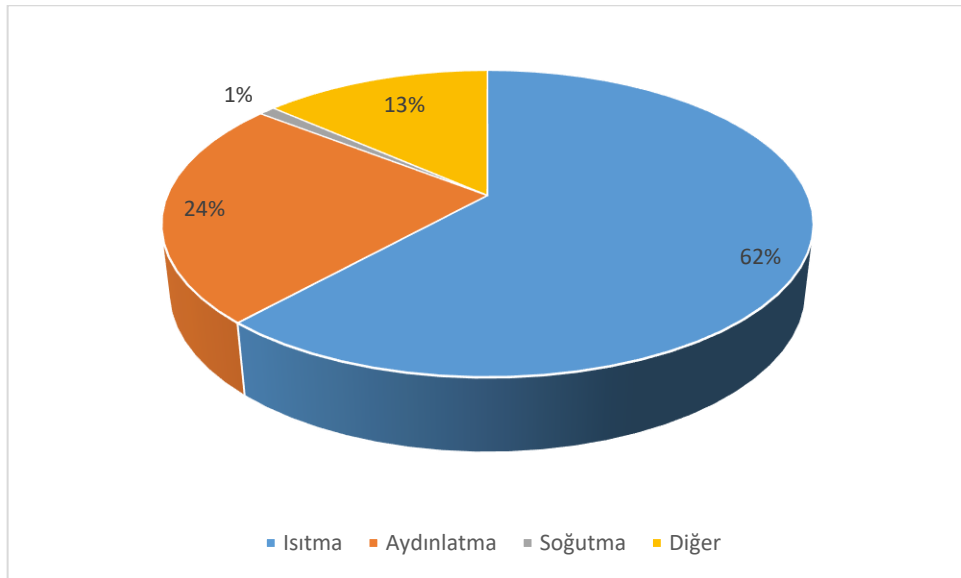
5.5. Terminal Binası Enerji Tüketimi Kaynaklı Çevresel Etkiler

Terminal binasında GWP etkilerinin Şekil 5.11'den görüldüğü gibi sırasıyla 138,680 kg CO_{2e}, ısıtma, 53,450 kg CO_{2e}, aydınlatma, 2,179 kg CO_{2e}, soğutma ve 30,343 kg CO_{2e}, ise diğer amaçlar için kullanılan enerjiden kaynaklanmaktadır.



Şekil 5.11. Terminal binasında enerji kullanımı kaynaklı çevresel etkiler (CO_{2e})

Terminal binasında enerji kullanımı kaynaklı GWP etkilerinin Şekil 5.12'de görüldüğü gibi %62'si ısıtma, %24'ü aydınlatma, %1'i soğutma ve %13'ü diğer amaçlar için kullanılan enerjiden kaynaklanmaktadır.



Şekil 5.12. Terminal binasında enerji kullanımı kaynaklı çevresel etki oranları

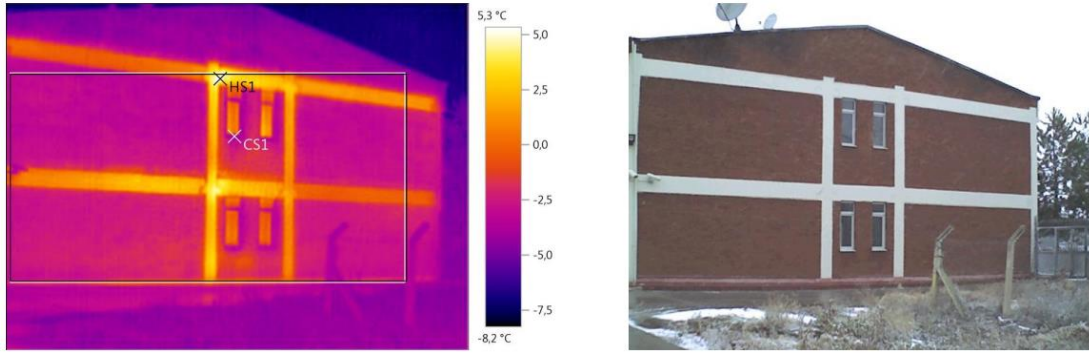
5.6. Detay Etütler ve Enerji İyileştirme Fırsatlarının Belirlenmesi

Enerji yönetimi çalışmalarında, enerji iyileştirme fırsatlarının belirlenmesinde kullanılan en etkili yol detay etütlerdir. Detay etütler sayesinde enerji tüketim noktaları enerji verimliliği ölçüm cihazları da kullanılarak analiz edilir. Enerji israfının olduğu noktalar tespit edilerek bunlarla ilgili eylem planları oluşturulur ve mühendislik analizler gerçekleştirilir. Ayrıca detay etütler sayesinde enerji tasarruf potansiyeli belirlenir. Önceki bölümlerde oluşturulan enerji haritaları ve belirlenen önemli enerji kullanıcılarının detaylı incelenmesi ve mühendislik analizleri bu bölümde yapılmıştır.

Terminal binasındaki enerji tüketimlerine bakıldığında ısıtma ve aydınlatma amaçlı enerji tüketimi toplam tüketimin %92'sini oluşturmaktadır. Bu yüzden detay etütler yapılırken bu gerçek göz önünde bulundurulmuştur. Öncelikle ısıtma amaçlı enerji tüketimi toplam kullanımın %79.4'ünü oluşturduğu görülmüş ve nedenleri araştırılmıştır. Isıtma amaçlı kullanılan enerji miktarında ısıtma sistemi ve terminal bina kabuğunun performansının önemi göz önünde bulundurulmuştur. Öncelikle terminal bina kabuğunun performansı termal kamera yardımıyla görüntülenmiştir. Daha sonra ısıtma sisteminde (kazanlar) belirli aralıklarla baca gazı ölçümleri gerçekleştirilmiştir. TS 825 standardı kullanılarak terminal binasının ısıtma enerjisi ihtiyacı hesaplanarak gerçek tüketim değerleriyle karşılaştırılmıştır.

5.6.1. Terminal bina kabuğunun termal görüntüleri

Terminal bina kabuğunda (duvar, çatı, pencere ve kapılar) meydana gelen ısı kayıpları ve düzensizlikler termal kamera kullanılarak görüntülenmiştir. Terminal binasının duvarlarındaki ısı düzensizlikleri ve kayıpları termal görüntülerden (Görsel 5.1-5.4) anlaşılmaktadır. Özellikle kat geçişlerinde (kiriş) ve kolonlarda meydana gelen ısı köprülerinden dolayı bu bölgelerdeki ısı kayıpları daha fazladır. Görüntülerde duvarlarda seçilen ve analiz edilen bölgelerdeki en sıcak ve en soğuk nokta arasındaki farkın ve histogram grafiğindeki ısı dağılımına bakıldığında sıcak bölgelerin oran olarak bir hayli yüksek olduğu görülmektedir. Termal görüntülemelerde sarıdan maviye doğru belirtilen sıcaklık profilinde mavi bölgeler ısı kayıplarının olmadığı bölgeleri sarı bölgeler ise ısı kayıplarının en yoğun olduğu bölgeleri belirtmektedir.



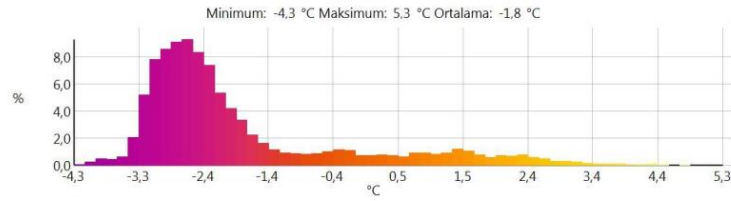
Resim parametreleri:

Emisyon derecesi: 0,94
Yans. sic. [°C]: 20,0

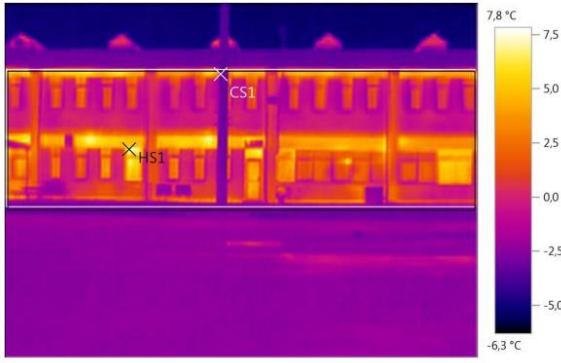
Resim işaretleri:

Ölçüm nesneleri	Sıcaklık [°C]	Emisiv.	Yans. sic. [°C]	Notlar
En soğuk nokta 1	-4,3	0,94	20,0	-
En sıcak nokta 1	5,3	0,94	20,0	-

Histogram:



Görsel 5.1. Terminal binası dış duvarından termal görüntü 1



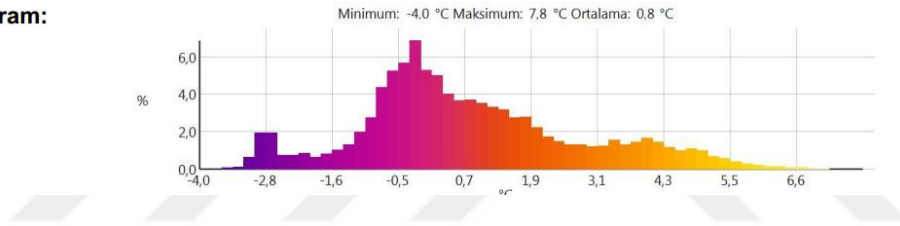
Resim parametreleri:

Emisyon derecesi: 0,94
Yans. sic. [°C]: 20,0

Resim işaretleri:

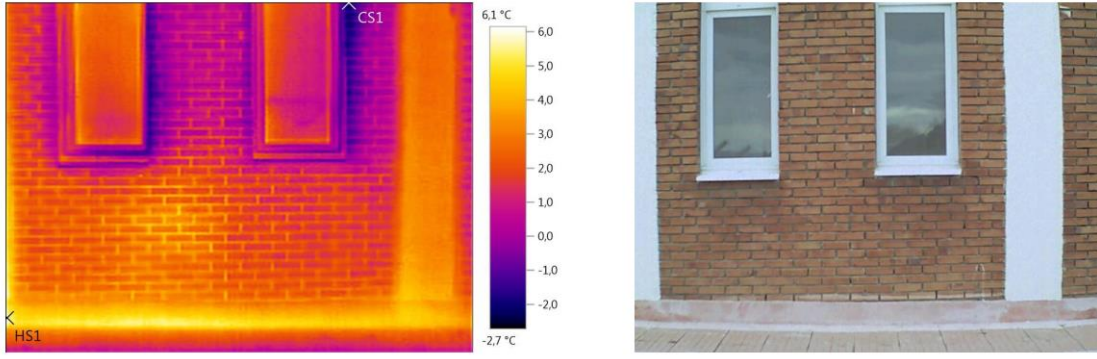
Ölçüm nesneleri	Sıcaklık [°C]	Emisiv.	Yans. sic. [°C]	Notlar
En soğuk nokta 1	-4,0	0,94	20,0	-
En sıcak nokta 1	7,8	0,94	20,0	-

Histogram:



Görsel 5.2. Terminal binası dış duvarından termal görüntü 2

Terminal binası duvarlarında yakından çekilen termal görüntülere bakıldığında ısı köprüleri ve ısı kayıpları daha net görülmektedir. Ayrıca pencerelerden meydana gelen ısı kayıpları da termal görüntülerden anlaşılacağı gibi bir hayli fazladır.



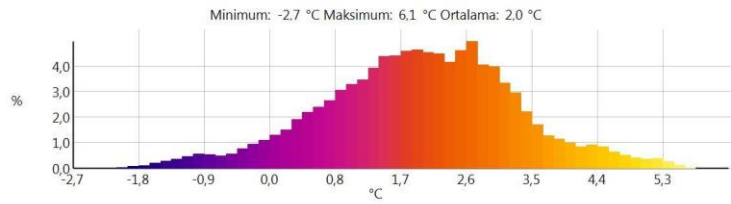
Resim parametreleri:

Emisyon derecesi: 0,94
Yans. sic. [°C]: 20,0

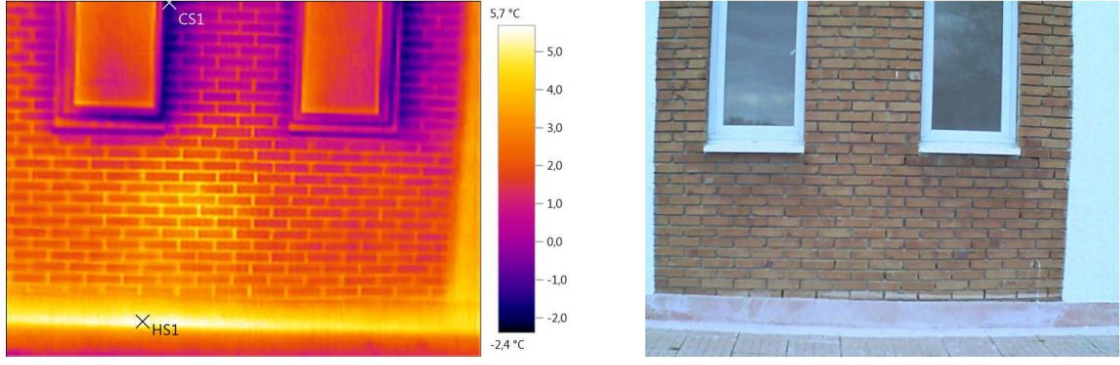
Resim işaretleri:

Ölçüm nesneleri	Sıcaklık [°C]	Emisiv.	Yans. sic. [°C]	Notlar
En soğuk nokta 1	-2,7	0,94	20,0	-
En sıcak nokta 1	6,1	0,94	20,0	-

Histogram:



Görsel 5.3. Terminal binası dış duvarından termal görüntü 3



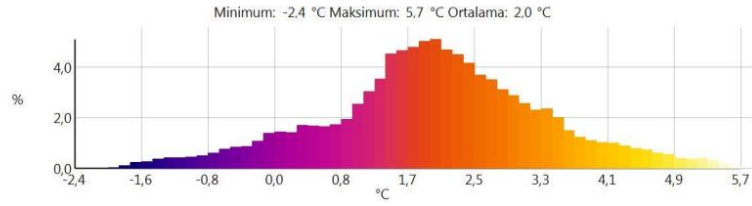
Resim parametreleri:

Emisyon derecesi: 0,94
Yans. sic. [°C]: 20,0

Resim işaretleri:

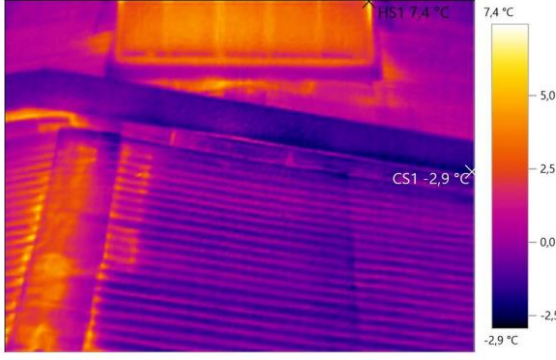
Ölçüm nesneleri	Sıcaklık [°C]	Emisiv.	Yans. sic. [°C]	Notlar
En soğuk nokta 1	-2,4	0,94	20,0	-
En sıcak nokta 1	5,7	0,94	20,0	-

Histogram:



Görsel 5.4. Terminal binası dış duvarından termal görüntü 4

Terminal binasının çatısında gerçekleştirilen termal görüntülemeler sonucunda, en sıcak ve en soğuk nokta arasındaki farkın bir hayli yüksek olduğu görülmektedir. Ayrıca histogram grafiğindeki sıcaklık dağılımlarına bakıldığında sıcak bölgelerin oransal olarak yoğun olduğu açıkça görülmektedir. Aşağıdaki görsellerden (Görsel 5.5-5.8) anlaşılabacağı üzere terminal binası çatısında ısı kayıplarının fazla olması termal yalıtım eksikliğinden kaynaklanmaktadır.



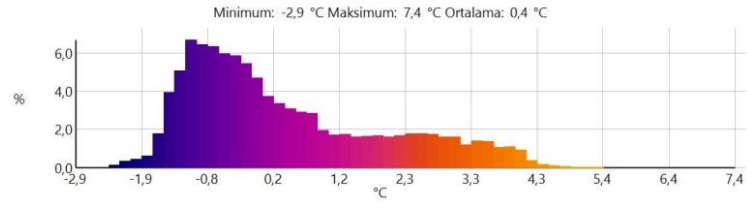
Resim parametreleri:

Emisyon derecesi: 0,94
Yans. sic. [°C]: 20,0

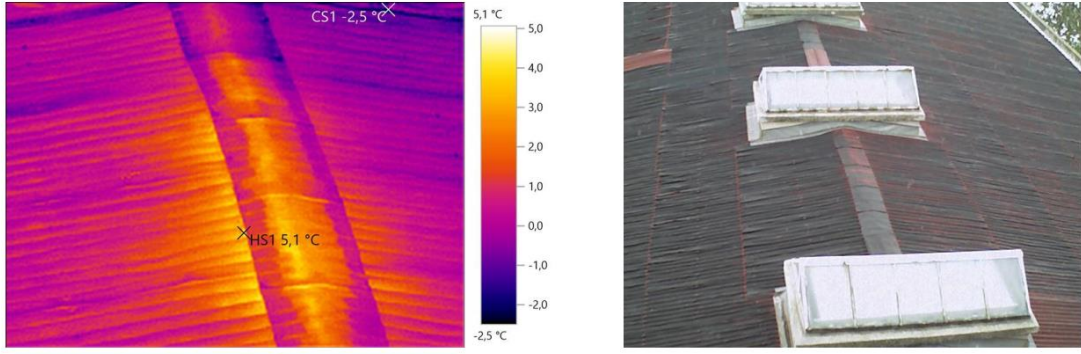
Resim işaretleri:

Ölçüm nesneleri	Sıcaklık [°C]	Emisiv.	Yans. sic. [°C]	Notlar
En soğuk nokta 1	-2,9	0,94	20,0	-
En sıcak nokta 1	7,4	0,94	20,0	-

Histogram:



Görsel 5.5. Terminal binası çatısından termal görüntü 1



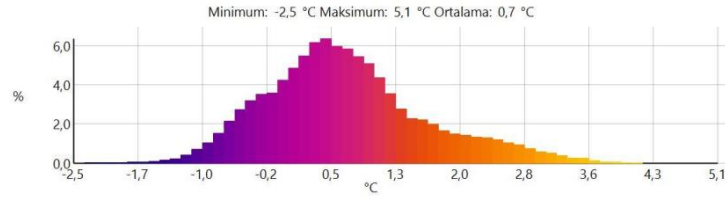
Resim parametreleri:

Emisyon derecesi: 0,94
Yans. sic. [°C]: 20,0

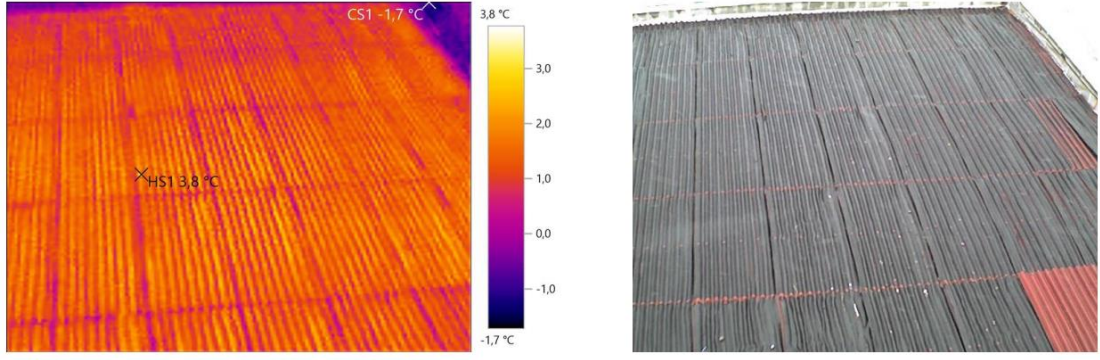
Resim işaretleri:

Ölçüm nesneleri	Sıcaklık [°C]	Emisiv.	Yans. sic. [°C]	Notlar
En soğuk nokta 1	-2,5	0,94	20,0	-
En sıcak nokta 1	5,1	0,94	20,0	-

Histogram:



Görsel 5.6. Terminal binası çatısından termal görüntü 2



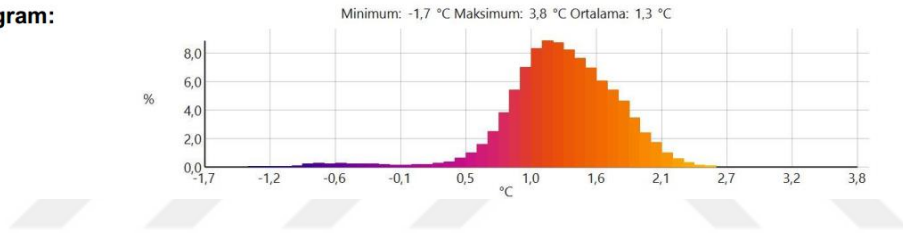
Resim parametreleri:

Emisyon derecesi: 0,94
Yans. sic. [°C]: 20,0

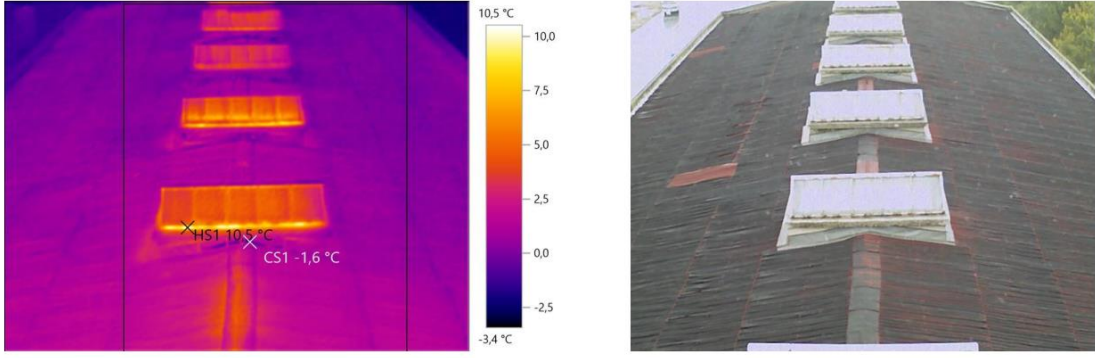
Resim işaretleri:

Ölçüm nesneleri	Sıcaklık [°C]	Emisiv.	Yans. sic. [°C]	Notlar
En soğuk nokta 1	-1,7	0,94	20,0	-
En sıcak nokta 1	3,8	0,94	20,0	-

Histogram:



Görsel 5.7. Terminal binası çatısından termal görüntü 3



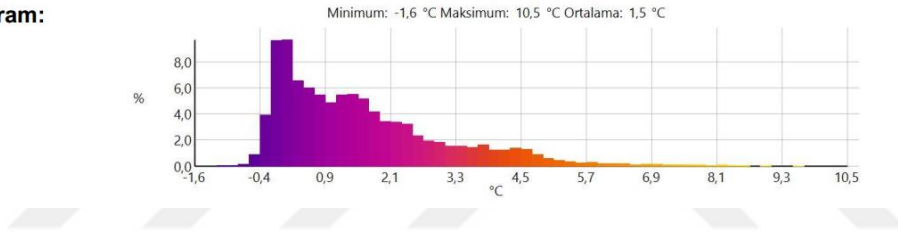
Resim parametreleri:

Emisyon derecesi: 0,94
Yans. sic. [°C]: 20,0

Resim işaretleri:

Ölçüm nesneleri	Sıcaklık [°C]	Emisiv.	Yans. sic. [°C]	Notlar
En soğuk nokta 1	-1,6	0,94	20,0	-
En sıcak nokta 1	10,5	0,94	20,0	-

Histogram:



Görsel 5.8. Terminal binası çatısından termal görüntü 4

Tüm termal görüntülerdeki en sıcak ve en soğuk noktalar arasındaki sıcaklık farkının yüksek ve sıcaklık dağılım histogramında sıcak bölgelerin fazla olması terminal bina kabuğunda ısı yalıtım probleminin olduğunu ortaya koymaktadır.

5.6.2. Duvar, cam ve cam kapıların U değeri ölçümleri

Terminal binası ısıtma enerji ihtiyacını hesaplayabilmek için yüzeylerin U değerlerinin bilinmesi gerekir. Terminal binası çok eski bir bina olduğundan zaman içinde yüzeylerde bazı tadilat işlemleri gerçekleştirilmiştir. Isı hesaplamalarının doğru ve hassas yapılabilmesi amacıyla Testo 435-4 çok fonksiyonlu ölçüm cihazı ve U-değeri probu kullanılarak duvar, cam ve kapıların U değerleri Görsel 5.9-5.11’de görüldüğü gibi ölçülmüştür. Doğru bir ölçüm yapılabilmesi için iç ve dış hava sıcaklıkları arasındaki farkın en az 15 °C olması gerekmektedir. Ölçümler yapılırken ısıtılan iç ortamda iç hava ve dış hava sıcaklıkları arasındaki fark 15 °C daha büyük olduğu zamanlarda

gerçekleştirilmiştir. U değeri ölçümleri hassas sonuçlar alınabilmesi için birkaç defa tekrarlanmış ve uzun süreli ölçümler gerçekleştirilmiştir.



Görsel 5.9. *Terminal binası dış duvarları U değeri ölçümü*



Görsel 5.10. *Terminal binası pencereleri U değeri ölçümü*



Görsel 5.11. *Terminal binası dış kapıları U değeri ölçümü*

Diğer yüzeylerin U değerleri, yüzey bileşenleri yapı elemanları ve kalınlıkları göz önünde bulundurularak TS 825 standardı ile hesaplanmıştır.

5.6.3. Terminal binasında ısıtma enerjisi ihtiyacı

TS 825 standardı kullanılarak Havalimanı terminal binasının ısıtma enerjisi ihtiyacı belirlenerek gerçek tüketim değerleri ile karşılaştırılmıştır. Hesaplamalar terminal binasında ısıtmanın sürekli olduğu Kasım 2016 ile Nisan 2017 (dahil) tarihleri arasında gerçekleştirilmiştir. Yapılan ısıtma enerjisi ihtiyacı hesaplamalarında gerçek tüketim ile net ısıtma enerjisi ihtiyacı arasındaki toplam fark 133,190 kWh olarak bulunmuştur. Bunun anlamı terminal binasında ihtiyaç duyulan ısıtma enerjisinden %22 daha fazla bir tüketim gerçekleşmiştir. Ayrıca aradaki bu fark terminal binasında sadece ısıtma amaçlı kullanılan enerji için %22'lik bir tasarruf potansiyelini ifade eder. Hesaplamaların yapıldığı terminal binasında birim hacim başına düşen yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı TS 825'e göre Denklem (5.3) ile hesaplanır. Bu değer terminal binası için,

$$Q = Q_{yıl}/V_{b\ddot{u}r\ddot{u}t} \quad (5.3)$$

37.83 kWh/m³ olarak bulunmuştur. Bu değerin, TS 825 standardına göre olması gereken en yüksek değerden (21.21 kWh/m³) daha büyük olduğu görülmüştür.

5.6.4. Baca gazı ölçüm sonuçları

Terminal binası, ısı merkezinde bulunan yoğuşmalı kazanlar tarafından ısıtılmaktadır. Bu kazanların baca gazı analizleri, Testo 330-2 LL cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiş olup Görsel 5.12'de ölçüm cihazının kullanımı gösterilmiştir.



Görsel 5.12. Baca gazı ölçümü

Her üç kazana ait ölçüm tarihleri ve sonuçları Tablo 5.2 – 5.8’de verilmiştir. Ölçümler düzenli aralıklarla yapılmış olup ölçümlere ait sonuçlar ölçüm süresinde elde edilmiş ortalama sonuçlardır.

Tablo 5.2. 15.12.2016 tarihinde gerçekleştirilen baca gazı ölçüm sonuçları

Parametre	Kazan 1	Kazan 2	Kazan 3
Baca Gazı Sıcaklığı	61.9 °C	61.8 °C	61.8 °C
CO ₂	%9.26	%9.2	%9.20
Baca Gazı Kayıp	%2.1	%2.1	%2.1
Hava Fazlalık Katsayısı (λ)	1.30	1.30	1.30
O ₂	%4.8	%4.9	%4.9
CO	10 ppm	8 ppm	7 ppm
Seyrelt. CO	13 ppm	10 ppm	9 ppm
Yanma Verimi	%97.9	%97.9	%97.9
Ortam Sıcaklığı	20.8 °C	20 °C	20 °C

Tablo 5.3. 03.01.2017 tarihinde gerçekleştirilen baca gazı ölçüm sonuçları

Parametre	Kazan 1	Kazan 2	Kazan 3
Baca Gazı Sıcaklığı	61.5 °C	61.9 °C	61.9 °C
CO ₂	%9.14	%9.09	%9.20
Baca Gazı Kayıp	%2.2	%2.1	%2
Hava Fazlalık Katsayısı (λ)	1.31	1.32	1,30
O ₂	%5	%5.1	%4.9
CO	8 ppm	9 ppm	8 ppm
Seyrelt. CO	11 ppm	12 ppm	10ppm
Yanma Verimi	%97.8	%97.9	%98
Ortam Sıcaklığı	18.9 °C	19.6 °C	22.7 °C

Tablo 5.4. 14.01.2017 tarihinde gerçekleştirilen baca gazı ölçüm sonuçları

Parametre	Kazan 1	Kazan 2	Kazan 3
Baca Gazı Sıcaklığı	62.1 °C	62.4 °C	61.9 °C
CO ₂	%9.1	%9.1	%9.1
Baca Gazı Kayıp	%2.2	%2.2	%2.2
Hava Fazlalık Katsayısı (λ)	1.3	1.3	1.30
O ₂	%5	%5	%5
CO	6 ppm	6 ppm	5 ppm
Seyrelt. CO	8 ppm	8 ppm	7 ppm
Yanma Verimi	%97.8	%97.8	%97.8
Ortam Sıcaklığı	18.9 °C	19.1 °C	18.2 °C

Tablo 5.5. 28.03.2017 tarihinde gerçekleştirilen baca gazı ölçüm sonuçları

Parametre	Kazan 1	Kazan 2	Kazan 3
Baca Gazı Sıcaklığı	67.6 °C	57.5 °C	67.2 °C
CO ₂	%8.60	%8.60	%8.51
Baca Gazı Kayıp	%2.1	%2.1	%2.3
Hava Fazlalık Katsayısı (λ)	1.4	1.39	1.41
O ₂	%6	%5.9	%6.1
CO	2 ppm	1 ppm	2 ppm
Seyrelt. CO	2 ppm	2 ppm	3 ppm
Yanma Verimi	%97.9	%97.9	%97.7
Ortam Sıcaklığı	27.4 °C	27.7 °C	24.6 °C

Tablo 5.6. 13.11.2017 tarihinde gerçekleştirilen baca gazı ölçüm sonuçları

Parametre	Kazan 1	Kazan 2	Kazan 3
Baca Gazı Sıcaklığı	66.7 °C	67.4 °C	67.5 °C
CO ₂	%9.12	%9.23 °C	%9.29
Baca Gazı Kayıp	%2.1	%2	%2
Hava Fazlalık Katsayısı (λ)	1.31	1.30	1.29
O ₂	%5	%4.8	%4.7
CO	16 ppm	26 ppm	25 ppm
Seyrelt. CO	21 ppm	33 ppm	32 ppm
Yanma Verimi	%97.9	%98	%98
Ortam Sıcaklığı	25.6 °C	27.5 °C	27 °C

Tablo 5.7. 20.12.2017 tarihinde gerçekleştirilen baca gazı ölçüm sonuçları

Parametre	Kazan 1	Kazan 2	Kazan 3
Baca Gazı Sıcaklığı	65.3 °C	62.8 °C	
CO ₂	%9.35	%9.10	
Baca Gazı Kayıp	%2.1	%1.9	
Hava Fazlalık Katsayısı (λ)	1.28	1.32	
O ₂	%4.6	%5.1	
CO	21 ppm	17 ppm	
Seyrelt. CO	27 ppm	22 ppm	
Yanma Verimi	%97.9	%98.1	
Ortam Sıcaklığı	22.6 °C	25.5 °C	

Tablo 5.8. 01.03.2018 tarihinde gerçekleştirilen baca gazı ölçüm sonuçları

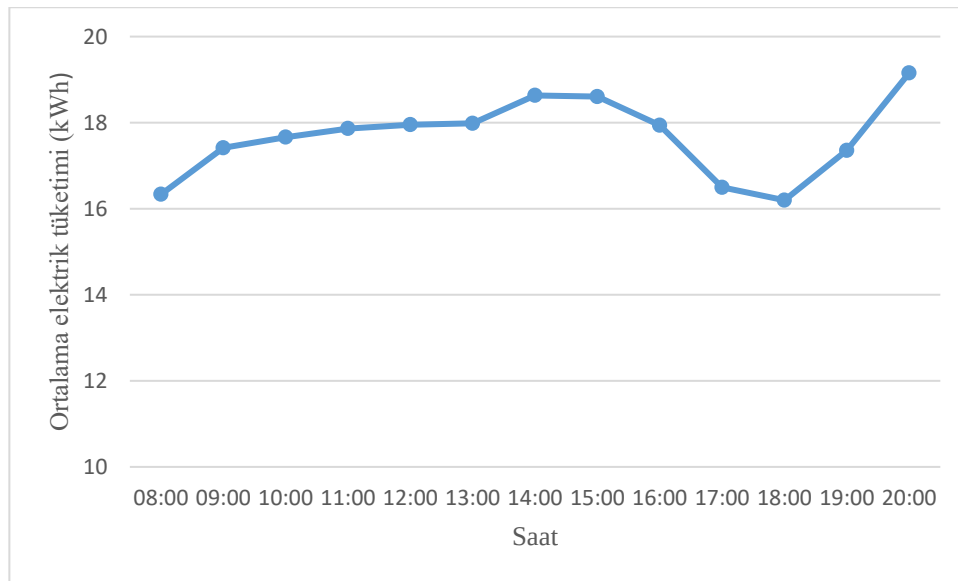
Parametre	Kazan 1	Kazan 2	Kazan 3
Baca Gazı Sıcaklığı	61.7 °C	62 °C	62.1 °C
CO ₂	%9.32	%9.19	%9.44
Baca Gazı Kayıp	%1.9	%2	%2
Hava Fazlalık Katsayısı (λ)	1.29	1.3	%1.27
O ₂	%4.7	%4.9	%4.5
CO	21 ppm	23 ppm	33 ppm
Seyrelt. CO	27 ppm	30 ppm	42 ppm
Yanma Verimi	%98.1	%98	%98
Ortam Sıcaklığı	22.6 °C	22.7°C	22°C

20.12.2017 tarihinde 3 numaralı kazan çalıştırılmadığından ölçüm yapılamamıştır. Tüm ölçüm sonuçlarından anlaşılacağı gibi baca gazında ölçülen O₂ değeri doğal gaz için referans değer olarak kabul edilen %3'ten büyüktür. Baca gazında ölçülen O₂ değerinin yüksek olması baca gazı sıcaklığında artışa ve bu nedenle baca gazı kayıplarının artmasına neden olmaktadır.

Baca gazı ölçüm sonuçlarındaki değerler kullanılarak yapılan kazan verimi hesaplamalarında, hava yakıt oranında düzeltmeler sonucu O₂ değeri %3 olarak düzenlenirse baca gazı kayıplarının azalacağı ve kazan veriminin %2.5 artacağı yapılan hesaplamalar sonucu elde edilmiştir.

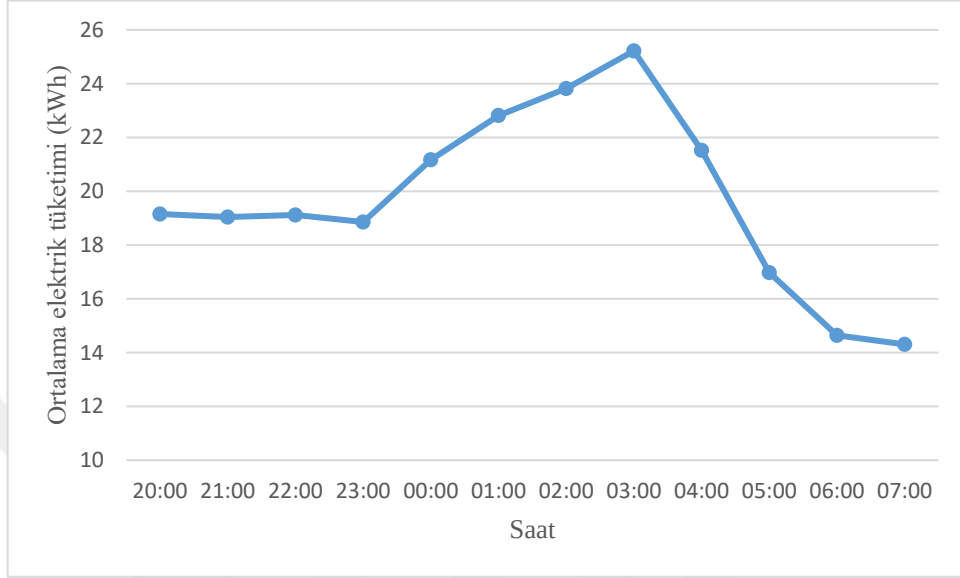
5.7. Terminal Binası Elektrik Tüketimi

Bu bölümde terminal binasında elektrik tüketiminin saatlik olarak değişimi incelenmiş ve elektrik tüketiminin en yoğun olduğu saatler belirlenmiştir. Günlük enerji trendini belirlemedeki en önemli amaç elektrik tüketimiyle ilgili eylem planları oluştururken gün içinde ihtiyaç duyulan talebin belirlenmesidir. Terminal binasında saatlik bazda gerçekleşen ortalama enerji tüketimleri Şekil 5.13, 5.14 ve 5.15'te verilmiştir. Şekil 5.13'te sabah 8:00 ile akşam 20:00 arasındaki elektrik tüketimi görülmektedir. Şekil 5.13'ten de anlaşılacağı gibi sabah 8:00 ile akşam 18:00 arasında ortalama elektrik tüketimi 16 kWh ile 18,6 kWh arasında değişmektedir. Saat 18:00'dan sonra elektrik tüketiminde bir artış gerçekleşmekte olup temel neden akşam saatlerinde terminal binasındaki aydınlatma ihtiyacıdır.



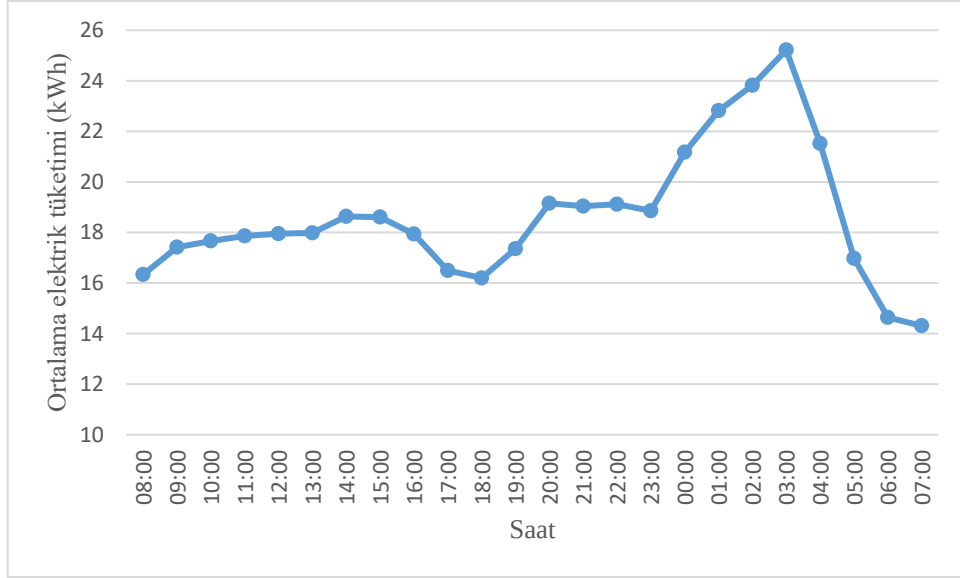
Şekil 5.13. 08:00 ile 20:00 arasında gerçekleşen saatlik ortalama elektrik tüketimi

Şekil 5.14'te verilen grafikten de anlaşılacağı gibi terminal binasında en yüksek elektrik talebi gece 23 ile 4:00 saatleri arasındadır.



Şekil 5.14. 20:00 ile 8:00 arasında gerçekleşen saatlik ortalama elektrik tüketimi

Şekil 5.15'te terminal binasında 24 saat içinde gerçekleşen ortalama elektrik tüketimi gösterilmiştir. Akşam 18:00'dan sonra elektrik tüketiminde ciddi bir artış meydana gelmektedir. Bu artışın temel nedeni gece terminal binasındaki aydınlatma ihtiyacıdır. 24 saatlik dilim içerisinde en yüksek ortalama elektrik tüketimi saat 03:00 da olup 25,12 kWh olarak gerçekleşmiştir.



Şekil 5.15. Terminal binasında saatlik ortalama elektrik tüketimi

5.8. Optimum Yalıtım Kalınlığı ile İlgili Bulgular

Terminal binasında ısı yalıtımının olmadığı ve TS 825 standardı gereği yüzeylerin U değerlerinin tavsiye edilen en yüksek değerlerden daha büyük olduğu önceki bölümlerde anlatılmıştı. Enerji yönetim sisteminin tüm aşamalarında yasal gerekliliklere uyumun değerlendirilmesi bir zorunluluktur. Bu yüzden terminal binası dış yüzeylerine (duvar, çatı ve zemin) ısı yalıtımı yapılması yasal bir gereklilik olmakla birlikte ekonomik ve sürdürülebilirlik açısından önemlidir. Bu bölümde LCC yöntemi kullanılarak bu yüzeyler için optimum yalıtım kalınlıkları hesaplanmıştır. Bilindiği gibi yalıtım kalınlığı arttıkça yalıtım maliyetleri de artar, bununla beraber enerji maliyetleri ise azalır. Yalıtım maliyeti ile enerji maliyetlerinin toplamı belirli bir değere kadar azalır ve bir noktadan sonra artar. Toplam maliyetteki bu kırılma noktası yalıtım kalınlığının optimum olduğu noktadır. Optimum yalıtım kalınlığı (OYK) hesaplamalarında kullanılan parametreler tablo 5.9 ve 5.10’da belirtilmiştir.

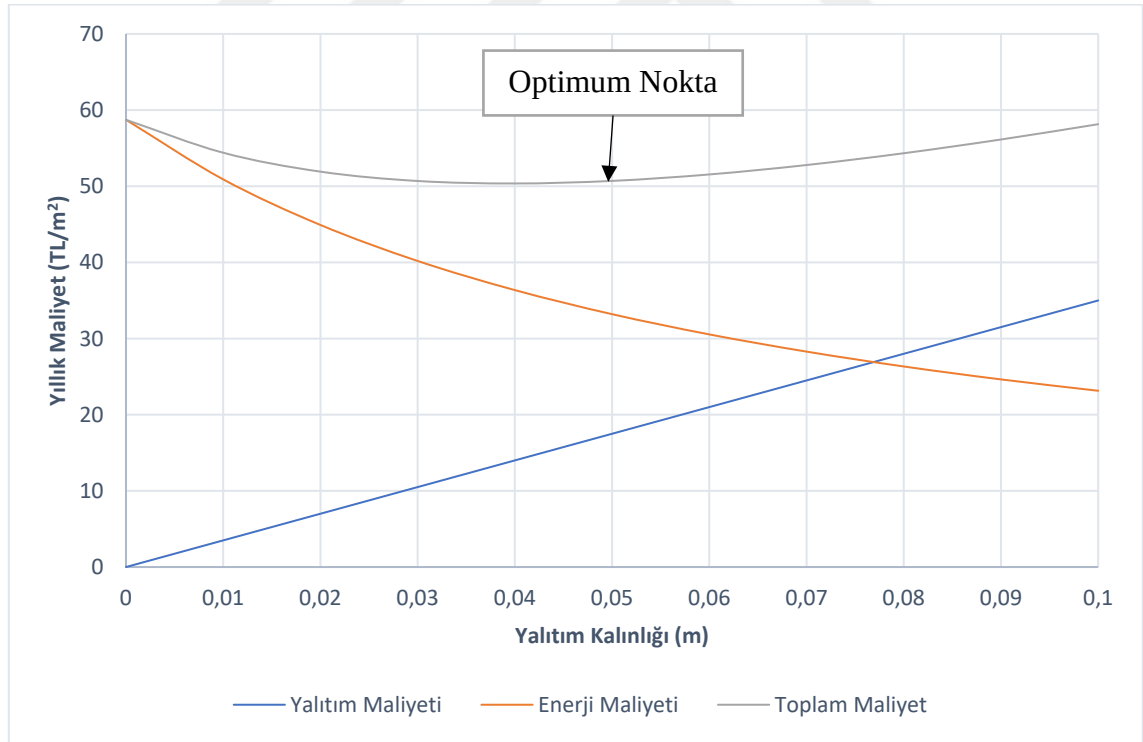
Tablo 5.9. Hesaplamalarında kullanılan yalıtım malzemelerinin özellikleri

Parametre	Duvar	Zemin	Çatı
Yoğunluk (kg/m ³)	16	30	18
k (W/mK)	0.04	0.035	0.044
C_y (TL/m ³)	360	190	135

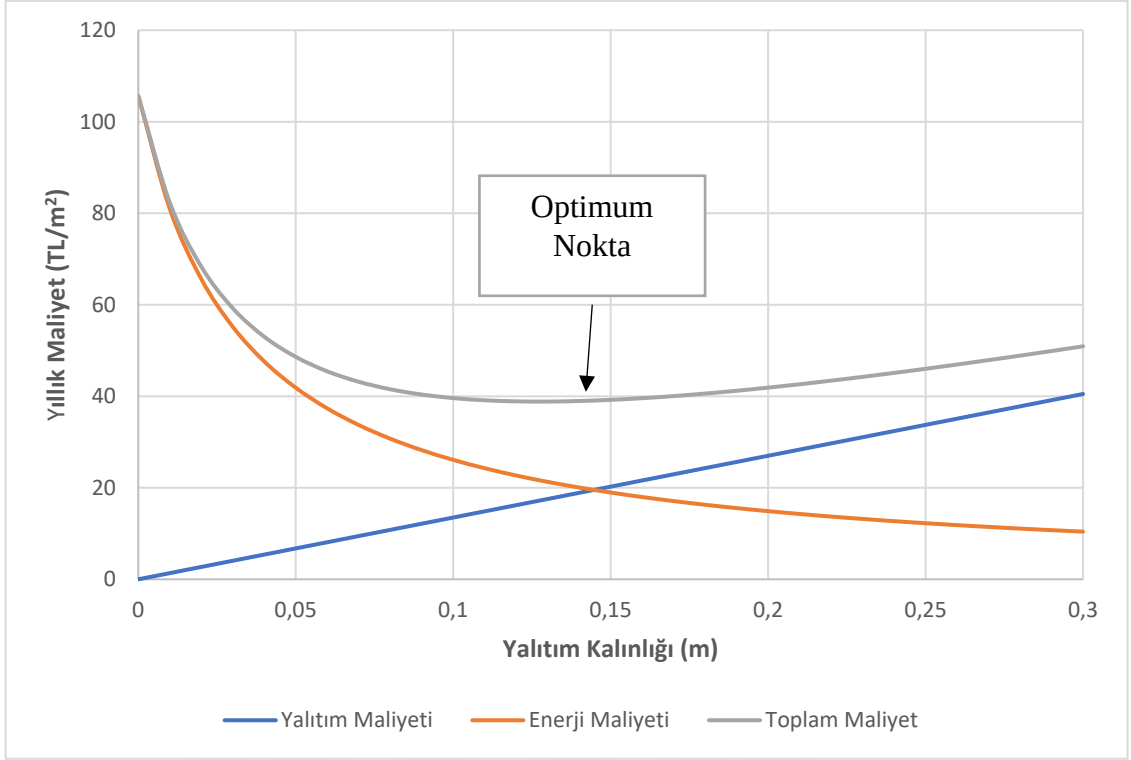
Tablo 5.10. OYK hesaplamalarında kullanılan diğer parametreler

Parametre	Değer
i	17
g	11
LT	20 yıl
PWF	12.044
H	344,850,00 J/m ³
η	0.9
C_e	0.47 TL/kWh
$C_{yakıt}$	1.125 TL/m ³
CDD	27
HDD	2516

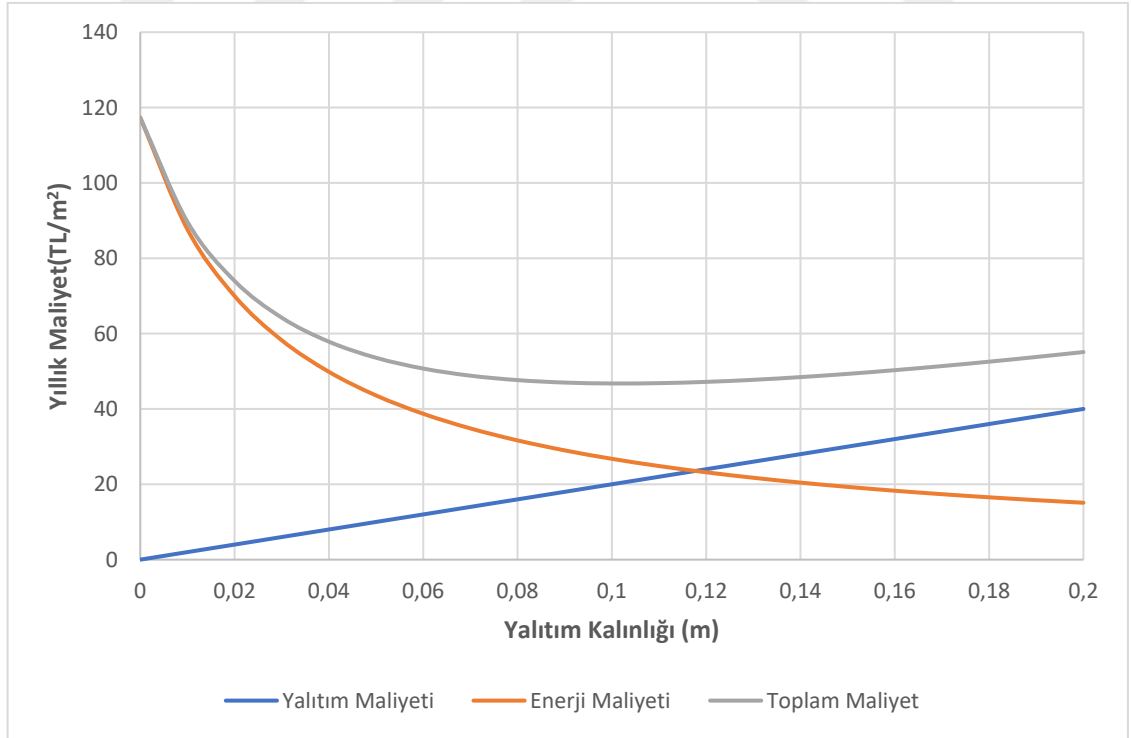
Denklem (4.34) - (4.36) kullanılarak yapılan OYT hesaplamalarında Şekil 5.16, 5.17 ve 5.18’de görüldüğü gibi OYK değerleri duvar, çatı ve zemin için sırasıyla 5 cm, 14 cm ve 10 cm olarak bulunmuştur. Yalıtım malzemesi seçilerken GWP, İS, DE ve KK etkileri dikkate alınarak en sürdürülebilir seçimler gerçekleştirilmiştir. Yalıtım malzemesi olarak duvar ve zemin için EPS, çatı için ise cam yünü seçilmiştir.



Şekil 5.16. Duvar optimum yalıtım kalınlığı

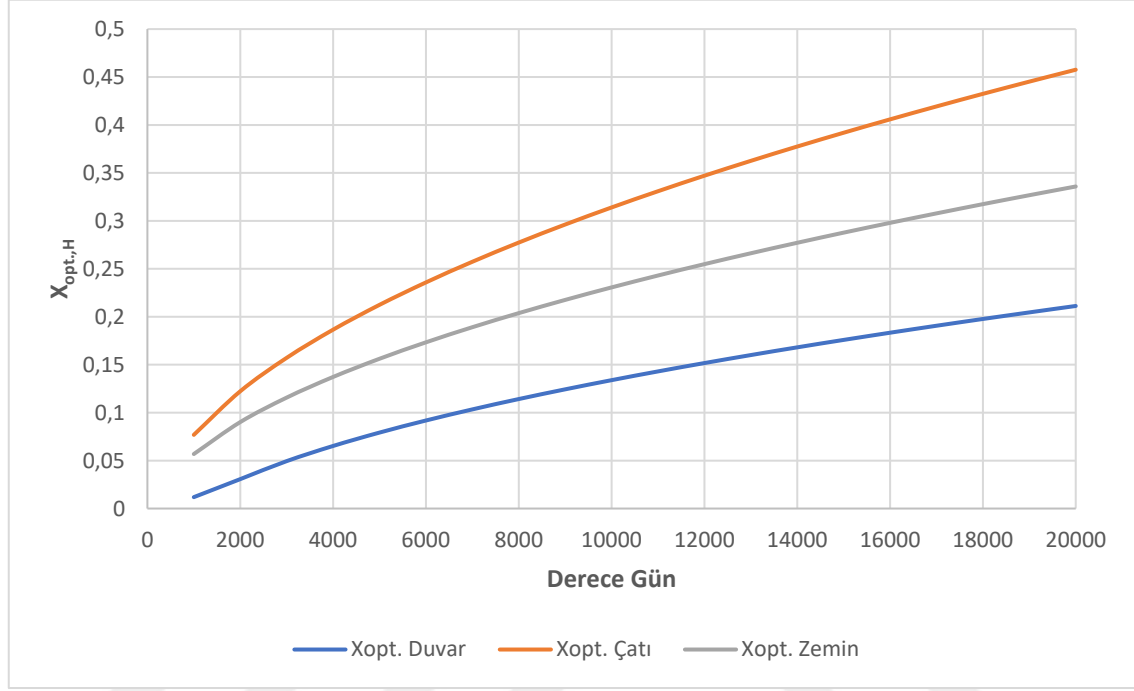


Şekil 5.17. Çatı optimum yalıtım kalınlığı



Şekil 5.18. Zemin optimum yalıtım kalınlığı

Optimum yalıtım kalınlıklarının Şekil 5.19’da HDD ile değişimi gösterilmiştir. HDD arttıkça optimum yalıtım kalınlığı artmaktadır. Optimum yalıtım kalınlığı, dış hava sıcaklığı PWF, yakıt maliyeti, yalıtım malzemesinin maliyeti ve özellikleri, ısıtma sisteminin verimi gibi parametrelere bağlıdır.



Şekil 5.19. Optimum yalıtım kalınlığının derece gün ile değişimi

5.9. Enerji İyileştirme Fırsatları

EnYS’de temel amaç enerji performansını sürekli iyileştirmektir. Bunu gerçekleştirebilmek için enerji performans iyileştirme fırsatlarının belirlenmesi, eylem planlarının oluşturulması ve bunlarla ilgili mühendislik hesaplamalarının yapılması önemlidir. Bu tezde havalimanında gerçekleştirilen ön etüt ve detaylı enerji etüt sonuçları göz önünde bulundurularak enerji performansını iyileştirme fırsatları belirlenmiştir. En yoğun enerji tüketiminin terminal binasında ısıtma amaçlı kullanıldığı önceki bölümlerde açıklanmıştı. Terminal bina kabuğunun termal görüntüleri ile yapılan analiz sonucu ısı yalıtım eksikliğinden kaynaklı kayıpların bir hayli fazla olduğu görülmüştür. Ayrıca terminal binası yapı bileşenlerinin U değerleri (çatı, duvar ve zemin) TS 825 standardında tavsiye edilen en yüksek U değerlerinden daha büyük olduğu görülmüştür. Duvar, çatı ve zemin için ısı yalıtımı ile ilgili eylem planlarının oluşturulması ve uygulanmasının hem yasal bir gereklilik olduğu hem de enerji performansını önemli ölçüde etkilediği yapılan

analizlerde görülmüştür. Bundan dolayı terminal bina kabuğuna (duvar, çatı ve zemin) ısı yalıtımı uygulanması eylem planı olarak belirlenmiştir.

Terminal binası pencerelerinin ısıl performansı önemli ölçüde etkilediği yine yapılan detaylı etütlerle belirlenmiştir. Ayrıca TS 825 standardı Şubat 2013'te güncellenmiş ve resmî gazetede henüz yayımlanmadığı için yürürlüğe girmemiştir. Yeni güncellemede özellikle tavsiye edilen en yüksek U değerlerindeki değişiklik göze çarpmaktadır. Yapılan değişiklikle 4 olan iklim bölgesi sayısı 5'e çıkarılmış ve bölgelere göre en fazla değer olarak kabul edilmesi tavsiye edilen U değerleri Tablo 5.11'deki gibi revize edilmiştir (Atmaca, 2016).

Tablo 5.11. En fazla değer olarak kabul edilmesi tavsiye edilen U değerleri

	U_D (W/m ² K)	U_T (W/m ² K)	U_i (W/m ² K)	U_p (W/m ² K)
1.Bölge	0.66	0.43	0.66	1.8
2.Bölge	0.57	0.38	0.57	1.8
3.Bölge	0.48	0.28	0.43	1.8
4.Bölge	0.38	0.23	0.38	1.8
5.Bölge	0.36	0.21	0.36	1.8

Tüm yüzeylerde U değerlerinin azaltıldığı görülmekle birlikte en önemli değişiklik pencereler için 2.4 W/m²K olan sınır 1.8'e W/m²K düşürülmüştür. Yeni standartta pencere için belirlenen U değerinin terminal binası pencerelerinin U değerinden küçük olduğu ve pencerelerde meydana gelen ısı kayıplarının fazla olduğu yapılan analizlerle görülmüştür. Bundan dolayı terminal binası pencere değişimi de enerji performansı için önemli bir fırsat olarak görülmektedir.

TS 825 standardı kullanılarak yapılan ısıtma enerjisi ihtiyacı ile, terminal binasında ihtiyacından daha fazla enerji tükettiği belirtilmişti. Bundan dolayı dış kazan çalışma rejiminin ve mevcut radyatörlerin termostatik vanalı radyatörlerle değişimi yine bir iyileştirme fırsatı olarak belirlenmiştir.

Terminal binasında enerji tüketiminin yaklaşık %13'ü aydınlatma amaçlı kullanılmakla birlikte bu amaçla kullanılan armatür ve lambaların LED armatürlerle değişimi elektrik tüketimini azaltmak için bir iyileştirme fırsatıdır. Mevcut aydınlatmanın LED ile değişimi eylem planı olarak belirlenmiştir. Yapılan tüm değerlendirmeler sonucu yukarıda da açıklandığı üzere belirlenen eylem planları aşağıdaki gibi özetlenebilir.

- Kazanlarda çalışma rejiminin değiştirilmesi,
- Kazanlarda hava yakıt oranının düzenlenmesi,
- Terminal binası duvarlarına ısı yalıtımı yapılması,
- Terminal binası çatısına ısı yalıtımı yapılması,
- Terminal binası zeminine ısı yalıtımı yapılması,
- Terminal binasındaki pencerelerin U değeri daha küçük olanlarla değiştirilmesi,
- Terminal binasında aydınlatma amaçlı kullanılan lambaların LED ile değişimi,
- Terminal binası radyatörlerinin termostatik vanalı radyatörlerle değişimi.

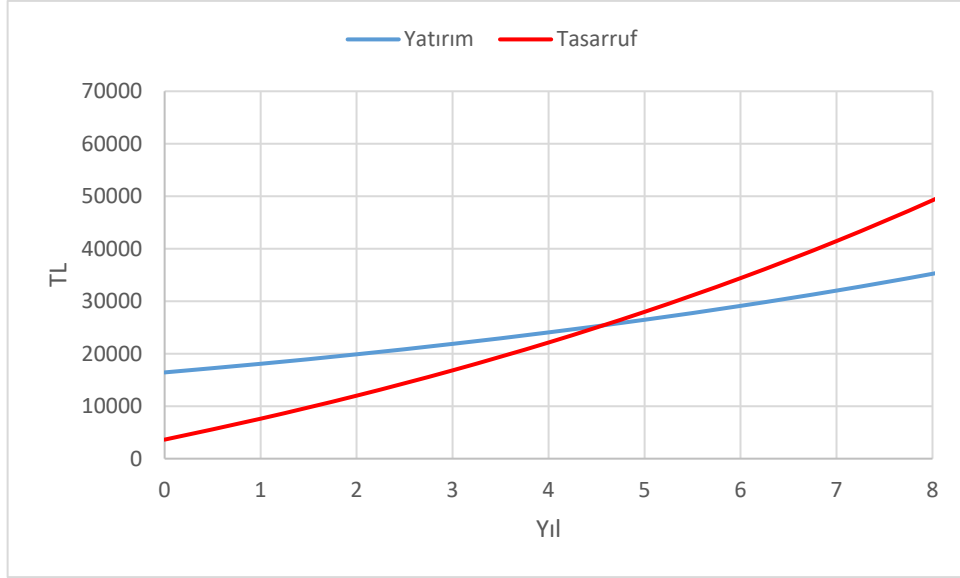
5.9.1. Finansman gerektirmeyen enerji iyileştirme fırsatları

Kazan çalışma rejimi değiştirilerek terminal binasının TS 825 standardında belirtilen 20 °C iç ortam sıcaklığı sağlanarak hiçbir yatırım gerektirmeden yıllık 133,190 kWh enerji tasarruf edilebilir. Hiçbir yatırım gerektirmeden elde edilecek bu miktarın ısıtma için kullanılan enerjinin %22'sine ve terminal binasındaki toplam enerji tüketiminin %17.5'ine denk geldiği düşünüldüğünde enerji yönetiminin önemi daha anlamlı hale gelecektir. Kazan çalışma rejiminde yapılacak değişiklikler ile tasarruf edilecek enerjinin maliyeti yıllık yaklaşık olarak 17,360 TL'dir.

Kazanlarda hava yakıt oranı düzenlenerek verimin %2.5 artacağı yapılan analizler sonucunda elde edilmiştir. Bu sayede yıllık yaklaşık 20,146 kWh enerji 2,600 TL para tasarrufu sağlanabilir.

5.9.2. Terminal binası duvarlarına ısı yalıtımı yapılması

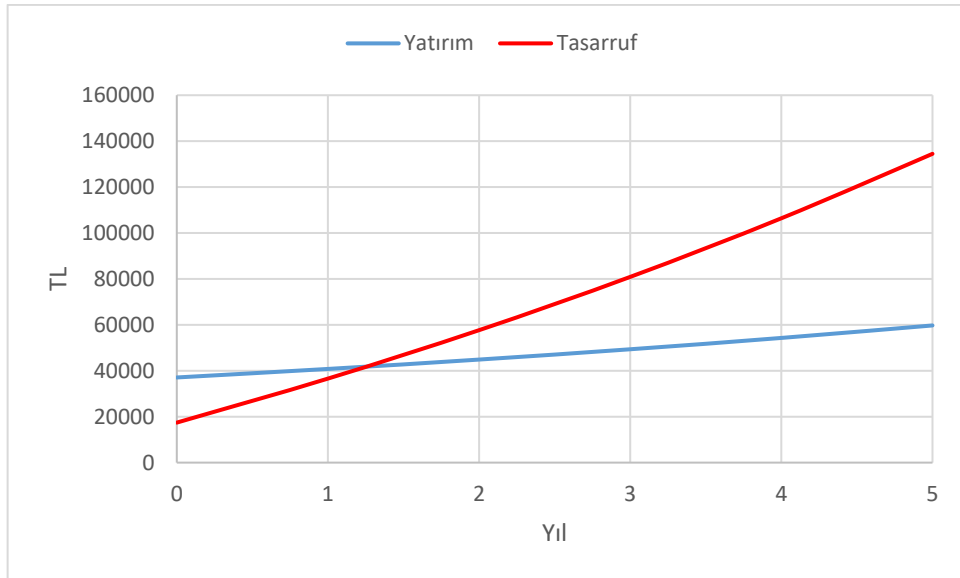
TS 825 standardı kullanılarak terminal binası duvarlarına OYT olarak hesaplanan 0,05 m ısı yalıtımı uygulanması ile yıllık 27,815 kWh enerji ve 3,625 TL para tasarrufu sağlanabilir. Duvara ısı yalıtımı yapılması sonucu ilk yatırım maliyetleri Şekil 5.20'de görüldüğü gibi 4.5 yılda geri kazanılır.



Şekil 5.20. Terminal binası duvarlarına ısı yalıtımı geri ödeme süresi

5.9.3. Terminal binası çatısına ısı yalıtımı yapılması

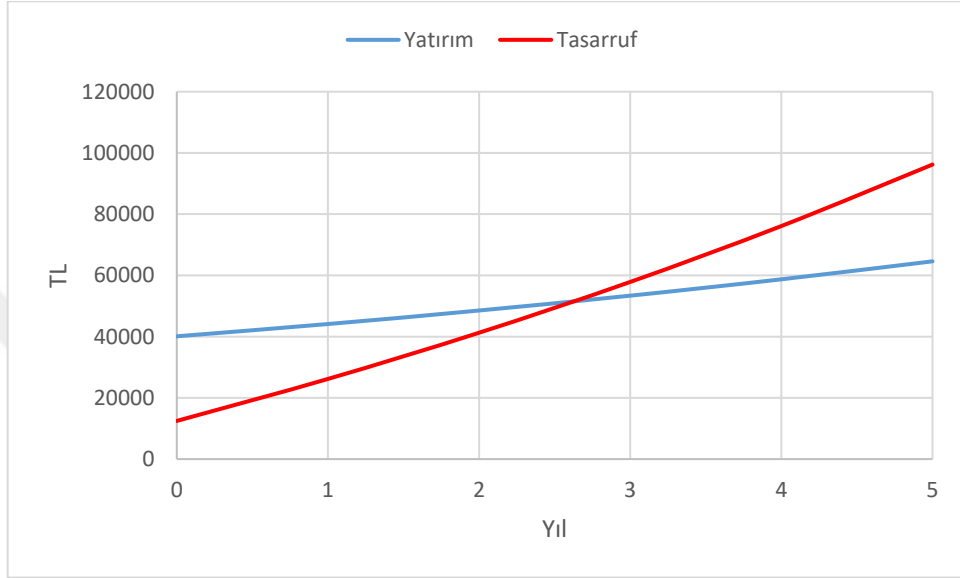
TS 825 standardı kullanılarak terminal binası çatısına OYT olarak hesaplanan 0,14 m ısı yalıtımı uygulanması ile yıllık 133,724 kWh enerji ve 17,430 TL para tasarrufu sağlanabilir. Çatıya ısı yalıtımı yapılması sonucu ilk yatırım maliyetleri Şekil 5.21’de görüldüğü gibi 1.3 yılda geri kazanılır.



Şekil 5.21. Terminal binası çatısına ısı yalıtımı geri ödeme süresi

5.9.4. Terminal binası zeminine ısı yalıtımı uygulanması

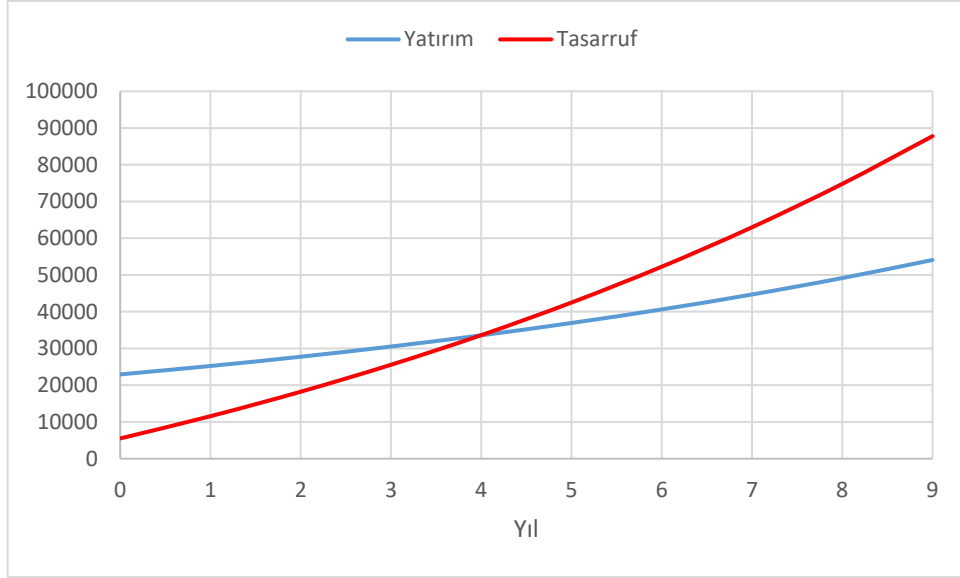
TS 825 standardı kullanılarak terminal binası zeminine OYT olarak hesaplanan 0.1 m ısı yalıtımı uygulanması sonucu yıllık 95,665 kWh enerji ve 12,470 TL para tasarrufu sağlanabilir. Çatıya ısı yalıtımı yapılması sonucu ilk yatırım maliyetleri Şekil 5.22’de görüldüğü gibi 2.6 yılda geri kazanılır.



Şekil 5.22. Terminal binası zeminine ısı yalıtımı geri ödeme süresi

5.9.5. Terminal binası pencerelerinin ısıcam ile değişimi

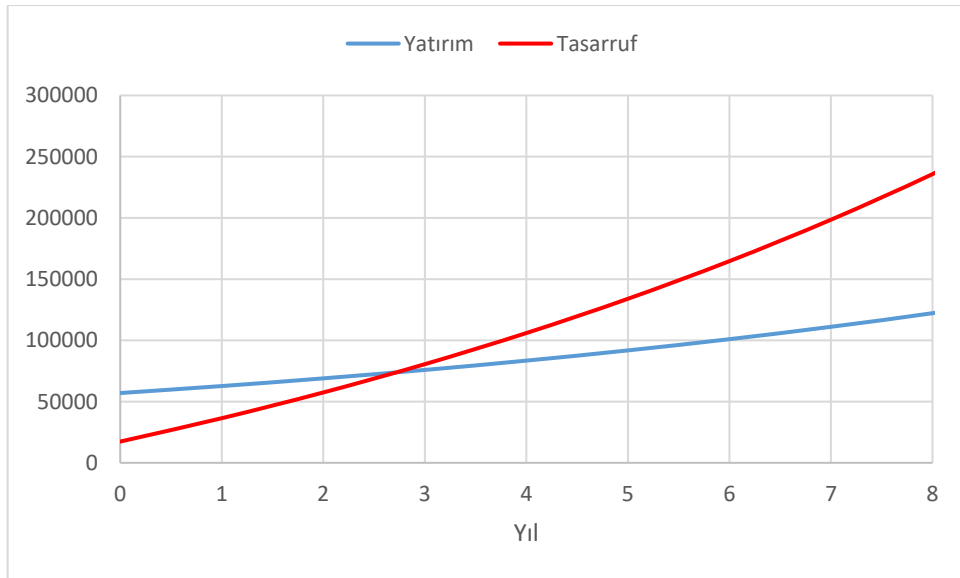
Terminal binası pencerelerinin U değeri 1.3 W/m²K ısıcam ile değişimi sonucu yıllık 42,260 kWh enerji ve 5,500TL para tasarruf edilir. İlk yatırım maliyeti ise Şekil 5.23’te görüldüğü gibi 4 yılda geri kazanılır. Isıcam fiyatları ve özellikleri cam üretici firmaların internet adreslerinden elde edilmiştir ([http-13](#); [http-14](#)).



Şekil 5.23. Terminal binası pencere değişimi geri ödeme süresi

5.9.6. Radyatörlerin termostatik vanalı radyatörlerle değişimi

Eski radyatörlerin termostatik vanalı radyatörlerle değiştirilerek terminal binası TS 825 standardında belirtildiği gibi 20 °C ısıtılacak şekilde ayarlanması ile yıllık 133,190 kWh enerji tasarrufu sağlanabilir. İlk yatırım maliyetleri Şekil 5.24'te görüldüğü gibi 2.7 yılda karşılanır.



Şekil 5.24. Radyatör değişimi geri ödeme süresi

5.9.7. Terminal binası aydınlatma yapısı ile ilgili bulgular

Bu bölümde terminal binasında aydınlatma amacıyla kullanılan lambaların daha verimli lamba ve armatürlerle değişiminin ekonomik analizleri gerçekleştirilmiştir. Terminal binasının aydınlatma amaçlı kurulu gücü hesaplanarak elektrik projesindeki değer ile kıyaslanmıştır. Hesaplanan kurulu güç ile gerçek kurulu güç arasında %2'lik çok küçük bir fark olduğu gözlemlenmiştir. Ekonomik analizler mevcut aydınlatma elemanlarının yüksek performansa sahip T8 floresan lamba, yüksek basınçlı sodyum lamba (HPS) ve LED (ışık yayan diyotlar) armatürlerle kıyaslanmış ve LCC değerleri Tablo 5.12'de özetlenmiştir. Hesaplamalar yapılırken mevcut lambalara eşdeğer ve gerekli aydınlatma ihtiyacından ödün vermeksizin daha verimli lamba ve armatürlerle kıyaslamalar yapılmıştır (Dixit, Pathak ve Sudhakar, 2015).

Tablo 5.12. Farklı ışık kaynakları için LCC sonuçları

Lamba	Ömür	50000 saat kullanım için gerekli lamba sayısı	Lamba maliyeti (TL)	50000 saat kullanım için gerekli enerji (kWh)	Enerji Maliyeti (TL)	LCC (TL)
Mevcut	3000	17	238	2500	1175	1413
T8	20000	3	84	1600	752	836
HPS	24000	3	108	1750	822	930
LED	50000	1	120	900	423	543

Tablo 5.12'de görüldüğü gibi LED armatürlerin toplam maliyetinin diğer lambalarla kıyaslandığında ekonomik açıdan en etkin çözüm olduğu sonucuna varılabilir. Enerji tasarrufu açısından değerlendirildiğinde elde edilen sonuçlar Tablo 5.13'te listelenmiştir.

Tablo 5.13. Aydınlatma elemanlarının karşılaştırılması

Lamba	Yıllık Enerji Tasarrufu (kWh)	Yıllık Para Tasarrufu (TL)
LED -Mevcut	70045	32920
LED- T8	17516	8232
LED- HPS	25172	11830

Tablo 5.13'ten görüldüğü üzere terminal binasında aydınlatma amaçlı kullanılan lambaların LED armatürlerle ile değişimi sonucunda yıllık 70,045 kWh enerji tasarrufu

sağlanır. Tablo 5.12 ve 5.13'ten elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde terminal binasındaki lambaların LED armatürlerle değişimi enerji tasarrufu açısından ve ekonomik açıdan en iyi seçenek olduğu görülmektedir. Terminal binasındaki lambaların LED armatürlerle değiştirilmesi sonucunda ekonomik geri ödeme süresi ise 1.74 yıl olarak bulunmuştur.

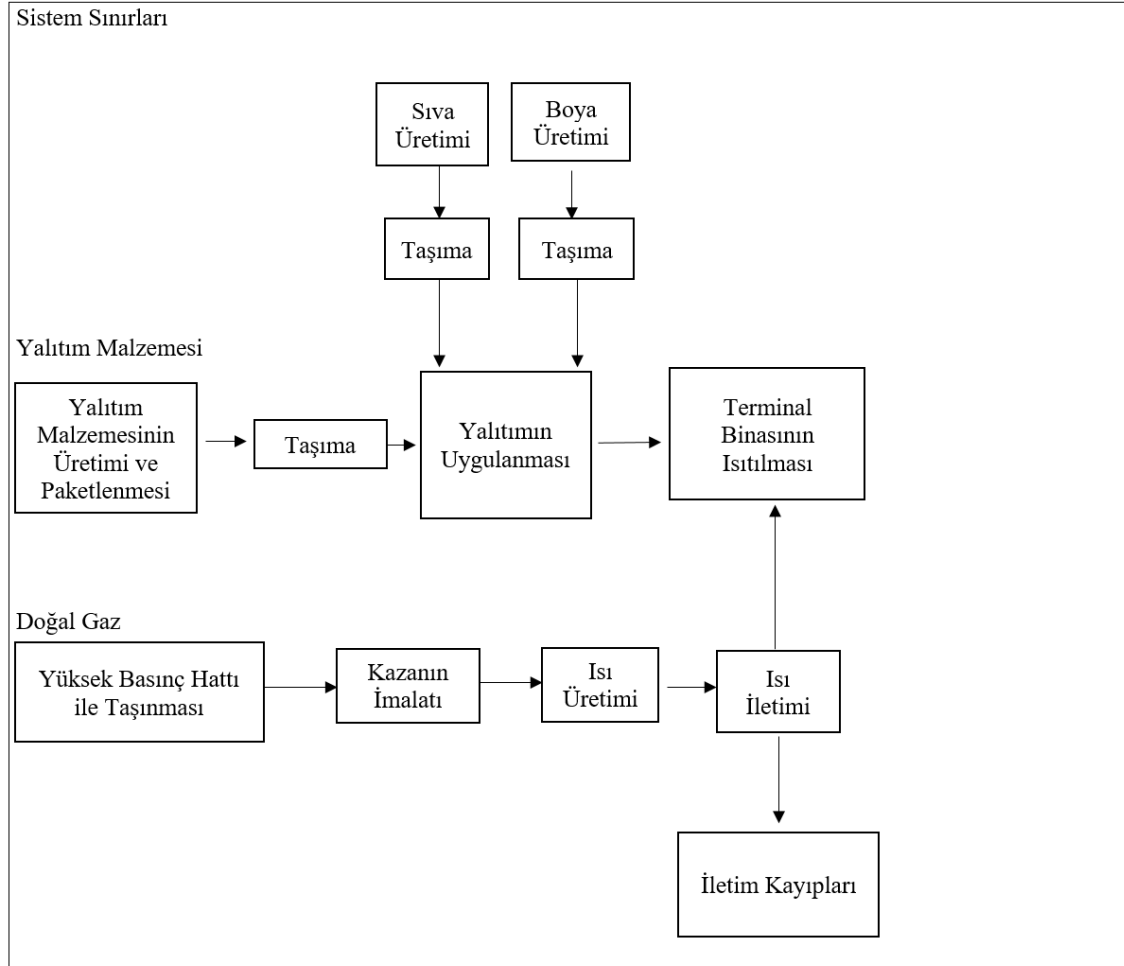
5.10. Isı Yalıtımı ile İlgili Çevresel Bulgular

Enerji verimliliği için belirlenen eylem planlarının ekonomik bir bedeli olduğu gibi çevresel bir bedeli de vardır. EnYS'de temel amaç enerji performansını iyileştirmek ve enerji maliyetlerini azaltmaktır. Bu nedenle belirlenen tüm eylem planlarının ekonomik analizleri ve ekonomik geri ödeme süreleri önceki bölümde anlatılmıştır. Bu bölümde, eylem planlarının sürdürülebilirlik ve çevresel analizleri gerçekleştirilmiş olup her bir eylem planı için geri ödeme süreleri hesaplanmıştır. Geri ödeme süreleri sera gazları geri ödeme süresi (SGGÖS) ve İS, DE ve KK etkileri ise ReCiPe geri ödeme süresi (RGÖS) olarak değerlendirmiştir. SGGÖS küresel ısınma için ölçüt olarak kabul edilen CO_{2e} ve RGÖS ise İS, DE ve KK etkileri milipoint (mPt) türünden değerlendirilmiştir.

Tüm eylem planları için hesaplanan ekonomik geri ödeme süreleri ve parasal tasarruflar gibi bu bölümde de sürdürülebilirliğin diğer (GWP, İS, DE ve KK) göstergeleri dikkate alınarak belirlenen eylem planları için SGGÖS ve RGÖS hesaplamaları yapılmıştır. YDD yöntemi kullanılarak belirlenen geri ödeme süreleri, her bir eylem planı için IPCC 100a ve ReCiPe yöntemleri kullanılmıştır. Belirlenen sistem sınırları içindeki etkileri SimaPro yazılımı kullanılarak elde edilmiştir. SGGÖS ve RGÖS değeri Denklem (4.63) kullanılarak elde edilmiştir.

Şekil 5.25'te terminal binası dış duvarlarına ısı yalıtımı uygulaması için yapılan YDD çalışmasının sistem sınırları gösterilmiştir. Isı yalıtım malzemesi olarak duvar ve zemin için EPS seçilmiş ve üretiminden başlayıp terminal binasına uygulanması arasındaki tüm süreçler sistem sınırlarına dahil edilmiştir. Duvar ve zemin için yalıtım malzemesi olarak EPS seçilmesinin sebebi, yapılan analizlerde ve literatürde konu ile ilgili yapılan çalışmalarda EPS'nin en çevreci yalıtım malzemesi olduğu sonucu dikkate alınmıştır (Tingley, Hathway ve Davison, 2015). Uygulama sırasında kullanılan enerji ihmal edilmiş olup, ısı yalıtımı sonrası kullanılacak diğer malzemelerin (sıva ve boya), üretimi ve taşınması sistem sınırlarına dahil edilmiştir. Isı yalıtım malzemesinin Türkiye'deki en büyük ısı yalıtım malzemesi üretim tesisinde üretilip 250 km kamyonla

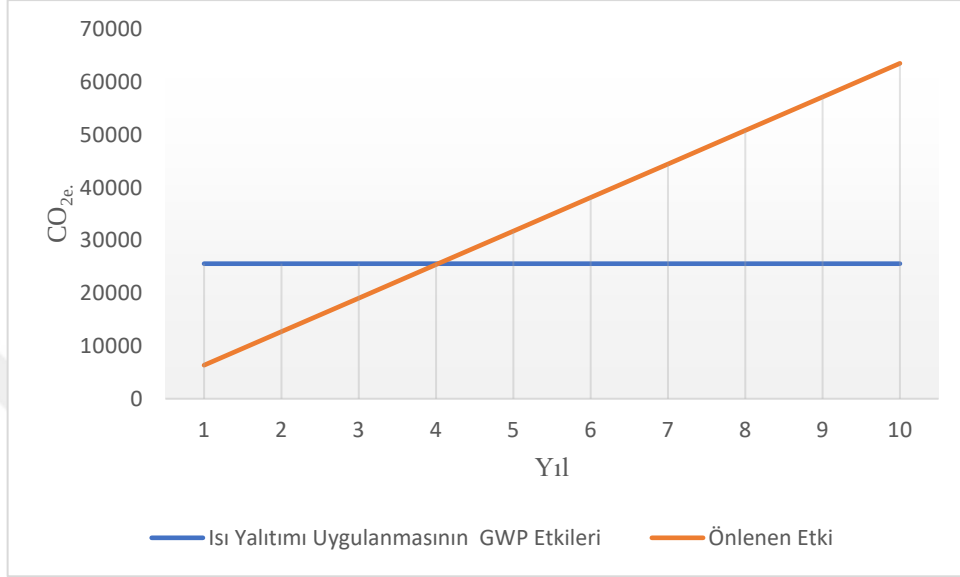
terminal binasına taşındığı kabulü yapılmıştır. Ayrıca boya, sıva ve tesviye betonunun Eskişehir organize sanayi bölgesinde üretilip 15 km kamyonla taşındığı kabulü yapılmıştır.



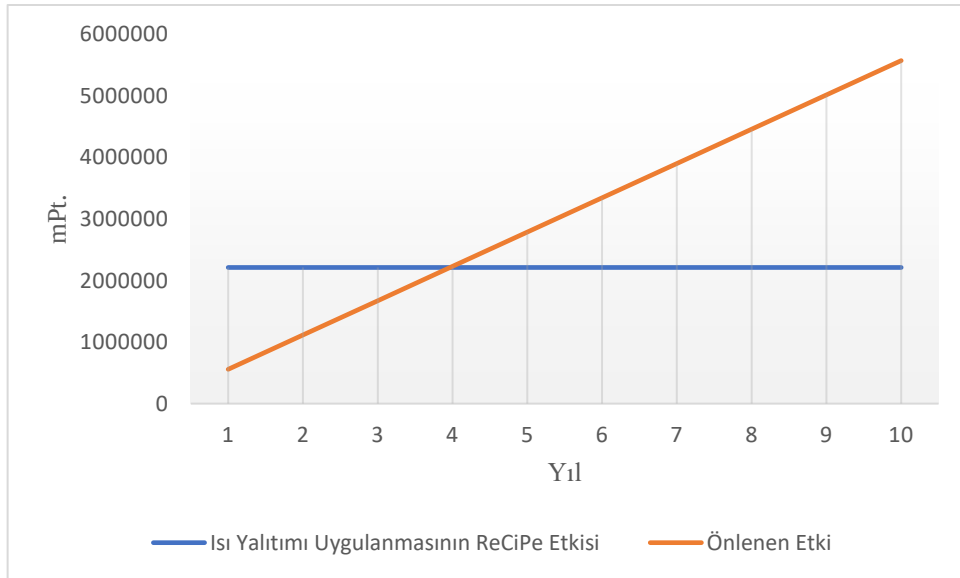
Şekil 5.25. Duvara ısı yalıtımı uygulanmasının sistem sınırları

Envanter analizi yapılırken ön plan ve arka plan verileri kullanılarak yapılan bu çalışmada ön plan verileri kullanılacak yalıtım malzemesinin, sıvanın, boyanın, su yalıtım membranının ve tesviye betonunun özellikleri ve miktarı literatürden, teknik raporlardan ve uzman görüşlerinden elde edilmiştir. Arka plan verileri ise SimaPro yazılımında mevcutecoinvent veri tabanından elde edilmiştir. İşlevsel birim (İB) benzer çalışmalarda olduğu gibi 1 kg ısı yalıtım malzemesi seçilmiştir (Pargana, 2012; Braulio-Gonzalo ve Bovea, 2017).

Sistem sınırları Şekil 5.25'te belirtilen tüm etkiler düşünüldüğünde duvara ısı yalıtımı sonucu SGGÖS ve RGÖS Şekil 5.26 ve 5.27'de gösterildiği gibi 4 ve 3.97 yıl olarak bulunmuştur. Terminal binası duvarlarına ısı yalıtımı uygulanması ile yıllık 6,356 kg CO_{2e}. tasarruf edileceği sonucuna varılmıştır.



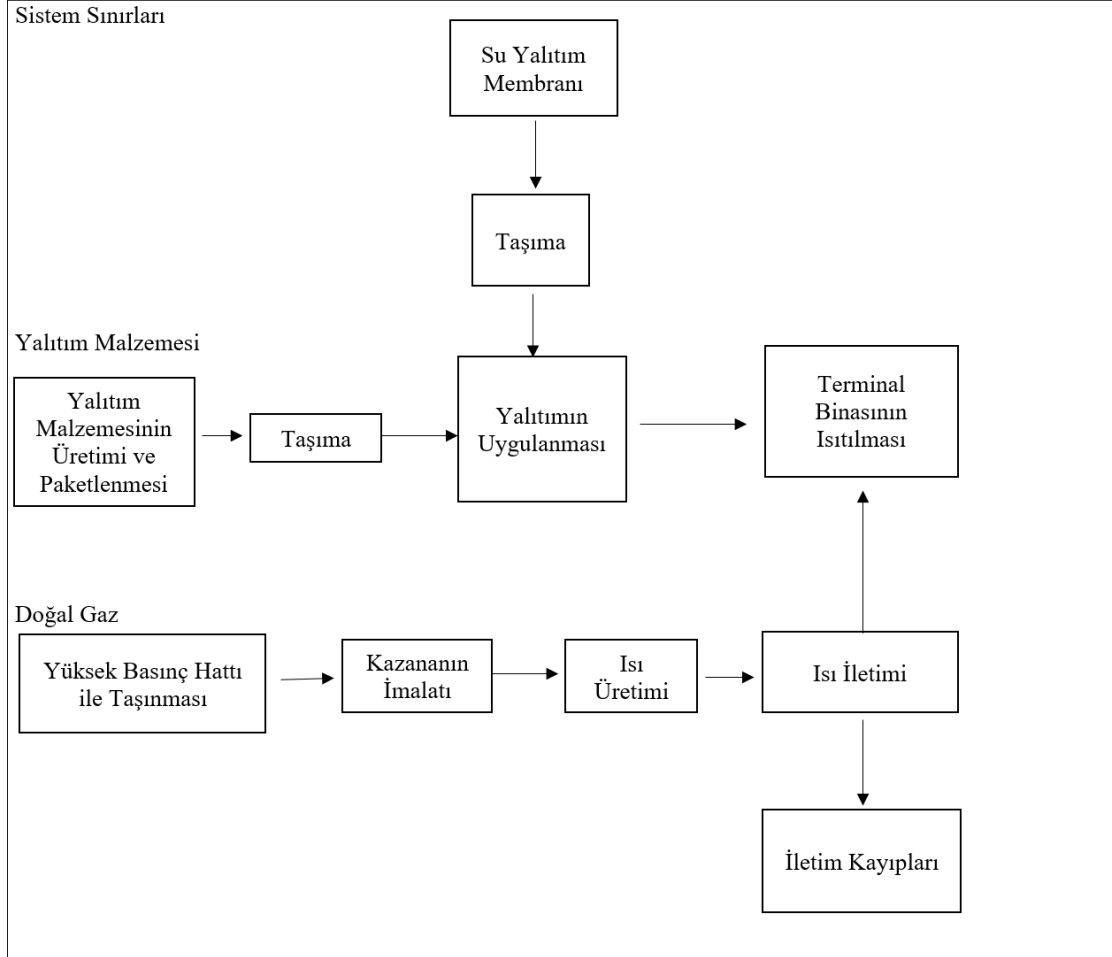
Şekil 5.26. Terminal binası duvarlarını ısı yalıtımı uygulanması sonucu sera gazları geri ödeme süresi



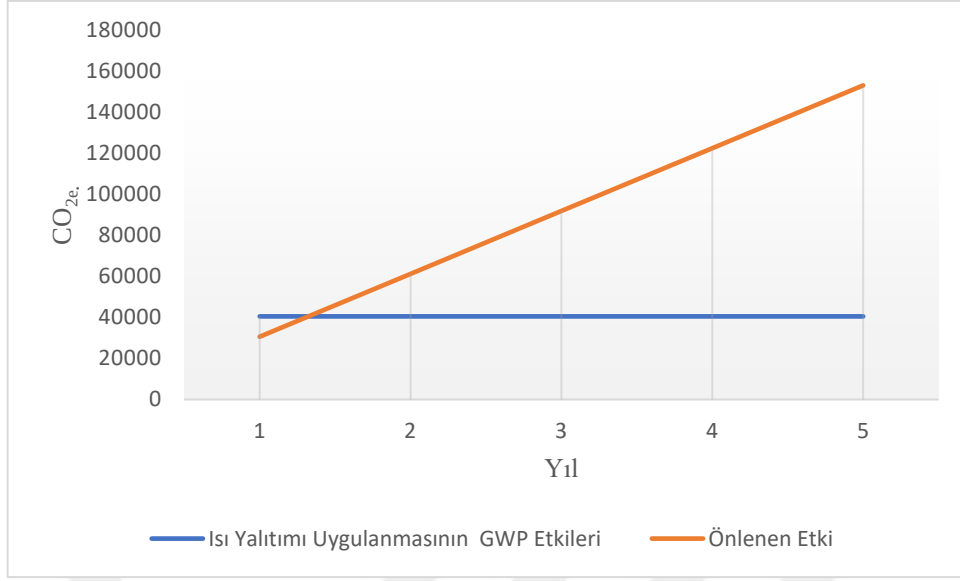
Şekil 5.27. Terminal binası duvarlarını ısı yalıtımı uygulanması sonucu ReCiPe geri ödeme süresi

Terminal binası çatısı için yapılan YDD değerlendirmesinin sistem sınırları Şekil 5.28'de gösterilmiş olup SGGÖS ve RGÖS şekil 5.29 ve 5.30'da gösterildiği gibi

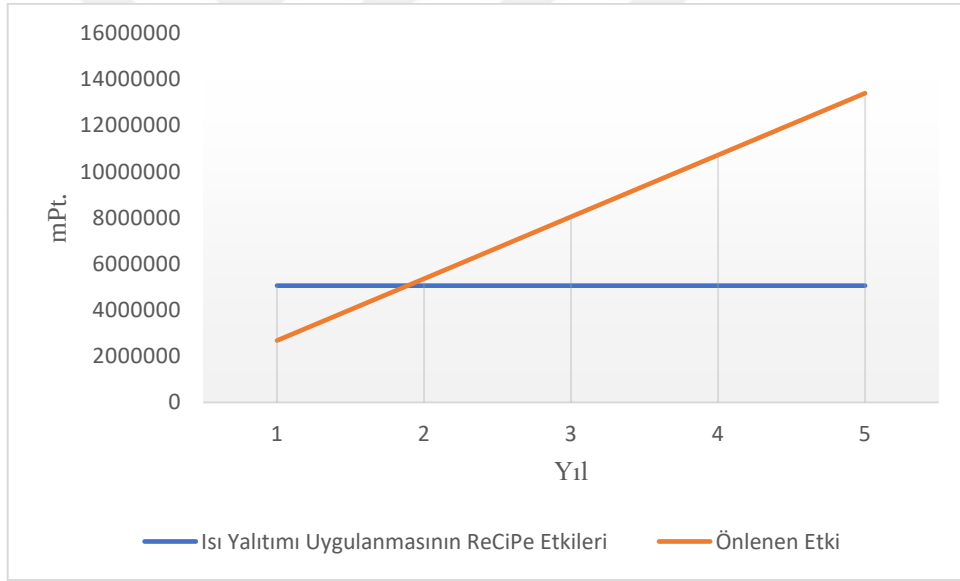
sırasıyla 1.3 ve 1.9 yıl olarak bulunmuştur. Çatı için yapılan analizlerde cam yünü ısı yalıtım malzemesi olarak seçilmiştir. Terminal binası çatısına ısı yalıtımı uygulanması ile yıllık 30,620 kg CO_{2e}. tasarruf edileceği sonucuna varılmıştır.



Şekil 5.28. Çatıya ısı yalıtımı uygulanmasının sistem sınırları

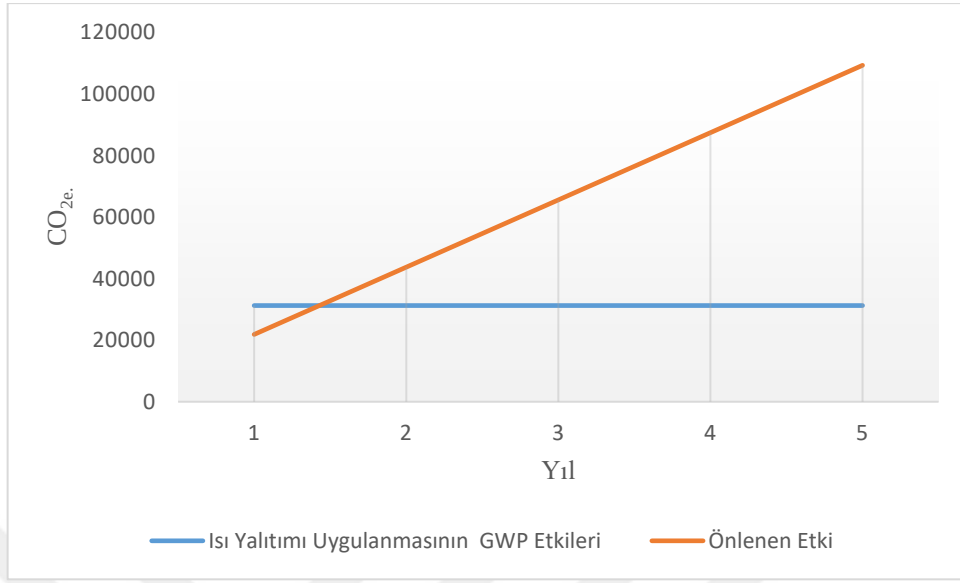


Şekil 5.29. Terminal binası çatısına ısı yalıtımı uygulanması sonucu sera gazları geri ödeme süresi

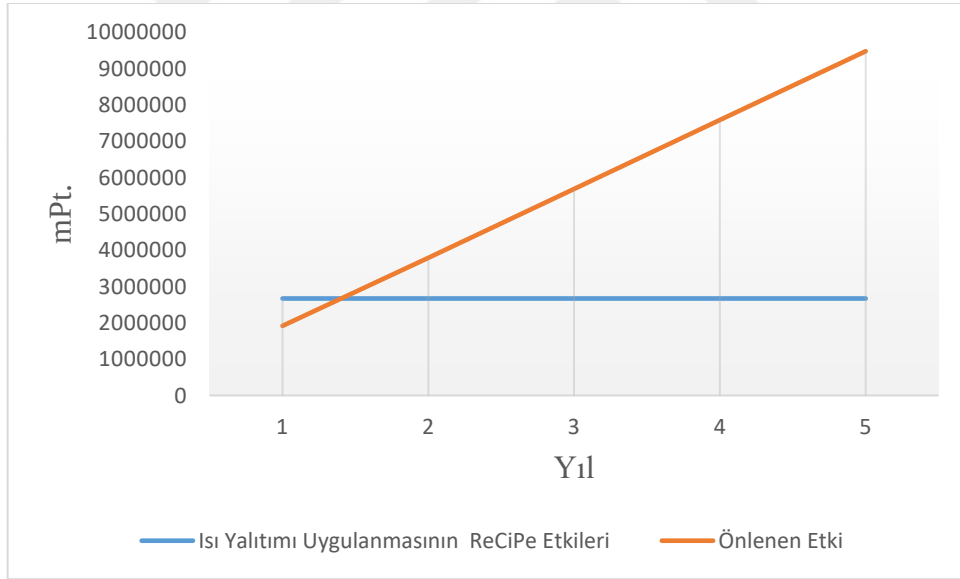


Şekil 5.30. Terminal binası çatısına ısı yalıtımı uygulanması sonucu ReCiPe geri ödeme süresi

Terminal binası zeminine ısı yalıtımı uygulanması için yapılan YDD sistem sınırları Şekil 5.31’de gösterilmiş olup SGGÖS ve RGÖS Şekil 5.32 ve 5.33’te gösterildiği gibi sırasıyla 1.43 ve 1.4 yıl olarak bulunmuştur. Terminal binası zeminine ısı yalıtımı yapılmasıyla yıllık 21,860 kg CO₂e. tasarrufu sağlanacağı sonucuna varılmıştır.



Şekil 5.32. Terminal binası zeminine ısı yalıtımı uygulanması sonucu sera gazları geri ödeme süresi

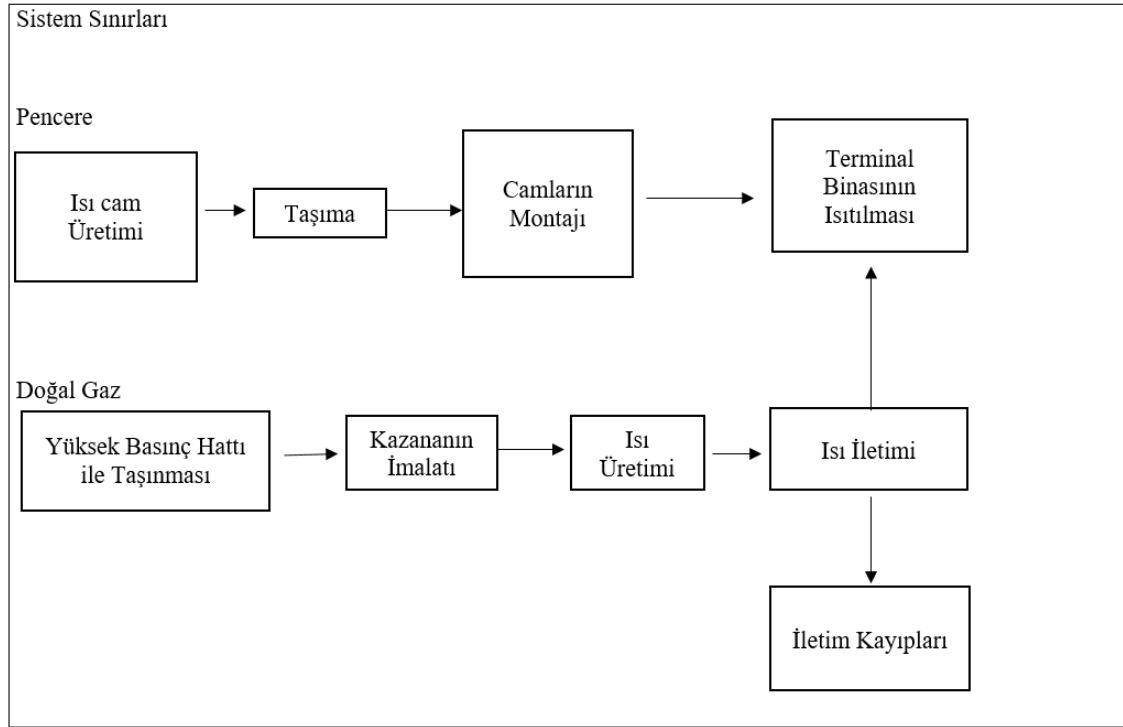


Şekil 5.33. Terminal binası zeminine ısı yalıtımı uygulanması sonucu ReCiPe geri ödeme süresi

5.11. Pencere Değişimiyle İlgili Çevresel Bulgular

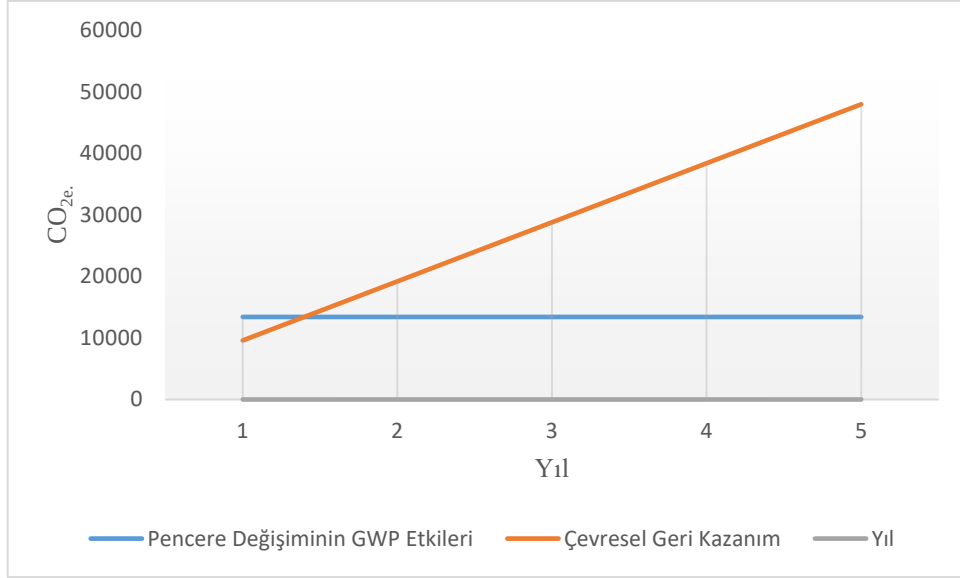
Terminal binasındaki mevcut pencerelerin U değeri $1.3 \text{ W/m}^2\text{K}$ olan ısı camları ile değişiminin sistem sınırları Şekil 5.34'te gösterilmiştir. Sistem sınırları ısı camının üretilmesi, taşınması ve montajını kapsamaktadır. Montaj sırasında kullanılan enerji

ihmal edilmiş olup pencerelerin üretim tesisinden sonra 500 km kamyonla taşındığı kabulü yapılmıştır.

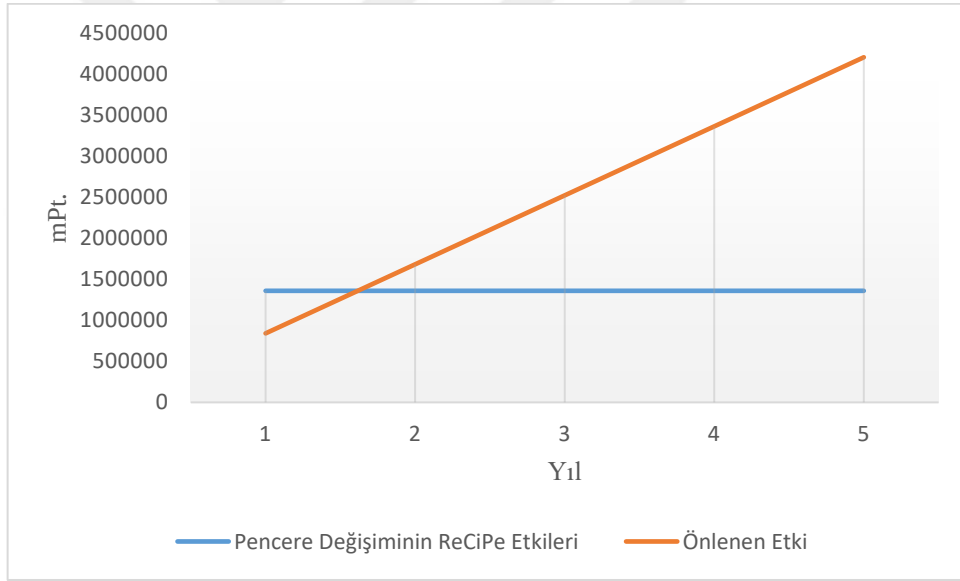


Şekil 5.34. Pencere değişimi için sistem sınırları

İşlevsel birim olarak 1 m² cam üretimi seçilerek yapılan YDD değerlendirmesinde SGGÖS ve RGÖS değerleri Şekil 5.35 ve 5.36’da görüldüğü gibi sırasıyla 1.4 ve 1.6 yıl olarak bulunmuştur. Aynı zamanda pencere değişimiyle yıllık 9,660 kg CO_{2e}. tasarrufu sağlanacağı yapılan analiz sonuçlarından elde edilmiştir.



Şekil 5.35. Pencere değişimi sonucu sera gazları geri ödeme süresi



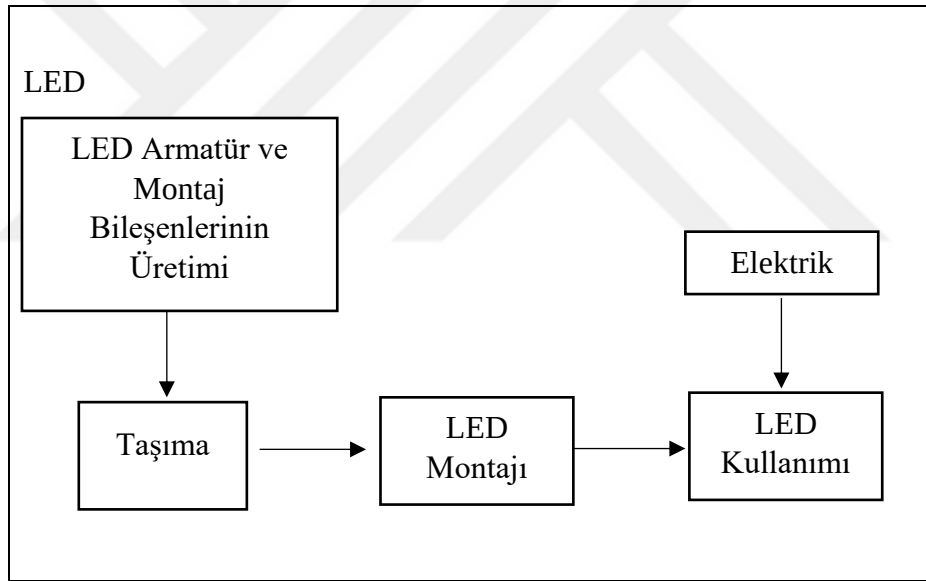
Şekil 5.36. Pencere değişimi sonucu ReCiPe geri ödeme süresi

Terminal binası pencereleri, çift camlı ve iki cam arasında aynı ara boşluğa ve daha yüksek ısı performansına sahip pencerelerle karşılaştırmalar yapılmıştır. Camların ara boşlukları arttıkça ısı performansları da artmakta, fakat beraberinde çerçeve değişimini de gerektirmektedir. Performansı daha yüksek ısı camlarıyla yapılan ekonomik ve çevresel analizlerde daha yüksek ara boşluğa sahip ısı camlar beraberinde çerçevelerin de değişimini gerektirdiğinden özellikle çerçeve üretiminin çevresel hasarının çok yüksek olduğu görülmüştür. Yapılan YDD ve ekonomik analizlerde çevresel ve ekonomik geri

ödeme süresinin de arttığı sonucuna varılmıştır. Çevresel geri ödeme sürelerinin çok yüksek olması sebebiyle çerçeve değişimi gerektirmeyen aynı ara boşluğa sahip ısıl camların hem ekonomik hem de çevresel açıdan terminal binası için en iyi seçim olduğu sonucuna varılmıştır.

5.12. Aydınlatma Yapısının LED ile Değişimiyle İlgili Bulgular

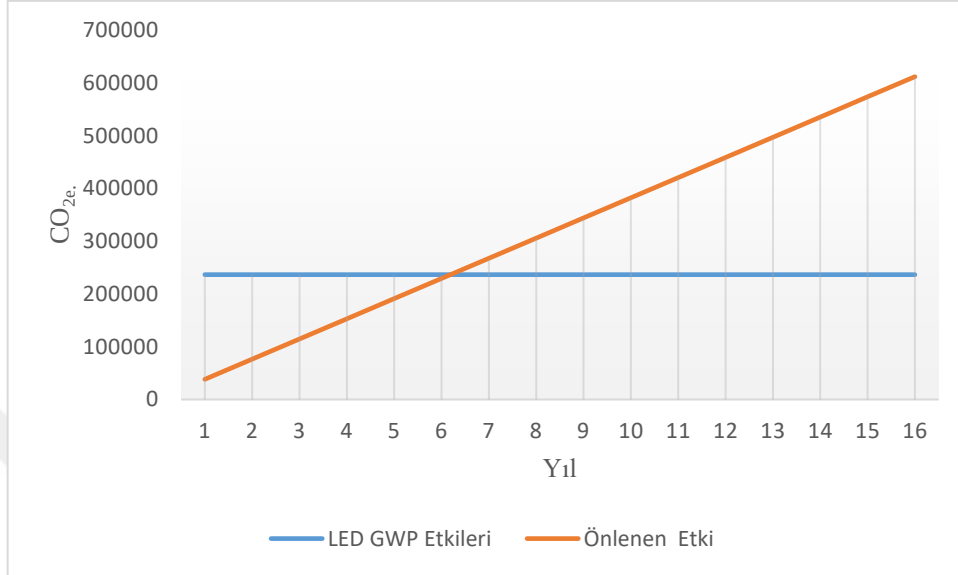
LED armatürler, uzun ömürlü ve yüksek etkinlik faktörüne sahip çok verimli aydınlatma elemanlarıdır. Bu bölümde terminal binasında bulunan aydınlatma yapısının LED ile değişiminin çevresel analizleri gerçekleştirilecektir. Mevcut aydınlatma yapısı dikkate alınarak, daha yüksek etkinlik faktörüne sahip LED armatürler için yapılan YDD analizinin sistem sınırları Şekil 5.37’de gösterilmiştir. İşlevsel birim olarak 1 kg LED üretimi seçilerek yapılan YDD analizinde üretilen LED armatürlerin 250 km kamyon ile taşındığı kabulü yapılmıştır.



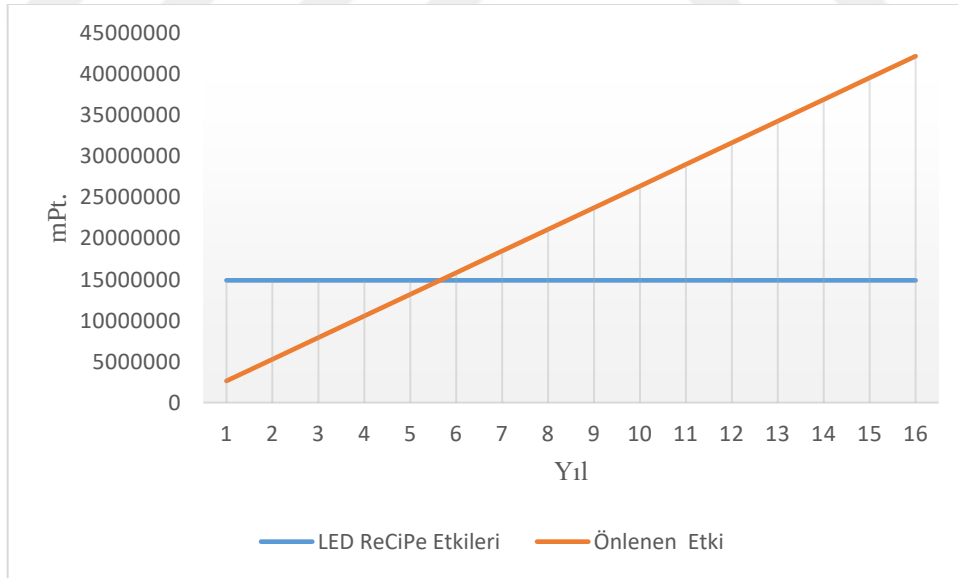
Şekil 5.37. LED armatürler için sistem sınırları

Yapılan YDD analizlerinde Şekil 5.38 ve 5.39’da görüldüğü üzere SGGÖS ve RGÖS sırasıyla 6.2 ve 5.65 yıl olarak hesaplanmıştır. LED armatürlerin yaşam döngüsü boyunca çevresel etkileri göz önüne alındığında en büyük etkinin (%96-%99) kullanım aşamasında olduğu ayrıca yapılan çalışmalarla kanıtlanmıştır. Kompakt floresan lambalarla karşılaştırıldığında çevresel etkilerinin %41- %50 oranında daha az olduğu görülmektedir (Principi ve Fioretti, 2014). Bununla beraber LED armatürler yüksek basınçlı sodyum lambalarla kıyaslandığında çevresel etkilerinin %41 daha az olduğu

yapılan çalışma sonuçlarından elde edilmiştir (Tähhämö ve Halonen ,2015). Terminal binası aydınlatmasında LED armatürler kullanılması ile yıllık 38,244 kg CO_{2e}. tasarrufu sağlanacağı sonucuna varılmıştır.



Şekil 5.38. LED sera gazları geri ödeme süresi



Şekil 5.39. LED ReCiPe geri ödeme süresi

5.13. İç Hava Kalitesi Ölçümleri ve Sonuçları

Terminal binasında mekanik havalandırma sisteminin olmayışı, pencerelerin güvenlik nedeniyle sürekli kapalı tutulduğu gerçeği göz önünde bulundurularak iç hava

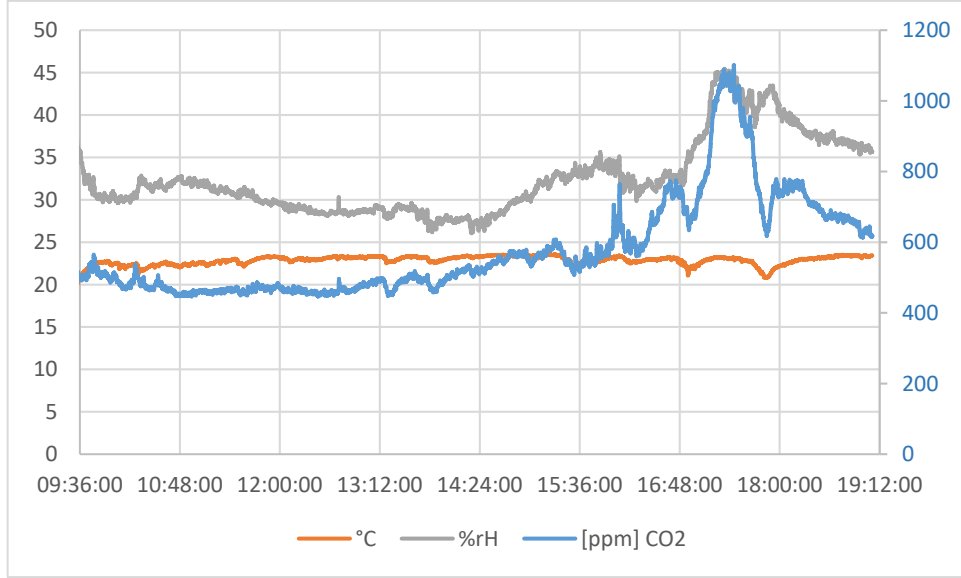
kalitesi (İHK) koşulları değerlendirilmiş ve bu nedenle üç ölçüm yapılmıştır. Ölçümler uzun süreli gerçekleştirilmiş olup İHK ölçüm düzeneği ve ölçüm yeri Görsel 5.13'te verilmiştir.



Görsel 5.13. İç hava kalitesi ölçüm düzeneği ve ölçüm yeri

İHK ölçümleri yolcu bekleme salonunda gerçekleştirilmiş olup uçuşların gerçekleştiği güne planlanmıştır. Ölçümlere yolcular terminal binasına alınmadan birkaç saat önce başlanmış ve yolcu alındıktan sonraki değişim izlenmiştir.

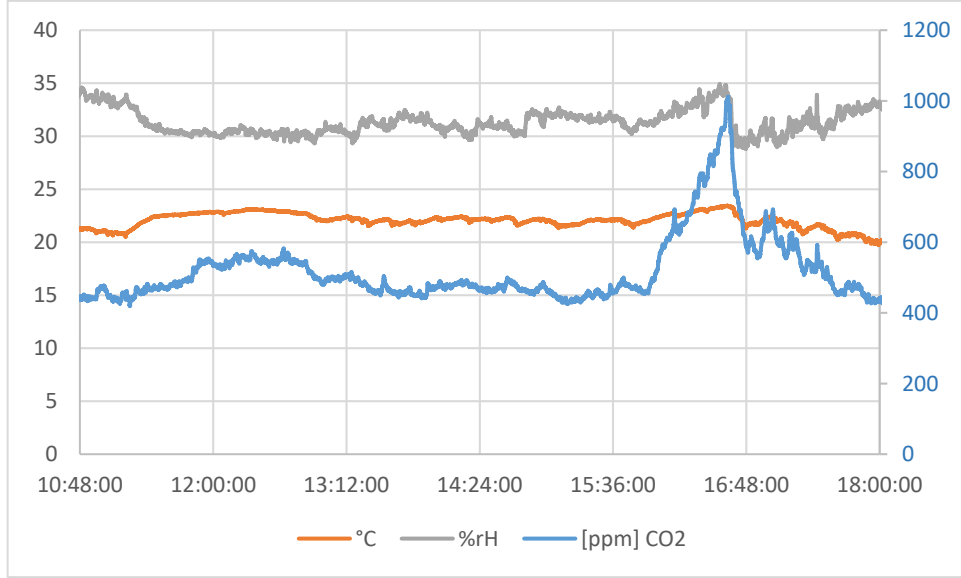
Birinci ölçüm 06.04.2017 tarihinde gerçekleştirilmiş olup ölçüme saat 09:32'de başlanmıştır. Terminal binasına yolcu girişi 16:22'de başlanmış olup bu saatte terminal binasındaki CO₂ miktarı 595 ppm'dir. Yolcuların terminal binasına girişiyle CO₂ miktarında Şekil 5.40'tan görüleceği gibi hızlı bir artış olmuştur. Saat 17:35 itibariyle yolcular pasaport kontrolünden arındırılmış bölgeye geçmeye başlamış ve 18:14'te bekleme salonundaki tüm yolcular pasaport kontrolden arındırılmış bölgeye geçmiştir.



Şekil 5.40. 06.04.2017 tarihinde gerçekleştirilen iç hava kalitesi ölçümü

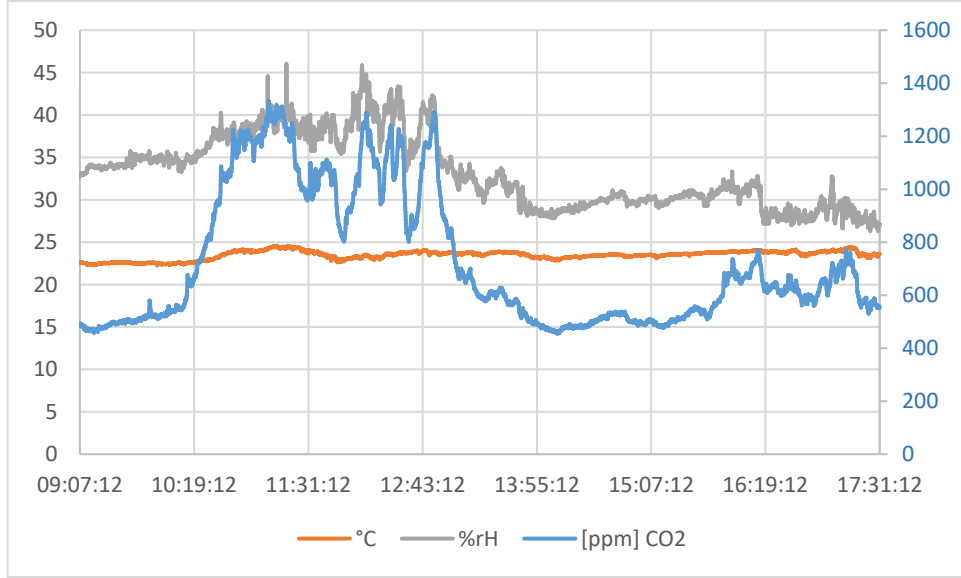
Gün içinde en yüksek CO₂ değeri 1102 ppm olarak saat 17:22’de ölçülmüştür. Yolcuların yolcu bekleme salonundan arındırılmış bölgeye geçmeye başlamasıyla CO₂ değeri hızla azalmaya başlamıştır.

İkinci İHK ölçümü 13.04.2017 tarihinde gerçekleştirilmiş olup sonuçları ilk ölçümle örtüşmektedir. Terminal binasına yolcu alımı başlamasıyla CO₂ ppm değeri artmış yolcuların pasaport kontrolden geçerek arındırılmış bölgeye geçişiyle bu değer düşmeye başlamıştır. Ölçüm süresi boyunca en yüksek CO₂ değeri Şekil 5.41’den görüldüğü gibi saat 16:38’de 1012 ppm olarak ölçülmüş olup bu değer yolcuların arındırılmış bölgeye geçişiyle azalmaya başlamıştır. 1. ve 2. ölçümlerde bekleme salonunda yolcular çok uzun süre kalmadığı için CO₂ ppm seviyesi 1000 ppm üzerinde uzun süre kalmamıştır.



Şekil 5.41. 13.04.2017 tarihinde gerçekleştirilen iç hava kalitesi ölçümü

Üçüncü ve son ölçüm 20.04.2017 tarihinde gerçekleştirilmiş olup sonuçları itibariyle önceki İHK ölçümleri ile benzerlik göstermektedir. Terminal binasına yolcu girişi saat 10:10'da başlamış ve 11:30 itibari ile bitmiştir. Yolcuların terminal binasına girmeye başlamasıyla Şekil 5.42'den görüleceği gibi CO₂ ppm seviyesi hızla artmış ve yolcular pasaport kontrolden arındırılmış bölgeye geçişiyle bu değer düşmeye başlamıştır. Ölçümde en dikkat çekilen nokta CO₂ ppm seviyesi yaklaşık 2 saat 20 dakika 1000 ppm sınır değerinin üstünde kalmış olmasıdır. Ölçüm sırasında CO₂ seviyesi en yüksek değere saat 11:06 itibariyle ulaşmış ve 1334 ppm olarak ölçülmüştür. Üçüncü ölçümün ilk iki ölçüme göre farkları yolcuların bekleme salonunda daha uzun bekleyişi CO₂ seviyesinin hem daha yüksek bir değere ulaşmasına hem de çok daha uzun süre 1000 ppm seviyesinin üstünde kalmasına neden olmuştur.



Şekil 5.42. 20.04.2017 tarihinde gerçekleştirilen iç hava kalitesi ölçümü

ASHRAE standartlarına göre iç ortam CO₂ seviyesinin sınır değerleri (ASHRAE, 2007):

- Dış ortam ile iç ortam arasındaki ppm seviyesi 700'ü geçmemelidir.
- İç ortam ppm seviyesi 1000'nin altında olmalıdır.

Her 3 ölçümün sonuçları değerlendirildiğinde, havalimanı terminal binasında yolcu varken yolcuların bulunduğu bölgelerin, mekanik havalandırma ihtiyacı olduğu görülmektedir.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Enerji maliyetleri, enerji tüketimi kaynaklı çevresel etkiler ve uyulması gereken yasal gereklilikler havalimanlarında enerjiyi daha verimli kullanmaya zorlamaktadır. Havalimanlarında enerji tüketimini etkileyen birçok faktörün bulunması, enerji tüketen sistem ve ekipmanların fazla olması etkili enerji yönetim ihtiyacını beraberinde getirmektedir. Bu tezde örneklem olarak Hasan Polatkan Havalimanı seçilmiş ve havalimanları için “Sürdürülebilir Enerji Yönetim Modeli” önerilmiştir. Havalimanında yapılan ön etüt ve detay etütler ile enerji iyileştirme fırsatları belirlemiş, bu fırsatlarla ilgili en ekonomik ve en sürdürülebilir eylem planları oluşturulmuştur. Havalimanlarında enerji yönetiminin bütüncül ele alındığı bu tezde sonuçlar aşağıda listelenmiştir:

- ✓ Havalimanlarında sürdürülebilirlik biriminin tek bir çatı altında toplanması, sürdürülebilirlik yöneticisinin aynı zamanda yönetim temsilcisi olması,
- ✓ Sürdürülebilirlik yöneticisine bağlı bir enerji yöneticisinin atanması ve enerji biriminin minimum mühendislik, havalimanı bakım/operasyon, satın alma, eğitim, yasal düzenlemelere uyumu izlemek için hukuk departmanı bölümlerinden oluşması,
- ✓ Havalimanının faaliyetlerine ve büyüklüğüne uygun bir enerji politikası geliştirmesi ve üst yönetimin bu politikada verilen taahhütlere tam destek olması ve gerekli tüm kaynakları sağlaması,
- ✓ Havalimanı çalışanlarına verilmesi zorunlu eğitimlere EnYS ve sürdürülebilirlik ile ilgili farkındalık eğitimlerinin verilmesi, enerji politikasının ve gelişmiş enerji performansının faydaları hakkında bilinçlendirilmesi,
- ✓ Tüm çalışanların EnYS ile ilgili fikir ve düşüncelerini iletebilmesi için etkili bir raporlama sürecinin oluşturulması gerekmektedir.

Ön etüt ve detay etütlerle ilgili bulgular:

- ✓ Havalimanında enerji tüketiminde en yüksek paya %58 ile terminal binası sahiptir. Terminal binasında toplam enerji tüketiminin %79.4 ısıtma amaçlı kullanılmaktadır.
- ✓ Havalimanında enerji tüketimi kaynaklı çevresel etkilerde %43 ile en yüksek payın terminal binasına ait olduğu, terminal binasında ise çevresel etkilerin %62’sinin ısıtma amaçlı kullanılan enerjiden kaynaklandığı görülmektedir.

- ✓ Yapılan regresyon analizleri ile Havalimanı terminal binasında enerji tüketimini etkileyen değişkenler yolcu sayısı ve HDD olarak belirlenmiştir. Bu değişkenler aynı zamanda enerji performans göstergeleridir. Terminal binasında yolcu sayısındaki ve HDD'deki her bir değişim enerji tüketiminde sırasıyla 250.49 kWh ve 0.52 kWh değişime neden olmaktadır.
- ✓ Terminal binasında ısıtma amaçlı kullanılan enerji ile HDD arasında %98.3 oranında güçlü bir ilişki bulunmuştur. Bundan dolayı ısıtma amaçlı kullanılan kazanların çok iyi bir dış hava kompanzasyonuna sahip olduğu sonucuna varılmıştır.
- ✓ TS 825 standardı kullanılarak terminal binasının ısıtma enerjisi ihtiyacı hesaplanmış ve gerçek enerji tüketimiyle karşılaştırılmıştır. Terminal binasında ısıtma amaçlı kullanılan enerjide hiçbir yatırım gerektirmeyen %22'lik bir tasarruf potansiyelinin olduğu belirlenmiştir. Bu potansiyel havalimanı terminal binasındaki toplam enerji tüketiminin ise %17.5'ini oluşturduğu görülmüştür. Bunun nedeni havalimanı terminal binasının TS 825 standardında belirlenen ısıtma eşiğinden daha yüksek sıcaklıklarda ısıtılmasıdır. Bu potansiyelin iki şekilde geri kazanılacağı sonucuna varılmıştır. Birincisi kazan çalışma rejiminin değiştirilmesi, ikincisi ise termostatik vanalı radyatör kullanımıdır. İlk seçenek hiçbir yatırım gerektirmezken yıllık 133,190 kWh enerji ve 17,360 TL para tasarrufu sağlamaktadır. Bununla beraber yıllık 30,440 kg CO_{2e}. tasarruf edileceği sonucuna varılmıştır.
- ✓ Kazanlarda hava yakıt oranının düzeltilmesi sonucu baca gazı kayıplarının azalacağı ve kazan veriminin %2.5 artacağı yapılan analiz sonuçlarından elde edilmiştir. Hiçbir yatırım gerektirmeyen bu işlem sayesinde yıllık 20,146 kWh enerji ve 2,600 TL para tasarrufu sağlanacaktır. Bununla beraber enerji tüketimi kaynaklı sera gazı emisyonlarının yıllık 4,600 kg CO_{2e}. azaltılabileceği sonucuna varılmıştır.
- ✓ Terminal binası dış kabuğu termal kamera yardımıyla incelenmiş ve dış yüzeylerdeki ısı kayıplar ve düzensizlikler belirlenmiştir. Termal görüntülerle yapılan analizlerde dış duvarlar ve çatıda ciddi ısı kayıplar ve düzensizlikler olduğu görülmüştür. Bunun sebebinin termal yalıtım eksikliği olduğu sonucuna varılmıştır.

- ✓ Terminal binası yapı bileşenlerinin U değerlerinin TS 825 standardında tavsiye edilen en yüksek değerlerden daha yüksek olduğu görülmüştür.
- ✓ Terminal binası elektrik tüketim saatlik ortalaması belirlenmiş ve saat 18:00'den sonra ciddi şekilde arttığı görülmüştür. Nedeni ise, gün karardıktan sonra havalimanı terminal binasındaki aydınlatma ihtiyacından kaynaklanmaktadır. Aydınlatma için kullanılan elektrik havalimanı terminal binasındaki toplam elektrik tüketiminin %62'sini oluşturduğu ve en önemli enerji tüketicisi olduğu sonucuna varılmıştır.

Yatırım gerektiren eylem planları ile ilgili bulgular aşağıda listelenmiştir:

- ✓ Terminal binası çatısı için optimum yalıtım kalınlığı 0.14 m olarak belirlenmiş ve uygulanması durumunda ısıtma amaçlı kullanılan enerjide %25.5 tasarruf edileceği ve ilk yatırım maliyeti 1.3 yılda karşılanacağı sonucuna varılmıştır. Bununla beraber SGGÖS ve RGÖS süreleri sırasıyla 1.3 ve 1.9 yıl olarak bulunmuştur. Bu sayede sera gazı emisyonlarında yıllık 30,620 kg CO_{2e} tasarruf edilecektir.
- ✓ Terminal binası zemini için optimum yalıtım kalınlığı 0.1 m olarak hesaplanmış ve uygulanması durumunda ısıtma amaçlı kullanılan enerjide yıllık %18 ve sera gazı emisyonlarında 21,860 kg CO_{2e} tasarruf edileceği sonucuna varılmıştır. Ayrıca ilk yatırım maliyetinin 2.6 yılda karşılanacağı sonucuyla beraber, SGGÖS ve RGÖS süreleri sırasıyla 1.43 ve 1.4 yıl olarak hesaplanmıştır.
- ✓ Terminal binası duvarları için bulunan optimum yalıtım kalınlığı 0.05 m olup ısı yalıtımı uygulandığında ısıtma amaçlı kullanılan enerjide yıllık %5.3 ve sera gazı emisyonlarında 6,356 kg CO_{2e} tasarruf edileceği sonucuna varılmıştır. Ayrıca ilk yatırım maliyeti 4.5 yılda karşılanacak olup, SGGÖS ve RGÖS süreleri sırasıyla 4 ve 3.97 yıl olarak hesaplanmıştır.
- ✓ Terminal binası pencerelerinin aynı ara boşluğa sahip ısı cam ile değişimi sonucu ısıtma amaçlı kullanılan enerjide yıllık %8.1 enerji ve sera gazı emisyonlarında 9,660 kg CO_{2e} tasarruf edileceği sonucuna varılmıştır. Bununla beraber ilk yatırım maliyetlerinin 4 yılda karşılanacağı sonucuna varılmıştır. SGGÖS ve RGÖS süreleri ise sırasıyla 1.4 ve 1.6 yıl olarak bulunmuştur.
- ✓ Radyatörlerin termostatik vanalı radyatörler değişimi ve terminal binasının 20 °C ısıtılacak şekilde ayarlanması sonucu ısıtma amaçlı kullanılan enerjide yıllık %22,

sera gazı emisyonlarında 30,440 CO_{2e} tasarruf edileceği ve ilk yatırım maliyetlerini 2.7 yılda karşılayacağı sonucuna varılmıştır.

- ✓ Terminal binasında aydınlatma amaçlı kullanılan lambaların LED armatürlerle değişimi sonucu terminal binası aydınlatma amaçlı elektrik tüketiminde yıllık %71,5 ve sera gazı emisyonlarında 38,244 kg CO_{2e} tasarruf edilecektir. Ayrıca ilk yatırım maliyetinin geri kazanılma süresi 1.74 yıl olarak hesaplanmıştır. SGGÖS ve RGÖS ise sırasıyla 6.2 ve 5.65 yıl olarak bulunmuştur.
- ✓ Yapılan iç hava kalitesi ölçümleri sonucu terminal binasında yolcu olduğu süreler içinde CO₂ seviyesinin sınır değeri olan 1000 ppm seviyesini aştığı görülmüştür. Bu nedenle terminal binasının mekanik havalandırma sistemine ihtiyacı olduğu sonucuna varılmıştır.

Bundan sonra yapılacak çalışmalar için öneriler iki alt grupta listelenmiştir. Birinci öneri grubu örnek havalimanı ile ilgiliyken, ikinci öneri grubu havalimanlarında çevresel sürdürülebilirlik çalışmalarını kapsamaktadır.

Örnek havalimanı için öneriler aşağıdaki gibi listelenmiştir.

- ✓ Havalimanının yenilenebilir enerji potansiyelinin değerlendirilmesi,
- ✓ Havalimanı için kojenerasyon ve trijenerasyon tesislerinin enerji verimliliği, ekonomik ve çevresel açıdan incelenmesi.
- ✓ Havalimanı terminal binasında ısıtma ve soğutma amaçlı toprak kaynaklı ısı pompalarının kullanımının enerji yönetimi açısından analiz edilmesi,

Çevresel sürdürülebilirlik ile ilgili öneriler aşağıdaki gibi listelenmiştir:

- ✓ Havalimanlarında atık yönetimi ve geri dönüştürülmeleri konusunun incelenmesi,
- ✓ Havalimanlarında enerji tüketimi ve hava araçlarının uçuş operasyonlarından kaynaklı hava kirliliğinin biyoçeşitlilik üzerine etkilerinin incelenmesi,
- ✓ Havalimanlarında gürültü yönetimi ve gürültü azaltma stratejileri konusunun çevresel sürdürülebilirlik açısından incelenmesi.

KAYNAKÇA

ACI. (2011). *Airport Carbon Accreditation Annual Report*.

ACI. (2014). *Airport Energy Efficiency and Management*.

Acosta, D.T. (1993). *Energy management in Louisiana's public school districts*. Doctoral dissertation. Louisiana State University.

Akdağ, A.R. (2013). *Toplanma amaçlı binalar özelinde camilerde enerji yönetimi ve enerji tasarrufu*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Karabük: Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Aksoy, S., Çalıkoğlu, E., Aras, H., Karakoç, N. (2013). *Enerji Yönetimi ve Politikaları*. Eskişehir: Anadolu Üniversitesi Açıköğretim Yayınları.

American Society of Heating, Refrigerating, & Air-Conditioning Engineers (Eds.). (2015). *ASHRAE Handbook. Heating, Ventilating, and Air-conditioning Applications*. American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.

ASHRAE, A. N. S. I., & Standard, A. S. H. R. A. E. (2007). 62.1. 2007, *Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality*. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., Atlanta, GA.

Anvari-Moghaddam, A., Monsef, H., & Rahimi-Kian, A. (2015). Cost-effective and comfort-aware residential energy management under different pricing schemes and weather conditions. *Energy and Buildings*, 86, 782-793.

Ates, S. A., & Durakbasa, N. M. (2012). Evaluation of corporate energy management practices of energy intensive industries in Turkey. *Energy*, 45(1), 81-91.

Atilgan, B., & Azapagic, A. (2016). Assessing the environmental sustainability of electricity generation in Turkey on a life cycle basis. *Energies*, 9(1), 31.

Atmaca, U. (2016). TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları Standardındaki Güncellemeler. *Tesisat Mühendisliği*. Sayı 154, s. 21-35.

Balaras, C. A., Dascalaki, E., Gaglia, A., & Droutsa, K. (2003). Energy conservation potential, HVAC installations and operational issues in Hellenic airports. *Energy and buildings*, 35(11), 1105-1120.

Balat, M. (2009). A review of modern wind turbine technology. *Energy Sources, Part A*, 31(17), 1561-1572.

Barbier, E. (2002). Geothermal energy technology and current status: an overview. *Renewable and sustainable energy reviews*, 6(1-2), 3-65.

- Barrett, S. B., DeVita, P. M., Whiteman, A., Bannard, D., Smalinsky, T., Korovesi, I., ... & DeVault, T. (2015). *Renewable Energy as an Airport Revenue Source* (No. Project 01-24).
- Barrett, S., Devita, P., Ho, C., & Miller, B. (2014). Energy technologies' compatibility with airports and airspace: Guidance for aviation and energy planners. *Journal of Airport Management*, 8(4), 318-326.
- Battal, U., Küçükönel, H., & Oktal, H. (2006). Bölgesel Havaalanlarına Bir Örnek: Eskişehir Anadolu Üniversitesi Uluslararası Havaalanı. *In Proceedings of the VI. Aviation Symposium*, Nevşehir: Turkey, s. 93-97.
- Bernstein, L., Bosch, P., Canziani, O., Chen, Z., Christ, R., Davidson, O., ... & Kundzewicz, Z. (2007). *Climate change 2007: Synthesis report*. Contribution of Working Groups I, II and III to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC: Geneva, Switzerland.
- Bilgin, A. (2001). Kazanlarda Baca Gazı Analizlerinin Değerlendirilmesi, İç Soğuma Kayıplarının İrdelenmesi. 5. *Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi*, İzmir: s. 617.
- Bolattürk, A. (2006). Determination of optimum insulation thickness for building walls with respect to various fuels and climate zones in Turkey. *Applied thermal engineering*, 26(11-12), 1301-1309.
- Braulio-Gonzalo, M., & Bovea, M. D. (2017). Environmental and cost performance of building's envelope insulation materials to reduce energy demand: Thickness optimisation. *Energy and Buildings*, 150, 527-545.
- Bulut, H., Büyükalaca, O., Yılmaz, T. (2007). Türkiye için ısıtma ve soğutma derece-gün bölgeleri. 16. *Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresin'*de sunulan bildiri. <http://eng.harran.edu.tr/~hbulut/ULIBTK07a.pdf>. (Erişim tarihi: 23.04.2018)
- Capehart, B. L., Turner, W. C., & Kennedy, W. J. (2012). *Guide to energy management*. (7th ed.). Lilburn: The Fairmont Press, Inc.
- Cardona, E., Piacentino, A., & Cardona, F. (2006a). Energy saving in airports by trigeneration. Part I: Assessing economic and technical potential. *Applied Thermal Engineering*, 26(14-15), 1427-1436.
- Cardona, E., Sannino, P., Piacentino, A., & Cardona, F. (2006b). Energy saving in airports by trigeneration. Part II: Short and long term planning for the Malpensa 2000 CHCP plant. *Applied Thermal Engineering*, 26(14-15), 1437-1447.
- Cengel, Y. A., & Boles, M. A. (2013). *Termodinamik Mühendislik Yaklaşımıyla*. (7. Baskı) Ankara: Palme Yayıncılık.
- Ceyhan Zeren, F. T. (2010). *Energy performance analysis of Adnan Menderes International Airport (ADM)*. Master's thesis, İzmir Institute of Technology.

- Costa, A., Blanes, L. M., Donnelly, C., & Keane, M. M. (2012). Review of EU airport energy interests and priorities with respect to ICT, energy efficiency and enhanced building operation.
- Curran, M. A. (Ed.). (2012). *Life cycle assessment handbook: a guide for environmentally sustainable products*. John Wiley & Sons.
- Çakal, E. (2006). *Tarım makinaları imalatında enerji yönetimi üzerine bir araştırma*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Tekirdağ: Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Çınar, T. (2008). *Tekstil sanayisinde enerji yönetimi ve enerji verimlilik analizi*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Denizli: Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Çokaygil, Z. (2005). *Atık Yönetimi Planlamasında Yaşam Döngüsü Analizi*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Eskişehir: Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Dixit, A., Pathak, G., & Sudhakar, K. (2015). Comparative study of life cycle cost of modern light sources used in domestic lighting. *International Journal of Science, Environment and Technology*, 4, 364-370.
- Doğan, H., & Yılankırkan, N. (2015). Türkiye'nin Enerji Verimliliği Potansiyeli ve Projesiyonu'. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 3(1), 375-383.
- Dulac, J., LaFrance, M., Trudeau, N., & Yamada, H. (2013). *Transition to Sustainable Buildings: Strategies and Opportunities to 2050*. Paris: International Energy Agency.
- Eccleston, C. H., March, F., & Cohen, T. (2011). *Inside energy: Developing and managing an ISO 50001 energy management system*. CRC Press.
- Fitzmaurice, G. M. (2016). Regression. *Diagnostic Histopathology*, 22(7), 271-278.
- Fumo, N., & Biswas, M. R. (2015). Regression analysis for prediction of residential energy consumption. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 47, 332-343.
- Goedkoop, M. J., Heijungs, R., Huijbregts, M., De Schryver, A., Struijs, J. V. Z. R., & Van Zelm, R. (2009). *A Life Cycle Impact Assessment Method Which Comprises Harmonised Category Indicators at the Midpoint and the Endpoint Level—Report I: Characterisation*. Den Haag.
- Gopalakrishnan, B., Ramamoorthy, K., Crowe, E., Chaudhari, S., & Latif, H. (2014). A structured approach for facilitating the implementation of ISO 50001 standard in the manufacturing sector. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 7, 154-165.

- Günkaya, Z., Özdemir, A., Özkan, A., & Banar, M. (2016). Environmental performance of electricity generation based on resources: a life cycle assessment case study in Turkey. *Sustainability*, 8(11), 1097.
- Howell, M. T. (2014). *Effective Implementation of an ISO 50001 Energy Management System (EnMS)*. Milwaukee: ASQ Quality Press.
- I. C. A. O. (2009). *Annex-14: Aerodromes, Volume I–Aerodrome design and operations* (Fifth Edition). International Civil Aviation Organisation.
- Iddrisu, I., & Bhattacharyya, S. C. (2015). Sustainable Energy Development Index: A multi-dimensional indicator for measuring sustainable energy development. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 50, 513-530.
- Ionita, C., & Marinescu, M. (2002). A review of combined heat and power generation. *University" Politehnica" of Bucharest Scientific Bulletin, Series D: Mechanical Engineering*, 64(4), 71-80.
- ISO. (2006). *14040: Environmental management–life cycle assessment–principles and framework*. London: British Standards Institution.
- Kanneganti, H., Gopalakrishnan, B., Crowe, E., Al-Shebeeb, O., Yelamanchi, T., Nimbarte, A., ... & Abolhassani, A. (2017). Specification of energy assessment methodologies to satisfy ISO 50001 energy management standard. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 23, 121-135.
- Kaynaklı, Ö., & Kaynaklı, F. (2016). Determination of Optimum Thermal Insulation Thicknesses for External Walls Considering the Heating, Cooling and Annual Energy Requirement. *Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering*, 21(1), 227-242.
- Kaynakli, O. (2011). Parametric investigation of optimum thermal insulation thickness for external walls. *Energies*, 4(6), 913-927.
- Khasreen, M. M., Banfill, P. F., & Menzies, G. F. (2009). Life-cycle assessment and the environmental impact of buildings: a review. *Sustainability*, 1(3), 674-701.
- Kılıkış, B. (2014). Energy consumption and CO₂ emission responsibilities of terminal buildings: A case study for the future Istanbul International Airport. *Energy and Buildings*, 76, 109-118.
- Kılıkış, B., & Kılıkış, Ş. (2017). New exergy metrics for energy, environment, and economy nexus and optimum design model for nearly-zero exergy airport (nZEXAP) systems. *Energy*, 140, 1329-1349.
- Kılıkış, Ş., & Kılıkış, Ş. (2016). Benchmarking airports based on a sustainability ranking index. *Journal of Cleaner Production*, 130, 248-259.

- Koroneos, C., Xydis, G., & Polyzakis, A. (2010). The optimal use of renewable energy sources—The case of the new international “Makedonia” airport of Thessaloniki, Greece. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(6), 1622-1628.
- Kurekci, N. A. (2016). Determination of optimum insulation thickness for building walls by using heating and cooling degree-day values of all Turkey’s provincial centers. *Energy and Buildings*, 118, 197-213.
- Lamnatou, C., & Chemisana, D. (2015). Evaluation of photovoltaic-green and other roofing systems by means of ReCiPe and multiple life cycle-based environmental indicators. *Building and environment*, 93, 376-384.
- Lee, S. H. (2012). *Management of building energy consumption and energy supply network on campus scale*. Doctoral dissertation. Georgia Institute of Technology.
- Mahlia, T. M. I., Razak, H. A., & Nursahida, M. A. (2011). Life cycle cost analysis and payback period of lighting retrofit at the University of Malaya. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(2), 1125-1132.
- Mardaljevic, J. (2004). Spatio-temporal dynamics of solar shading for a parametrically defined roof system. *Energy and Buildings*, 36(8), 815-823.
- McLaughlin, L. (2015). *ISO 50001: Energy Management Systems: A Practical Guide for SMEs*. Switzerland: ISO.
- Mendrinou, D., & Karytsas, C. (2003). Use of geothermal energy and seawater for heating and cooling of the new terminal building in the airport of Thessaloniki.
- Met, A. (2010). *Termik Santrallerde Enerji Yönetimi*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Miao, L. (2017). Examining the impact factors of urban residential energy consumption and CO₂ emissions in China—Evidence from city-level data. *Ecological indicators*, 73, 29-37.
- Morvay, Z., & Gvozdenac, D. (2008). *Applied industrial energy and environmental management* (Vol. 2). John Wiley & Sons.
- Naganathan, H., & Chong, W. K. (2017). Evaluation of state sustainable transportation performances (SSTP) using sustainable indicators. *Sustainable cities and society*, 35, 799-815.
- Onus, C. O. (2014). *Continual Energy Management Dynamics: Energy Efficiency in US Automotive Manufacturing Industry*. Doctoral dissertation. Walden University.
- Orhan, İ. (2003). *Kojenerasyon tesislerinde kullanılan güç teknolojileri*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Eskişehir: Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

- Ortega Alba, S., & Manana, M. (2016). Energy research in airports: A review. *Energies*, 9(5), 349.
- Ozturk, M., & Yuksel, Y. E. (2016). Energy structure of Turkey for sustainable development. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 53, 1259-1272.
- Özdemir, A. (2011). *Doğrusal olmayan regresyonda asimptotik yöntemle bootstrap örnekleme*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. İstanbul: Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Özdemir, Ö. (2014). Energy management and cleaner production in an automotive supply industry. Master Thesis. İzmir: Dokuz Eylül University, Graduate School Of Natural And Applied Sciences.
- Panwar, N. L., Kaushik, S. C., & Kothari, S. (2011). Role of renewable energy sources in environmental protection: a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(3), 1513-1524.
- Pargana, N. G. S. C. (2012). *Environmental impacts of the life cycle of thermal insulation materials of buildings*. IST, Lisboa.
- Parker, S.A., Scollon, R.B., and Smith, R.D. (2001). Boilers and Fired Systems. Wayne C. Turner (Ed.), *Energy Management Handbook* (p. 85-123). Lilburn: Fairmont Press.
- Petrecca, G. (2014). *Energy Conversion and Management*. New York: Springer.
- Plante, J. A., Barrett, S. B., De Vita, P. M., & Miller, R. L. (2010). Technical guidance for evaluating selected solar technologies on airports. *Federal Aviation Administration*.
- Posch, A., Brudermann, T., Braschel, N., & Gabriel, M. (2015). Strategic energy management in energy-intensive enterprises: a quantitative analysis of relevant factors in the Austrian paper and pulp industry. *Journal of Cleaner Production*, 90, 291-299.
- Principi, P., & Fioretti, R. (2014). A comparative life cycle assessment of luminaires for general lighting for the office—compact fluorescent (CFL) vs Light Emitting Diode (LED)—a case study. *Journal of Cleaner Production*, 83, 96-107.
- Ramamoorthy, K. (2012). *A Structured Approach for Facilitating the Implementation of ISO 50001 Standard in Manufacturing Industry*. Morgantown, West Virginia. West Virginia University.
- Rebitzer, G., Ekvall, T., Frischknecht, R., Hunkeler, D., Norris, G., Rydberg, T., ... & Pennington, D. W. (2004). Life cycle assessment: Part 1: Framework, goal and scope definition, inventory analysis, and applications. *Environment international*, 30(5), 701-720.

- Rietbergen, M. G., & Blok, K. (2010). Setting SMART targets for industrial energy use and industrial energy efficiency. *Energy Policy*, 38(8), 4339-4354.
- Rocha, P., Siddiqui, A., & Stadler, M. (2015). Improving energy efficiency via smart building energy management systems: A comparison with policy measures. *Energy and Buildings*, 88, 203-213.
- Rowlings, A. (2016). Rowlings, A. J. (2016). *Sustainable energy options for the future airport metropolis*. Master's thesis. Queensland University of Technology, Science and Engineering Faculty.
- Roy, A. K. (2001). *Public sector energy management: A strategy for catalyzing energy efficiency in Malaysia*. Doctoral dissertation. University of Delaware.
- Ruther, R., & Braun, P. (2005). Solar airports: A future multi-billion Euro PV market? *Refocus*, 6(4), 30-34.
- Rüther, R., & Braun, P. (2009). Energetic contribution potential of building-integrated photovoltaics on airports in warm climates. *Solar Energy*, 83(10), 1923-1931.
- SAGA. (2009). *Planning, Implementing and Maintaining a Sustainability Program at Airports*. Sustainable Aviation Guidance Alliance.
- Schiavoni, M.; Gayout, P.; Berard, M.; Nositschka, W.A.; Neumann, D.; Nicklas, D. (2013). Anti-glare effect of deeply textured cover glasses for solar modules for installations close to airports and heliports. In *Proceedings of the 28th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition*, Paris, France, 30 September–4 October.
- Serin. T. (2010). *Doğrusal olmayan regresyon modellerinde parametre tahmin yöntemleri, öneriler ve karşılaştırmaları*. Yayınlanmamış Doktora Tezi. Ankara: Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Sinha, M. N. (2013). *Intelligent demand side management of residential building energy systems*. Doctoral dissertation. The University of North Carolina at Charlotte.
- Somcharoenwattana, W., Menke, C., Kamolpus, D., & Gvozdenac, D. (2011). Study of operational parameters improvement of natural-gas cogeneration plant in public buildings in Thailand. *Energy and Buildings*, 43(4), 925-934.
- Sukumaran, S., & Sudhakar, K. (2017; a). Fully solar powered Raja Bhoj International Airport: a feasibility study. *Resource-Efficient Technologies*, 3(3), 309-316.
- Sukumaran, S., & Sudhakar, K. (2017; b). Fully solar powered airport: A case study of Cochin International airport. *Journal of Air Transport Management*, 62, 176-188.
- Sun, Y., Wang, S., Cui, B., & Yim, M. S. (2013). Energy performance enhancement of Hong Kong International Airport through chilled water system integration and control optimization. *Applied thermal engineering*, 60(1-2), 303-315.

- Şengür, Y. (2016). Yönetmelik Sistem Olarak Havaalanı. F. Şengür (Editör), *Havaalanı Yönetimi* içinde (s. 30-59). Eskişehir: Anadolu Üniversitesi Açıköğretim Yayınları.
- Tähkämö, L., & Halonen, L. (2015). Life cycle assessment of road lighting luminaires—Comparison of light-emitting diode and high-pressure sodium technologies. *Journal of Cleaner Production*, 93, 234-242.
- Taner, T. (2013). *Gıda Sektöründe Enerji Verimliliği ve Enerji Yönetimi: Şeker Fabrikası Örneği*. Yayınlanmamış Doktora Tezi. Ankara: Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Thumann, A., & Mehta, D. P. (2013). *Handbook of energy engineering*. (Seventh Edition). Lilburn: The Fairmont Press, Inc.
- Tingley, D. D., Hathway, A., & Davison, B. (2015). An environmental impact comparison of external wall insulation types. *Building and Environment*, 85, 182-189.
- TSE. (2008). *TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları*. Ankara.
- TSE. (2013). *TS EN ISO 50001 Enerji Yönetim Sistemleri- Şartlar ve Kullanım İçin Kılavuz*. Ankara.
- Tso, G. K., & Yau, K. K. (2007). Predicting electricity energy consumption: A comparison of regression analysis, decision tree and neural networks. *Energy*, 32(9), 1761-1768.
- UNFCCC. (2015). Adoption of the Paris Agreement; Proposal by the President, United Nations, Paris. In *Proceedings of the Conference of the Parties (COP)*, Paris: France, 30 November–11 December 2015.
- UNIDO. (2015). *Practical Guide for Implementing an Energy Management System*. United Nations Industrial Development Organization. Vienna.
- Uysal, M. P., & Sogut, M. Z. (2017). An integrated research for architecture-based energy management in sustainable airports. *Energy*, 140, 1387-1397.
- Wybo, J. L. (2013). Large-scale photovoltaic systems in airports areas: safety concerns. *Renewable and sustainable energy reviews*, 21, 402-410.
- Yüksel, I. (2010). Energy production and sustainable energy policies in Turkey. *Renewable Energy*, 35(7), 1469-1476.
- Zomer, C. D., Costa, M. R., Nobre, A., & Rüther, R. (2013). Performance compromises of building-integrated and building-applied photovoltaics (BIPV and BAPV) in Brazilian airports. *Energy and buildings*, 66, 607-615.

İnternet Kaynakları:

- http-1: <https://www.icao.int/environmental-protection/Pages/aircraft-engine-emissions.aspx> (Erişim Tarihi: 13.04.2018)
- http-2: <http://money.cnn.com/2016/03/14/technology/india-cochin-solar-powered-airport/index.html> (Erişim Tarihi: 19.04.2018)
- http-3: <http://www.nrg.com/renewables/projects/business/san-diego-airport/> (Erişim Tarihi 16.11.2017)
- http-4: http://aci-na.org/static/entransit/sunday_wind_boston_civic.pdf (Erişim Tarihi: 19.04.2018)
- http-5: <https://www.environmentalleader.com/2008/07/logan-airport-wind-energy-excursion-a-success/> (Erişim Tarihi: 19.04.2018)
- http-6: <http://www.decentralized-energy.com/articles/2017/06/geothermal-district-heating-a-co2-win-for-paris-airport.html> (Erişim Tarihi: 19.04.2018)
- http-7: http://www.segingenieria.com/admin/uploaded/archivos/iso_50001.pdf (Erişim Tarihi: 20.04.2018)
- http-8: <http://www.worldwildlife.org/climate/Publications/> (Erişim Tarihi: 14.07.2017)
- http-9: <http://www.dhmi.gov.tr/istatistik.aspx> (Erişim Tarihi: 14.03.2018)
- http-10: <https://gazelektrik.com/tedarikciler/osmangazi-elektrik/birim-fiya> (Erişim Tarihi: 26.04.2018)
- http-11: http://www.akfelgaz.com/wp-content/uploads/2013/03/price_table_res_apr_16_tr.pdf (Erişim Tarihi: 26.04.2018)
- http-12: <http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Elektrik> (Erişim Tarihi: 27.04.2018)
- http-13: <http://www.yasasan.com.tr/db/liste/Is%C4%B1cam.pdf> (Erişim Tarihi: 27.04.2018)
- http-14: http://www.yasasan.com.tr/Urunler_isi_sinerji.asp (Erişim Tarihi: 27.04.2018)
- http-15: <http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2011/10/20111027-5.htm> (Erişim Tarihi: 10.05.2018)

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Mehmet Kadri AKYÜZ
Yabancı Dil : İngilizce
Doğum Yeri ve Yılı : Dicle/1985
E-Posta : m.kadriakyuz@gmail.com

Eğitim ve Mesleki Geçmişi:

- 2012, Kocaeli Üniversite, Sivil Havacılık Yüksekokulu, Uçak Gövde Motor Bakım Bölümü
- 2012, Kocaeli Üniversite, Sivil Havacılık Yüksekokulu, Uçak Elektrik Elektronik Bölümü (Çift Anadal)
- 2012-2013, Uçak Teknisyeni, MNG Teknik
- 2013 – Devam Ediyor, Araştırma Görevlisi, Dicle Üniversitesi Sivil Havacılık Yüksekokulu

Yayınları ve/veya Bilimsel/Sanatsal Faaliyetleri:

Uluslararası Bilimsel Dergilerde Yayımlanan Makaleler:

- 1) Akyüz, M. K., Altuntaş, Ö., Söğüt, M. Z., Karakoç, T.H., Kurama, S. Determination of Optimum Insulation Thickness For Building's Walls with Respect to Different Insulation Materials: A Case Study International Hasan Polatkan Airport Terminal. *IJSA*, 2018 (*Baskıda*)
- 2) Akyüz, M. K., Altuntaş, Ö., & Söğüt, M. Z. (2017). Economic and Environmental Optimization of an Airport Terminal Building's Wall and Roof Insulation. *Sustainability*, 9(10), 1849.
- 3) Akyüz, M.K., Altuntaş, O., Çay, V.V. (2017). Havalimanı Terminal Binalarında Isı Yalıtımı ve Isıcının Enerji Performansına Etkisi. *Journal of Aviation*, ISSN: 2564-8004.

Uluslararası bilimsel toplantılarda sunulan ve bildiri kitabında (Proceedings) basılan bildiriler:

- 1) Akyüz, M.K., Altuntaş, Ö., Söğüt, M.Z. (2017). Investigation of Energy Drivers Effects Based on Energy Audit in Different Airports. International Symposium on Sustainable Aviation, Kiev, Ukraine.
- 2) Çay, V.V., Koçyiğit, F., Akyüz, M.K., Koçyiğit, Ş. (2017). Drying Systems With Supported by Solar Energy and Use in Agricultural, International Engineering Conference. Antalya, Turkey.

- 3) Akyüz, M.K., Altuntaş, O., Söğüt, M.Z., Karakoç, T.H. (2016). Energy Efficiency and Energy Management in Airport. International Symposium on Sustainable Aviation, Istanbul, Turkey.
- 4) Ekici, S., Yalin, G., Akyuz, M.K., Altuntas, O., Karakoc, T.H. (2015). Comparison Of Sofc-Gt and Traditional Apu With Life Cycle Assessment Analysis During Ground Operations for Domestic Flights in Turkey. International Symposium on Sustainable Aviation. Istanbul, Turkey.
- 5) Yalin, G., Ekici S., Akyüz M.K., Altuntas O., Karakoc T.H. (2014). Life Cycle Assessment Comparison, SOFC-GT APU with Traditional APU during Ground Operations. The 2nd Biennial Conference on Business, Energy and Development in Asia, Hiroshima, Japan.

