



**ERZURUM HAVALİMANI TERMİNAL  
BİNASININ ENERJİ ANALİZİ VE  
NET SIFIR ENERJİLİ BİNA FORMUNA  
DÖNÜŞTÜRÜLMESİNİN İNCELENMESİ**

**Ömer Faruk YILDIZ**

**Doktora Tezi  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı  
Termodinamik Bilim Dalı  
Prof. Dr. Mehmet YILMAZ**

**2017**

**Her hakkı saklıdır**

**ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DOKTORA TEZİ**

**ERZURUM HAVALİMANI TERMİNAL BİNASININ ENERJİ  
ANALİZİ VE NET SIFIR ENERJİLİ BİNA FORMUNA  
DÖNÜŞTÜRÜLMESİNİN İNCELENMESİ**

**Ömer Faruk YILDIZ**

**MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
Termodinamik Bilim Dalı**

**ERZURUM  
2017**

**Her Hakkı Saklıdır**



T.C.  
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



TEZ ONAY FORMU

ERZURUM HAVALİMANI TERMİNAL BİNASININ ENERJİ ANALİZİ VE  
NET SIFIR ENERJİLİ BİNA FORMUNA DÖNÜŞTÜRÜLMESİNİN  
İNCELENMESİ

Prof. Dr. Mehmet YILMAZ danışmanlığında, Ömer Faruk YILDIZ tarafından hazırlanan bu çalışma 20.02.2017 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Makine Mühendisliği Anabilim Dalı – Termodinamik Bilim Dalı'nda Doktora tezi olarak **oybirliği/oy çokluğu (.../...)** ile kabul edilmiştir.

Başkan: Prof. Dr. Kadir BAKIRCI

İmza :

Üye : Prof. Dr. Mehmet YILMAZ

İmza :

Üye : Yrd. Doç. Dr. Sadık ERDOĞAN

İmza :

Üye : Doç. Dr. Mehmet KAYA

İmza :

Üye : Doç. Dr. İ. Gökhan AKSOY

İmza :

Yukarıdaki sonuç;

Enstitü Yönetim Kurulu 16.03.2017 tarih ve 11.../...56 nolu kararı ile onaylanmıştır.

Prof. Dr. Cavit KAZAZ  
Enstitü Müdürü

**Not:** Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaklardan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

## ÖZET

Doktora Tezi

### ERZURUM HAVALİMANI TERMİNAL BİNASININ ENERJİ ANALİZİ VE NET SIFIR ENERJİLİ BİNA FORMUNA DÖNÜŞTÜRÜLMESİNİN İNCELENMESİ

Ömer Faruk YILDIZ

Atatürk Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı  
Termodinamik Bilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Mehmet YILMAZ

Dünyada kullanılan enerjinin %40'ı binalarda tüketilmektedir ve binalarda alınacak önlemler ve değişikliklerin enerjide önemli tasarruflar oluşturacağı yaygın kabul edilen bir gerçeklik olmuştur. Belirli süre içerisinde tükettiği kadar enerji üreten binalar olarak tanımlanan Net Sıfır Enerjili Binalar (nZEB), bina enerji kullanımını önemli oranda azaltırlar ve binaların enerji açısından kendine yeterli olmasını sağlarlar.

Bu tezin temel amacı, Türkiye'nin en soğuk iklim bölgesinde bulunan Erzurum Havalimanı Terminal Binasının enerji performans karakteristiklerini analiz etmek ve binayı Net Sıfır Enerjili Bina (nZEB) formuna dönüştürmektir. Bina; gerçek izolasyon seviyeleri, ısıtma, soğutma, ve iklimlendirme (HVAC) ekipmanları ve cihazları olan durumda EnergyPlus bina enerji simülasyon programı kullanılarak simüle edilmiştir. Terminal binasının gerçek enerji tüketimi ile simülasyon sonucu elde edilen tüketimi karşılaştırılmıştır. Önce "Bina Enerji Talebinin Azaltılması" kapsamında yapılacak iyileştirmelerin, ardından "Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Kullanılması" kapsamında yapılacak iyileştirmelerin enerji ve ekonomik değerlendirmesi yapılmıştır. Böylece her bir iyileştirmenin kazanımları belirlenmiştir.

Erzurum Havalimanı Terminal Binasının net sıfır enerjili bina formuna dönüştürülmesinin önemli enerji tasarrufları sağlayacağı ve CO<sub>2</sub> salınımını azaltacağı sonucuna varılmıştır.

**2017, 183 sayfa**

**Anahtar Kelimeler:** Bina Enerji Analizi, Net Sıfır Enerjili Bina, Erzurum Havalimanı Terminal Binası, HVAC, Enerji Performansı

## **ABSTRACT**

Ph. D. Thesis

### **ENERGY ANALYSIS OF ERZURUM AIRPORT TERMINAL BUILDING AND INVESTIGATION OF RETROFITTING IT TO NET ZERO ENERGY BUILDING**

Ömer Faruk YILDIZ

Atatürk University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Mechanical Engineering  
Division of Thermodynamic

Supervisor: Prof. Dr. Mehmet YILMAZ

40% of the energy used worldwide is consumed in buildings, and it is well known that measures and changes in the buildings can yield substantial savings in energy. Net-zero energy buildings (nZEB) produce as much energy as they consume over a defined period, significantly reduce building energy use and enable buildings to become energy self-sufficient.

The main objectives of this study are to analysis the energy performance characteristics of Erzurum Airport Terminal Building, located in the coldest climate of Turkey and to convert it net zero energy building. The building was simulated with real insulation levels, heating, ventilation, and air conditioning (HVAC) equipment, and appliances by using EnergyPlus building energy simulation software. A comparison is made between the real energy consumption and the energy consumption by simulation of the Terminal Building. Decreasing the energy demand of the building and then the integration of renewable energy into building designs are examined and evaluated in energy and economic terms. The value of employing each measures and changes was explored.

The results showed that the retrofiting Erzurum Airport Terminal Building to net zero energy building can lead to substantial energy saving and CO<sub>2</sub> emission decrease.

**2017, 183 pages**

**Keywords:** Building Energy Analysis, Net Zero Energy Building, Erzurum Airport Terminal Building, HVAC, Energy Performance.

## **TEŞEKKÜR**

Çalışmalarım esnasında her zaman güvenini ve desteğini gördüğüm saygıdeğer hocam Prof. Dr. Mehmet YILMAZ'a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Katkılarından dolayı Sayın Prof. Dr. Kadir BAKIRCI, Sayın Yrd. Doç. Dr. Sadık ERDOĞAN'a Őükranlarımı sunarım.

Ayrıca çalışmama vermiş olduğu destekler nedeniyle Erzurum Havalimanı Enerji Yöneticisi Makine Mühendisi Sayın Ahmet DİRİLMİŐ'e teşekkür ederim.

**Ömer Faruk YILDIZ**

**Şubat 2017**

## İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT .....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ .....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	x
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xiii
<b>1. GİRİŞ.....</b>	<b>1</b>
1.1. Dünya’da Bina Enerji Verimliliği Çalışmaları.....	2
1.2. Türkiye’de Bina Enerji Verimliliği Çalışmaları.....	5
1.3. Net Sıfır Enerjili/Neredeyse Net Sıfır Enerjili Bina (nZEB/nnZEB) Çalışmaları .....	12
1.4. Havalimanları Enerji Performans Analiz Çalışmaları.....	16
1.5. Tezin Amacı ve Kapsamı .....	25
<b>2. KURAMSAL TEMELLER.....</b>	<b>27</b>
2.1. Net Sıfır Enerjili Binalar .....	27
2.2. Bina Enerji Analiz Yöntemleri.....	28
2.3. Bina Enerji Analizinde Kullanılan Simülasyon Yazılımları .....	28
2.3.1. TRNSYS.....	30
2.3.2. ECOTECT .....	32
2.3.3. Energy-10 .....	32
2.3.4. DOE-2 (eQUEST) .....	33
2.3.5. ESP-r .....	34
2.3.6. BEP-TR .....	35
2.3.7. EnergyPlus ve DesignBuilder .....	36
2.3.7.a. EnergyPlus.....	36
2.3.7.b. DesignBuilder.....	38
2.4. Enerji Performansına Göre Yapılar .....	41
2.4.1. Enerji performansına göre yapı tanımları.....	41
2.4.2. Pasif ev .....	43

2.4.3. Net sıfır enerjili bina (nZEB) .....	46
2.4.4. Neredeyse net sıfır enerjili bina (nnZEB) .....	48
2.5. Net Sıfır Enerjili Bina (nZEB) / Neredeyse Net Sıfır Enerjili Binaların (nnZEB) Temel Öğeleri .....	49
2.5.1. Bina enerji talebinin azaltılması .....	51
2.5.1.a. Bina dış kabuğunun enerji performansının artırılması .....	51
2.5.1.b. Aydınlatma sistemi .....	52
2.5.1.c. Sistem pompaları ve fanlarının yenilenmesi .....	52
2.5.2. Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması .....	54
2.5.2.a. Toprak kaynaklı ısı pompası .....	54
2.5.2.b. Fotovoltaik enerji sistemleri .....	63
<b>3. MATERYAL ve YÖNTEM .....</b>	<b>73</b>
3.1. Erzurum Hava Limanı .....	73
3.1.1. Genel bilgi .....	73
3.1.2. İklimsel koşullar .....	75
3.1.3. Bina dış cephe özellikleri .....	76
3.1.4. HVAC sistemi .....	77
3.1.5. Sistem pompaları ve fanları .....	84
3.1.6. Sıhhi sıcak su sistemi .....	85
3.1.7. Aydınlatma sistemi .....	85
3.2. Yöntem .....	87
3.2.1. DesignBuilder ile modelleme .....	87
3.2.2. EnergyPlus ile simülasyon .....	90
3.2.3. Enerji hesaplama yöntemi .....	92
3.2.4. Dikey toprak kaynaklı ısı pompası tasarımı .....	94
3.2.5. Fotovoltaik (PV) sistem tasarımı .....	98
3.2.6. Güneş enerjili sıcak su sistemi tasarımı .....	98
<b>4. ARAŞTIRMA BULGULARI .....</b>	<b>100</b>
4.1. Yıllık Gerçek Enerji Tüketim Değerleri .....	100
4.2. Simülasyon Sonuçları .....	102
<b>5. TARTIŞMA ve SONUÇ .....</b>	<b>123</b>
5.1. Bina Enerji Talebinin Azaltılması .....	124



5.1.1. Bina dış kabuğunda yapılması önerilen değişiklikler.....	124
5.1.2. İklimlendirme sisteminde yapılması önerilen değişiklikler .....	128
5.1.2.a. Isıtma tasarım sıcaklığı .....	129
5.1.2.b. Soğutma tasarım sıcaklığı .....	129
5.1.2.c. Gece soğutması yapılması .....	130
5.1.2.d. Serbest soğutma (Free Cooling) bataryası kullanılması.....	131
5.1.2.e. Isı geri kazanım ünitelerinin kullanılması .....	132
5.1.2.f. İklimlendirme sisteminin CAV'dan VAV'a dönüştürülmesi .....	136
5.1.2.g. Kazanlar.....	137
5.1.3. Aydınlatma sisteminde yapılması önerilen değişiklikler .....	138
5.1.3.a. Aydınlatma şiddeti.....	139
5.1.3.b. Aydınlatma armatürleri .....	140
5.1.4. Sistem pompaları ve fanlarında yapılması önerilen değişiklikler .....	142
5.2. Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Kullanılması.....	144
5.2.1. Toprak kaynaklı ısı pompalarının kullanımı .....	145
5.2.2. Fotovoltaik (PV) panellerin kullanımı .....	151
5.2.3. Rüzgâr türbini kullanımı .....	153
5.2.4. Güneş enerjili sıcak su sisteminin kullanımı .....	154
5.3. Genel Sonuçlar ve Öneriler .....	156
KAYNAKLAR .....	161
EKLER .....	170
EK 1. ....	170
EK 2.....	173
EK 3.....	177
EK 4.....	178
EK 5.....	182
ÖZGEÇMİŞ .....	184

## SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

A	Zon Alanı (m <sup>2</sup> )
A <sub>pv</sub>	Güneş Paneli Alanı (m <sup>2</sup> )
COP <sub>1</sub>	Isı Pompasının Etkinlik Katsayısı
E <sub>v</sub>	Aydınlatma Şiddeti (lx)
F	Faydalı Kollektör Alanı (m <sup>2</sup> )
F <sub>1</sub>	Isıtma Çalışma Faktörü
L <sub>ısıtma</sub>	Toprak Isı Değiştiricisinin Uzunluğu (m)
P	Toplam Aydınlatma Gücü (W)
P <sub>pv</sub>	Güneş Panelinin Gücü (W)
Q <sub>eğik</sub>	Eğik Konumdaki Toplayıcıya Gelen Işınım Miktarı (kWh/m <sup>2</sup> gün)
Q <sub>faydalı</sub>	Güneş Enerjisi Faydalı Isı Miktarı (kWh/m <sup>2</sup> gün)
Q <sub>gerçek</sub>	Gerekli Olan Gerçek Isı Yüğü (kWh/gün)
Q <sub>h</sub>	Isınmak İçin Harcanan Enerji (Yıllık) (kWh/m <sup>2</sup> )
Q <sub>p</sub>	Maksimum Toplam Primer Enerji (Yıllık) (kWh/m <sup>2</sup> )
R	Dönüşüm Faktörü
R <sub>b</sub>	Boru Direnci (m°C/W)
R <sub>t</sub>	Toprak Direnci (m°C/W)
S	Toplayıcı Eğim Açısı (°)
T	Yıllık Ortalama Hava Sıcaklığı (°C)
T <sub>d</sub>	Yılın En Düşük Toprak Sıcaklığı (°C)
T <sub>m</sub>	Yıllık Ortalama Toprak Sıcaklığı (°C)
T <sub>min</sub>	Üniteye Girecek En Düşük Su Sıcaklığı (°C)
U <sub>d</sub>	Dış Duvar Toplam Isı Transfer Katsayısı (W/m <sup>2</sup> K)
U <sub>p</sub>	Pencere Isı Transfer Katsayısı (W/m <sup>2</sup> K)
η	Aydınlatma Verimi (lm/W)
Ψ	Doğrusal Isı Transfer Katsayısı (W/mK)
μ	Verim

## İndisler

ci	İç Taşınım
co	Dış Taşınım
cond	İletim
ia	İç Hava
ilw	İç Uzun Dalga Radyasyonu
inf	İnfiltrasyon
ir	İç Radyasyon
olw	Dış Uzun Dalga Radyasyonu
Pa	Sistem
S	Depolama
si	İç Yüzey
sol	Güneş
SW	Aydınlatma

## Kısaltmalar

AB	Avrupa Birliği
ADM	Adnan Menderes Havalimanı
ASCII	American Standard Code for Information Interchange
ASHRAE	The American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers
BEA	Bina Enerji Analizi
BEP-HY	Bina Enerji Performansı Hesaplama Yöntemi
BEP-TR	Bina Enerji Performansı Hesaplama Programı
BEPV	Bina Entegreli Fotovoltaik Sistem
CAV	Constant Air Volume
CFD	Computational Fluid Dynamics
CIBSE	Chartered Institution of Building Services Engineers
CIP	Commercially Important Person

DHMİ	Devlet Hava Meydanları İşletmesi
DOE	United States Department of Energy
EİE	Elektrik İşleri Etüt İdaresi
EPBD	Energy Performance of Buildings Directive
HVAC	Heating Ventilating and Air Conditioning
IEA	International Energy Agency
IES	Illuminating Engineering Society of North America
IWEC	International Weather for Energy Calculations
LED	Light Emitting Diode
LEED	Leadership in Energy and Environmental Design
nZEB	Net Zero Energy Building
nnZEB	Nearly Net Zero Energy Building
NREL	National Renewable Energy Laboratory
PEB	Pozitif Enerjili Binalar
PE SDR	Polyethylene Standard Dimension Ratio
PV	Photovoltaics
RES	Rüzgar Enerjisi Santrali
SEPEV	Sıfır Enerji ve Pasif Ev Derneği
TEP	Ton Eşdeğer Petrol
TID	Toprak Isı Değiştiricisi
TKIP	Toprak Kaynaklı Isı Pompası
TOKİ	Toplu Konut İdaresi
UETM	Ulusal Enerji Tasarrufu Merkezi
VAV	Variable Air Volume
VIP	Very Important Person
WEC	World Energy Council
YEGM	Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Yunanistan’da binalar için birim toplam zemin alanı başına ortalama yıllık toplam enerji tüketimi .....	17
Şekil 1.2. Brezilya’daki Florianopolis Uluslararası Havalimanı .....	21
Şekil 1.3. Kalifornia Fresno Yosemite Uluslararası Havalimanı PV panel dizilimi .....	22
Şekil 2.1. ESP-r yazılımının ara yüzü .....	34
Şekil 2.2. EnergyPlus yazılımının program yapısı .....	39
Şekil 2.3. EnergyPlus yazılımının simülasyon yöneticisi yapısı .....	39
Şekil 2.4. DesignBuilder 3 boyutlu kullanıcı arayüzü .....	41
Şekil 2.5. Enerji tüketimlerine göre "Ev" sınıflandırması .....	42
Şekil 2.6. Yeşil bina ve sürdürülebilir bina kapsamı .....	44
Şekil 2.7. Pasif evin temel öğeleri .....	45
Şekil 2.8. Sıfır enerji evinin başlıca özellikleri .....	50
Şekil 2.9. Jeotermal (toprak kaynaklı) ısı pompası tipleri .....	55
Şekil 2.10. Toprağın yıllık sıcaklık değişimi .....	56
Şekil 2.11. Toprak kaynaklı ısı pompası çalışma prensibi .....	57
Şekil 2.12. Toprak kaynaklı ısı pompası uygulama şekilleri .....	58
Şekil 2.13. Yatay topraklı kaynaklı ısı pompasının genel görünüşü .....	60
Şekil 2.14. Dikey toprak serpantinli ısı pompası .....	62
Şekil 2.15. Değişik düşey toprak ısı değiştiricisi tipleri .....	63
Şekil 2.16. Fotovoltaik hücre, modül ve panel .....	64
Şekil 2.17. Güneş panel sistemini oluşturan temel donanımlar .....	67
Şekil 2.18. Şebekeden bağımsız (off grid) sistemleri .....	69
Şekil 2.19. Şebeke bağlantılı (on grid) sistemler .....	71
Şekil 2.20. Şebeke bağlantılı (on grid) sisteme sahip bir konut .....	71
Şekil 3.1. Erzurum Havalimanı terminal binası .....	74
Şekil 3.2. Erzurum Havalimanının Google Earth'den görünümü .....	74
Şekil 3.3. Erzurum için aylık ortalama dış ortam sıcaklıkları .....	76
Şekil 3.4. Erzurum Havalimanı terminal binasının ısıtma ve soğutma sistemi akış diyagramı .....	80

<b>Şekil 3.5.</b> Soğutma sistemi HVAC sistem ekipmanları .....	82
<b>Şekil 3.6.</b> Isıtma sistemi HVAC sistem ekipmanları .....	82
<b>Şekil 3.7.</b> Erzurum Havalimanı terminal binasının 3 boyutlu görünüşü.....	89
<b>Şekil 3.8.</b> Zemin kat zonlarının 3 boyutlu görünüşü.....	89
<b>Şekil 3.9.</b> Asma kat zonlarının 3 boyutlu görünüşü.....	90
<b>Şekil 3.10.</b> ASHRAE Isıl Denge Metodu direnç şeması .....	92
<b>Şekil 3.11.</b> ASHRAE Isıl Denge Metodu akış şeması .....	94
<b>Şekil 4.1.</b> Erzurum Havalimanı terminal binasının bulunduğu konumun aylara göre atmosferik basınç değişimi .....	103
<b>Şekil 4.2.</b> Erzurum Havalimanı terminal binasının bulunduğu konumun ortalama dış hava kuru termometre sıcaklığının değişimi.....	103
<b>Şekil 4.3.</b> Erzurum Havalimanı terminal binasının bulunduğu konumun rüzgâr hızı değişimi .....	104
<b>Şekil 4.4.</b> Erzurum Havalimanı terminal binasının bulunduğu konumun rüzgâr yönü değişimi .....	105
<b>Şekil 4.5.</b> Erzurum Havalimanı terminal binasına gelen güneş enerjisi miktarı.....	107
<b>Şekil 4.6.</b> Erzurum Havalimanı terminal binasının iç ısı kazançlarının, zon duyulur ısıtma ve zon duyulur soğutma yüklerinin aylara göre değişimi ....	107
<b>Şekil 4.7.</b> Erzurum Havalimanı terminal binasının dizayn günü için ısı kayıpları ve zon duyulur ısıtma yükü .....	108
<b>Şekil 4.8.</b> Erzurum Havalimanı terminal binasının sistemlere göre enerji tüketiminin aylık değişimi .....	108
<b>Şekil 4.9.</b> Erzurum Havalimanı terminal binasının sistemlere göre yıllık enerji tüketimi.....	109
<b>Şekil 4.10.</b> Erzurum Havalimanı terminal binasının yıllık enerji tüketimi.....	110
<b>Şekil 4.11.</b> Erzurum Havalimanı terminal binasının aylık CO <sub>2</sub> üretimi .....	110
<b>Şekil 4.12.</b> Erzurum Havalimanı terminal binasının gerçek doğalgaz tüketimi ile simülasyon sonucu elde edilen doğalgaz tüketimleri.....	111
<b>Şekil 4.13.</b> Erzurum Havalimanı terminal binasının gerçek elektrik tüketimi ile simülasyon sonucu elde edilen elektrik tüketimleri .....	111
<b>Şekil 4.14.</b> Erzurum Havalimanı terminal binasının gerçek enerji tüketimi ile simülasyon sonucu elde edilen enerji tüketimleri .....	113

<b>Şekil 4.15.</b> Isıtma tasarım sıcaklığı 22°C'den 20°C'ye düşürüldüğünde bina toplam enerji tüketimi ve CO <sub>2</sub> değişimi .....	115
<b>Şekil 4.16.</b> Soğutma tasarım sıcaklığı 23°C'den 25,5°C'ye yükseltildiğinde bina toplam enerji tüketimi ve CO <sub>2</sub> değişimi .....	116
<b>Şekil 4.17.</b> Isı geri kazanım ünitesi kullanıldığında bina toplam enerji tüketimi ve CO <sub>2</sub> değişimi .....	118
<b>Şekil 4.18.</b> Aydınlatma şiddetleri IES standartlarına getirildiğinde bina toplam enerji tüketimi ve CO <sub>2</sub> değişimi .....	119
<b>Şekil 4.19.</b> LED armatürler ve aydınlatma kontrolü kullanıldığında bina toplam enerji tüketimi ve CO <sub>2</sub> değişimi .....	121
<b>Şekil 4.20.</b> Frekans konvertörlü sirkülasyon pompaları kullanıldığında bina toplam enerji tüketimi ve CO <sub>2</sub> değişimi .....	122
<b>Şekil 5.1.</b> Tamburlu (rotor) tip ısı geri kazanım ünitesi.....	134
<b>Şekil 5.2.</b> Karışım havalı - tamburlu (rotor) tip ısı geri kazanım üniteli klima santrali .....	134

## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Bina enerji analiz yöntemleri.....	29
Çizelge 2.2. Bina simülasyon yazılımları .....	31
Çizelge 2.3. BEP yönetmeliği'ndeki beklentiye göre simülasyon programları karşılaştırma tablosu .....	36
Çizelge 2.4. Pasif ev temel tasarım özellikleri.....	46
Çizelge 2.5. Renovasyon projeleri için EnerPHit standardı) .....	47
Çizelge 2.6. Net sıfır enerjili binalar (nZEB) için pasif ve aktif çözüm yöntemleri.....	50
Çizelge 2.7. Yenilenebilir enerjiye dayalı pasif sistemlerin enerji performansını etkileyen bina öğeleri.....	51
Çizelge 2.8. Aydınlatmada kullanılan otomasyon sistemleri.....	53
Çizelge 2.9. Toprak kaynaklı ısı pompalarının ısı değiştiricisi tipine göre yararları ve sakıncaları .....	61
Çizelge 2.10. Fotovoltaik hücrelerin üretildiği maddeler ve karakteristikleri .....	65
Çizelge 2.11. Fotovoltaik bileşenlerin yapıda kullanım şekilleri .....	67
Çizelge 2.12. Şebekeden bağımsız sistemler ile şebeke bağlantılı sistemlerin karşılaştırması.....	72
Çizelge 3.1. Terminal binası dış cephe yapı detayları .....	77
Çizelge 3.2. Terminal binası HVAC sistem ekipmanları .....	78
Çizelge 3.3. Merkezi ısı santralinden beslenen binalar ve ısıtma yükleri.....	83
Çizelge 3.4. Terminal binası zonlarında kullanılan HVAC ekipmanları ve tasarım sıcaklıkları.....	83
Çizelge 3.5. Terminal binası sistem pompaları.....	84
Çizelge 3.6. Terminal binası zonlarında kullanılan armatürler ve aydınlatma detayları .....	85
Çizelge 3.7. Boru çapına bağlı olarak boru dirençleri .....	96
Çizelge 3.8. Toprak direncinin toprak şartları ve boru çapına bağlı değişimi .....	97
Çizelge 3.9. Erzurum ili için TID boyutlandırması hesaplamalarında kullanılacak sıcaklık bilgileri .....	98
Çizelge 3.10. Enleme, Mevsime ve Toplayıcı eğim açısına göre R faktörü.....	99



<b>Çizelge 4.1.</b> Terminal binasının 2014-2015 yılı aylık ortalama doğalgaz tüketimi.....	101
<b>Çizelge 4.2.</b> Terminal binasının 2014-2015 yılı aylık ortalama gerçek enerji tüketimi .....	101
<b>Çizelge 5.1.</b> Terminal binasının nZEB/nnZEB binaya dönüştürülebilmesi için önerilen değişiklikler .....	123
<b>Çizelge 5.2.</b> Terminal binası mevcut durumunun dizayn günü için ısı kaybı çizelgesi .....	125
<b>Çizelge 5.3.</b> Isı yalıtım malzemesi kalınlıklarının arttırılmasının binanın enerji tüketimine ve enerji giderine etkisi.....	127
<b>Çizelge 5.4.</b> Isı yalıtım malzemesi kalınlıklarının arttırılmasının yaklaşık maliyeti ....	127
<b>Çizelge 5.5.</b> İklimlendirme sisteminde yapılabilecek değişiklikler .....	128
<b>Çizelge 5.6.</b> Isıtma sıcaklığı 22°C'den 20°C'ye düşürüldüğünde doğalgaz tüketimlerdeki değişim .....	129
<b>Çizelge 5.7.</b> Soğutma sıcaklığı 23°C'den 25,5°C'ye yükseltildiğinde enerji tüketimlerdeki değişim .....	130
<b>Çizelge 5.8.</b> Binanın gece soğutmasına tabi tutulması sonucu enerji tüketimlerinin değişimi.....	131
<b>Çizelge 5.9.</b> Klima santrallerine ısı geri kazanım ünitesi eklenmesi durumunda ısıtma ve soğutma enerji tüketimlerinin değişimi.....	135
<b>Çizelge 5.10.</b> Klima santrallerine ısı geri kazanım ünitesi eklenmesi durumunun ilk yatırım maliyeti .....	136
<b>Çizelge 5.11.</b> İklimlendirme sisteminin CAV'dan VAV'a dönüştürülmesi durumunda bina yıllık enerji tüketimlerinin ve bina yıllık enerji giderinin değişimi .....	137
<b>Çizelge 5.12.</b> İklimlendirme sisteminin CAV'dan VAV'a dönüşüm maliyeti .....	137
<b>Çizelge 5.13.</b> Aydınlatma sisteminde yapılması önerilen değişiklikler.....	139
<b>Çizelge 5.14.</b> Aydınlatma şiddeti IES standartlarına düşürüldüğünde bina enerji tüketimine ve enerji giderine etkisi .....	139
<b>Çizelge 5.15.</b> Aydınlatma armatürlerinin değiştirilmesinin bina enerji tüketimine ve enerji giderine etkisi .....	141
<b>Çizelge 5.16.</b> Aydınlatma sisteminde LED armatür ve otomatik kontrol kullanılması durumunda sistem kurulum maliyeti .....	141

<b>Çizelge 5.17.</b> Sirkülasyon pompalarının değişken devirli olarak yenilenmesi sonucu bina enerji tüketimine ve enerji giderine etkisi .....	143
<b>Çizelge 5.18.</b> Sirkülasyon pompalarının değişken devirli olarak yenilenmesi durumunda sistem kurulum maliyeti .....	144
<b>Çizelge 5.19.</b> Terminal binasında “Bina Enerji Talebinin Azaltılması” kapsamında önerilen değişikliklerin irdelenmesi .....	145
<b>Çizelge 5.20.</b> TKIP sistemi kurulmasının bina enerji tüketimine ve enerji giderine etkisi .....	149
<b>Çizelge 5.21.</b> TKIP sistemi kurulum maliyeti .....	151
<b>Çizelge 5.23.</b> PV panel kurulum maliyeti .....	153
<b>Çizelge 5.24.</b> Sıhhi sıcak su sisteminde güneş enerjisinden faydalanılması durumunda sistem kurulum maliyeti .....	156

## 1. GİRİŞ

Dünya enerji ihtiyacının önemli bir bölümünü karşılamakta olan fosil yakıtların rezervleri hızla tükenmektedir. Bu yüzyılın ikinci yarısında petrol ve doğalgaz gibi bazı fosil yakıtların rezervlerinin sonuna gelineceği tahmin edildiğinden, bütün enerji kaynaklarının verimli bir şekilde kullanılması büyük önem taşımaktadır. Enerji ihtiyacının sürekli arttığı ama kaynakların gittikçe azaldığı dünyamızda, enerjinin verimli kullanılmasını sağlamak için çok çeşitli programlar uygulanmaktadır. Hızla tükenen fosil yakıtların yerine bir yandan alternatif enerji kaynakları aranırken, diğer yandan mevcut kaynakların etkin biçimde değerlendirilmesi gündeme gelmekte ve enerji tüketiminin konforu etkilemeden düşürülmesi yönünde eğilimler oluşmaktadır. Bu eğilimler genel olarak enerji verimliliği başlığı altında değerlendirilmektedir (Kavak 2005).

Günümüzde enerji verimliliği kavramı bilgi ve iletişim teknolojilerinin gelişmesine paralel olarak önem kazanmaktadır. Dünyadaki fosil enerji kaynaklarının tükenmeye başlaması ile birlikte yeni enerji kaynaklarının araştırılmasına paralel olarak enerji tasarrufu, enerjiyi etkin ve verimli kullanma kavramları da önemli hale gelmiştir. Geçmişte enerji alt yapıları kurmak başlıca problemler iken, günümüzde var olan altyapıları verimli kullanma temel problem haline gelmiştir. Enerji verimliliğini artırmak için enerji kaynaklarını sürekli gözleyen ve bunları analiz eden teknolojilere ihtiyaç vardır. Bilgi ve iletişim alanında kullanılan enstrümanlar ve yazılımlar enerji yönetimini etkin, sürekli ve güvenilir yapmaktadır.

Enerji kullanımının üç temel alanı endüstri, ulaşım ve binalardır. Binaların ısıtılması, soğutulması, iklimlendirilmesi ve aydınlatılması için gerekli enerji günümüzde toplam enerji kullanımının büyük miktarını oluşturmaktadır. Bu nedenle binalar küresel ısınma ve ozon tabakasının incelmeye ana katkı yapan elemanlardır. Son enerji krizi ve enerji fiyatlarının giderek artması binaların enerji tüketimini azaltmanın yollarını bulmayı çok önemli hale getirmiştir. Günümüzde mevcut binaların çoğunluğu enerji açısından verimli değildir ve kullanıcılarına gerekli konforu sağlamak için gerekli olandan çok

daha fazla enerji tüketmektedirler. Yaklaşık olarak toplam enerjinin %40'ı ve elektrik enerjisinin yarısından fazlası bina sektörü tarafından tüketilmektedir (Erdoğan ve Yılmaz 2012).

Uluslararası Enerji Ajansı'nın (IEA) tahminine göre binalardaki enerji kullanımı önümüzdeki 20 yılda %1.5 ortalama bir hızla %34 büyüyecektir. 2030 yılında konutlara ve konut dışı kesime atfedilen tahmini tüketim sırasıyla %67 ve %33 olacaktır (IEA 2006).

### **1.1. Dünya'da Bina Enerji Verimliliği Çalışmaları**

Dünyada, özellikle de gelişmiş ülkelerde enerjinin verimli kullanılması için çok çeşitli çalışmalar yapılmakta, enerji verimli teknolojilerin geliştirilmesi ve yaygınlaştırılması için büyük bütçeli programlar uygulanmaktadır. Bu çalışmaların bir kısmı kamu eliyle yürütülen çeşitli uygulamalar, eğitim ve bilgilendirme faaliyetleri, bir kısmı yaptırımlar getiren yasal düzenlemeler, bir kısmı sivil kuruluşlar tarafından yürütülen kampanyalar ve gönüllü faaliyetler, bir kısmı da büyük endüstriyel şirketler ile üniversiteler tarafından yürütülen ve bazılarını hükümetlerin de desteklediği teknoloji geliştirme programlarıdır (Kavak 2005).

Dünya genelinde konutlardaki yoğun enerji kullanımı ve sera gazı üretimi, ülkelerin binalarda enerji verimliliğine yönelik bazı girişimlerde bulunmasına yol açmıştır. Bu girişimlerin en başında Amerika Yeşil Bina Konseyi tarafından 1998 yılında faaliyete geçirilen LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) sertifikalandırma sistemi bulunmaktadır. Bu sistem binaları, enerjiyi verimli kullanan ve çevre ile uyumlu, sürdürülebilir bir tasarım haline getirmektedir. Sistemin verimli olmasının ardından dünyada birçok ülke kendi sertifikalandırma programını oluşturmuştur.

Binalar, dünyada tüketilen enerjinin ve buna bağlı olarak oluşan karbon salınımının büyük bir bölümünden sorumludurlar. Buna karşın, binalarda alınacak önlemler ile önemli ölçüde enerji tasarrufu sağlanabileceği de son yıllarda yapılan birçok çalışma ile

ortaya konulmuştur. Bu nedenle, tüm dünyada olduğu gibi Avrupa Birliği (AB) de binaların enerji performansının artırılması amacı ile mevzuat düzenlemelerinde bulunmuştur. Bu amaçla, 2002 yılında *Binalarda Enerji Performansı Direktifi (Energy Performance of Buildings Directive, EPBD)* yayınlanmıştır. EPBD ile tüm AB ülkelerinin binalarda minimum enerji performans seviyelerini belirlemeleri ve binaları enerji performans düzeylerine göre sertifikalandırmaları zorunlu kılınmıştır (EPBD 2002; Ganiç vd 2013).

Lee *et al.* (2001) yaptıkları çalışmada ticari binalardaki düşük enerji performanslarının en önemli nedenlerinden birinin büyük boyutlu cihazlar olduğunu vurgulamışlardır. Gerçekçi tasarım kriterlerinin kullanılması durumunda, enerji performansı açısından cihazların büyük boyutlu olma sorununun azalacağını belirtmişlerdir. Araştırmacılar Hong Kong'daki 31 ofis binasında nihai enerji kullanımının gözden geçirilmesiyle binalarda aydınlatma güç yoğunluğu, insan yoğunluğu, elektrikli aletlerin yük yoğunluğu için bir takım gerçekçi dizayn kriterlerini belirlemişlerdir. Gerçekçi dizayn kriterlerinin kullanımıyla potansiyel elektrik tasarrufu Hong Kong'un elektrik tüketiminin %6-22'si olarak tahmin edilmiş olup bu tasarrufun karşılığı yıllık 12.2-44.7 milyar dolar olarak bulunmuştur.

Subtropik (sıcak ve nemli) iklim bölgesi Avustralya Central Queensland'da bulunan 4 katlı bir bina için ısıtma, havalandırma, iklimlendirme ve aydınlatma sistemlerinde çeşitli enerji tasarruf önlemleri EnergyPlus simülasyon programı tabanlı DesignBuilder kullanılarak değerlendirilmiştir (Rahman *et al.* 2010). Öncelikle mevcut sistemin enerji tüketimi profili analiz ve simüle edilmiş, simülasyon sonuçları Hobo veri kaydedici ve akıllı metre kullanılarak yerinde ölçülen verilerle doğrulanmıştır. Enerji tasarruf önlemleri olarak sabit hava debili sistem (CAV) yerine değişken hava debili sistem (VAV), genel aydınlatma yerine foto elektrik dim edilebilir kontrol sistemi, tek camlı pencere yerine çift camlı düşük ısı yalıtımlı pencere kullanılması durumu değerlendirilmiştir. Ayrıca iç hava şartlarının bu önlemler üzerindeki etkisi de tartışılmıştır. Araştırmanın sonucunda göz önüne alınan binada yukarıda belirtilen

değişikliklerin kullanılmasıyla ısı konfordan ödün verilmeksizin %26,5 enerji tasarruf edilebileceği görülmüştür.

Fumo *et al.* (2010) yaptıkları çalışmada binanın saatlik elektrik ve yakıt tüketimini tahmin etmede aylık elektrik ve yakıt faturalarından elde edilen aylık enerji tüketimine önceden tespit edilmiş bir katsayılar dizisi uygulayarak basit bir metot ortaya koymuşlardır. Bu yöntemle simülasyon kullanıcısının işini kolaylaştırarak daha fazla zaman ve efor harcanmasını önlemek istemişlerdir. Kullanıcıya sağlanan katsayılar EnergyPlus Benchmark Modeller simülasyonları çalıştırılarak elde edilmiş ve böylece simülasyon prosesi kullanıcı için apaçık bir hal almıştır. Metodoloji, Atlanta ve Meridian'da bulunan iki kuramsal binaya uygulanmış ve her ikisinde de saatlik enerji tüketimi için elde edilen hata %10 olarak bulunmuştur.

Yang *et al.* (2012) DOE-2 simülasyon yazılımını kullanarak yazların sıcak, kışların ılık yaşandığı Güney Çin ve soğuk bir bölge olan Kuzey Çin için farklı iklim bölgelerinin iklimsel karakteristiklerini dikkate alarak mevcut binaların yıllık enerji tüketiminin öncesi ve (yeniden yapılarak) sonrası durumunu analiz etmişlerdir. Soğuk bölge Kuzey Çin için mevcut binaların sonraki halinin yıllık enerji tasarrufunun kış ve yazda analiz edilmesi gerektiğini ve sıcak yaz ve ılık kış bölgesi Güney Çin için enerji tasarrufunun yeni binalar üzerinde odaklanması gerektiğini vurgulamışlardır.

Cho *et al.* (2013) enerji simülasyon modeli kullanarak ticari ofis ve konut gibi iki farklı bina tipinin arasındaki termal yük paylaşımının potansiyel faydalarını araştırmışlardır. Hem ofis hem de ev yapısının simülasyon modelleri benzer geometrilere sahiptirler. Konut ve ofis simülasyon modellerinin her birisi Güney Kore'de Seul'de 200 m<sup>2</sup>'lik iklimlendirilmiş alanı olan geometri için oluşturulmuştur. Araştırmacılar bu çalışmada EnergyPlus V6.0 termal simülasyon programını kullanarak dört farklı senaryo için termal enerji talebi ve tüketimini analiz etmişlerdir. 1. senaryo geleneksel ısıtma ve soğutma sistemli ev, 2. senaryo geleneksel ısıtma ve soğutma sistemli ofis, 3. senaryo birinci ve ikinci durumun basit bir toplamı, 4. senaryo ise birleşik HVAC sistemi kullanarak konut ve ofisin ısıtma ve soğutmasını sağlayan yük paylaşım modelidir. Yük

paylaşım sisteminin geleneksel sistemlere göre termal enerji tüketim profili ve potansiyel faydaları değerlendirilmiş ve yük paylaşım sistemlerinin optimum sistem konfigürasyonları önerilmiştir.

## **1.2. Türkiye’de Bina Enerji Verimliliği Çalışmaları**

Enerji kullanımının üç temel alanı endüstri, ulaşım ve binalardır. Türkiye’de binalarda kullanılan enerji, toplam enerji tüketiminin %36’sına ve kullanılan elektrik, toplam elektrik tüketiminin %43’üne karşılık gelmektedir. Bu da göstermektedir ki, bina sektörü toplam enerji kullanımı içinde en büyük tüketim grubunu oluşturmaktadır. Ülkemizde çok sayıda eski binanın bulunması, bunların inşa edildikleri sırada enerji tüketimi ile bina tasarımı arasında bir ilişki bulunduğu düşünülmeden yapılmış olmaları, Türkiye’deki bina enerji kayıplarının fazla olması sonucunu doğurmaktadır. Ekonomik büyümeye bağlı olarak yükselen yaşam standartları (cihazların ve havalandırmanın daha fazla kullanılması dâhil olmak üzere) ve binalardaki kayda değer artışla birlikte enerji talebi de artmıştır (Keskin ve Ünlü 2010).

Ülkemizde, konut sektöründe enerji verimliliği ile ilgili olarak çok yönlü çalışmalar sürdürülmekte, kanun ve yönetmelikler çıkarılmaktadır. 1981 yılındaki TS 825 “Binalarda Isı Yalıtımı Kuralları” standardı, enerji tasarrufu sağlamak amacıyla 1998 yılında yeniden düzenlenerek yürürlüğe girmiştir. “Binalarda Isı Yalıtım Yönetmeliği” 2000 yılında yürürlüğe girmiş ve 2008 yılında revize edilmiştir. “Enerji Verimliliği Kanunu” 2007 yılında ve “Enerji Kaynaklarının ve Enerjinin Kullanımında Verimliliğin Artırılmasına Dair Yönetmelik” 2008 yılında yürürlüğe girmiştir. Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliğinin 2008 yılında yürürlüğe girmesiyle 2008 tarihli “Binalarda Isı Yalıtım Yönetmeliği” yürürlükten kaldırılmıştır. 5627 sayılı “Enerji Verimliliği Kanunu” enerjinin etkin kullanılması, israfının önlenmesi, enerji maliyetlerinin ekonomi üzerindeki yükünün hafifletilmesi ve çevrenin korunması için enerji kaynaklarının ve enerjinin kullanımında verimliliğin artırılması amacıyla 2007 yılında çıkarılmıştır. Kanun; enerjinin üretim, iletim, dağıtım ve tüketim aşamalarında, endüstriyel işletmelerde, binalarda, elektrik enerjisi üretim tesislerinde, iletim ve

dağıtım şebekeleri ile ulaşımda enerji verimliliğinin artırılmasına ve desteklenmesine, toplum genelinde enerji bilincinin geliştirilmesine, yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanılmasına yönelik uygulanacak usul ve esasları kapsamaktadır. Enerji Verimliliği Kanunu uyarınca, toplam inşaat alanı en az 20.000 m<sup>2</sup> veya yıllık enerji tüketimi 500 TEP ve üzeri olan ticari binaların, hizmet binalarının ve kamu kesimi binalarının yönetimlerinin, yönetimlerin bulunmadığı hallerde bina sahiplerinin, “enerji yöneticisi” görevlendirilmesi veya enerji yöneticilerinden hizmet alınması gerekmektedir. Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Enerji Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun 2005 yılında yürürlüğe girmiştir.

Türkiye'de enerji tasarrufunun iyileştirilmesi amacıyla çeşitli bina enerji yönetmelik ve standartları çıkarılmaktadır. 1980 yılında enerji tasarrufu çalışmaları, Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİE) tarafından başlatılmıştır. 1981 yılında sanayide enerji tasarruf potansiyelini tespit çalışmaları yapılmıştır. 1988-1991 yılları arasında politika ve program çalışmalarına ağırlık verilmiştir. 1992 yılında Ulusal Enerji Tasarrufu Merkezi (UETM) kurulmuştur. 1992 ve 1995 yıllarında, 500 TEP ve üzeri 1200 tesis için tüketim istatistikleri oluşturulmuştur. 1995 yılında “Sanayi Kuruluşlarının Enerji Tüketiminde Verimliliğin Arttırılması İçin Alacakları Önlemler Hakkında Yönetmelik” çıkarılmıştır (Hepbaşlı 2007).

5 Aralık 2008 tarihinde “Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği” yayınlanmıştır. Bu yönetmeliğin amacı dış iklim şartlarını, iç mekân gereksinimlerini, mahalli şartları ve maliyet etkinliğini de dikkate alarak, bir binanın bütün enerji kullanımlarının değerlendirilmesini sağlayacak hesaplama kurallarının belirlenmesini, birincil enerji ve karbondioksit (CO<sub>2</sub>) emisyonu açısından sınıflandırılmasını, yeni ve önemli oranda tadilat yapılacak mevcut binalar için minimum enerji performans gereklerinin belirlenmesini, yenilenebilir enerji kaynaklarının uygulanabilirliğinin değerlendirilmesini, ısıtma ve soğutma sistemlerinin kontrolünü, sera gazı emisyonlarının sınırlandırılmasını, binalarda performans kriterlerinin ve uygulama esaslarının belirlenmesini ve çevrenin korunmasını düzenlemektir. "Binalarda Enerji Performans Yönetmeliği" yeni ve 1000 m<sup>2</sup> den büyük mevcut binaların "Enerji Kimlik



Belgesi" almasını yasal olarak zorunlu kılmaktadır. Binaların Enerji Kimlik Belgesi alabilmesi için enerji performanslarının belirlenmesi gerekir. Bir binanın enerji performansının belirlenmesi,

- 1) Binanın m<sup>2</sup> başına düşen yıllık enerji tüketiminin belirlenmesi,
- 2) Bu değere göre CO<sub>2</sub> salımının hesaplanması,
- 3) Bu değerlerin referans bir binanınki ile karşılaştırılması,
- 4) Karşılaştırma sonucuna göre binanın A-G arası bir enerji sınıfına yerleştirilmesi ile gerçekleştirilir.

Bina enerji performansının belirlenmesinde yıllık enerji tüketiminin hesaplanması şu aşamalardan oluşur (Erdoğan ve Yılmaz 2012):

- 1) Binaların ısıtılması ve soğutulması için binanın ihtiyacı olan net enerji miktarının hesaplanması,
- 2) Net enerjiyi karşılayacak kurulu sistemlerden olan kayıpları ve sistem verimlerini de göz önüne alarak binanın toplam ısıtma-soğutma enerji tüketiminin belirlenmesi,
- 3) Havalandırma enerjisi tüketiminin belirlenmesi,
- 4) Binalarda günışığı etkileri göz önüne alınarak, günışığından yararlanılmayan süre ve günışığının etkili olmadığı alanlar için aydınlatma enerji ihtiyacının ve tüketiminin hesaplanması,
- 5) Sıhhi sıcak su için gerekli enerji tüketiminin hesaplanması.

Binanın enerji tüketimine etki eden tüm parametrelerin, binaların enerji verimliliğine etkisini değerlendirmek ve enerji performans sınıfını belirlemek için ulusal "Bina Enerji Performansı Hesaplama Yöntemi (BEP-HY)" geliştirilmiştir (Erdoğan ve Yılmaz 2012).

Türkiye'nin enerji verimliliği potansiyeli Dünya Enerji Konseyi (WEC) tarafından binalarda %30, endüstride %20 ve ulaşımda %15'e kadar tanımlanmakta olup bunun 4 milyar TL enerji tasarrufu sağlayacağı tahmin edilmektedir. Endüstri, bina ve hizmet sektörü toplam enerji tüketiminde en yüksek oranlara ve yüksek enerji tasarrufu

potansiyeline sahip olduklarından dolayı enerji verimliliği çalışmalarında öncelikli sektörlerdir. Binaların ısıtma ve soğutmasında %35 ve ulaşımda %15 tasarruf sağlandığı takdirde ithal edilen petrol ve doğalgazın maliyetinde 1.4 milyar dolar düşüş yaşanacaktır. Türkiye'de binalarda ortam soğutması ve ısıtması için enerji kullanımının azaltılması, enerjinin muhafaza edilmesi ve çevrenin korunması açısından kaçınılmazdır (WECTNC 2005-2006).

Türkiye'deki binaların çoğunun (tamamen yeni olduklarında bile) AB ülkelerindeki yeni binalarla mukayese edildiğinde, enerji verimliliği seviyeleri yetersizdir. AB ülkeleri kanunlarıyla yapılan bir karşılaştırma, geçerli olan yönetmelikler uyarınca inşa edilen yeni binaların bile ısıtma için %50 daha fazla enerji harcadığını ortaya koymuştur. Mayıs 2008'de belirlenip Ağustos'tan itibaren zorunlu kılınan yeni standartlarla yakın zamanda iyileştirmeler yapılmış olsa da yeterli değildir. Model bir bina kullanarak yalıtım yönetmeliklerinin ısıtma gereksinimlerini mukayese eden bir çalışmaya göre metrekare başına kWh ülke bazında farklılık göstermektedir. Örneğin Danimarka'da 23 kWh/m<sup>2</sup>, Hollanda'da 34 kWh/ m<sup>2</sup> ve İngiltere'de 35 kWh/ m<sup>2</sup> olan bu rakamlar, 90-100 kWh/m<sup>2</sup> olan Türk standartlarıyla karşılaştırıldığında daha düşüktür.

Binalarda tüketilen enerjinin yaklaşık %75'i ısı enerjisi formunda tüketilmektedir ve bu nedenle de en etkin ve kolay uygulanabilir önlem ısı yalıtımıdır. Türkiye'de de diğer ülkelerde olduğu gibi ilk ve öncelikli önlem, bina kabuğundan olan ısı kaybının optimum yalıtımla azaltılması olarak tespit edilmiştir. Bazı model çalışmalarda yalıtım ile (binanın şartlarına, alanına, iklim bölgesine ve yalıtımın özelliklerine göre değişiklikler gösterse de), bir binada toplam olarak ortalama 100.000 kWh/yıl civarında tasarruf sağlandığı görülmektedir. Bu kabullerle düşük bir uygulama oranı ile bile son yıllarda yılda 300.000 TEP civarında enerji tasarruf edildiği sonucu ortaya çıkmaktadır. Bunun parasal değeri tahminen 50-60 milyon \$ civarındadır. 9 milyon binanın yarısının enerji tüketiminde yıllık 50.000 kWh civarında bir azalma sağlanabilse ki bu sınırlı bazı önlemlerle kazanılabilecek bir tasarruf miktarıdır, kendisini 10 yıl gibi bir periyotla

kolayca geriye ödeyebilecek bir yatırımla yılda 3.5 milyon TEP enerji tasarrufu sağlanabilir (TMMOB 2008).

Karagözlü (2006) konutlarda enerji giderlerinin azaltılmasına yönelik alternatiflerin üretilmesi ve bu alternatiflerin ilk yatırım maliyetlerine etkisinin irdelenerek uygun değerleri sağlayan önerilerin geliştirilmesi amacıyla İstanbul Acıbadem semtinde bir toplu konut projesine E-Quest bina simülasyon programını uygulamıştır. Bu doğrultuda, mevcut binalardaki enerji giderlerini belirlemek amacıyla binanın simülasyonu yapılmıştır. Simülasyon sonucunda yıllık ısıtma, soğutma ve aydınlatma giderleri saptanmıştır. Minimum enerji giderlerinin sağlanabilmesi için hesaplanan enerji giderlerinin azaltılmasına ilişkin öneriler geliştirilmiştir. Bu öneriler, tasarım evresinde alınması gereken kararlara yönelik olarak farklı alternatifler önerilmesi ve bina kabuğunun mevcut termofiziksel özellikler değerlerinin düzeltilmesini kapsamaktadır.

Tıkır (2009) yüksek lisans tezinde, İstanbul'da bulunan mevcut bir konutun dış kabuğunun enerji etkin yenilenmesinde kullanılabilir seçenekleri belirlemiş ve bu seçeneklerin binanın enerji tüketimine ve CO<sub>2</sub> salınımına etkilerini EnergyPlus simülasyon programının görsel ara yüzü olarak geliştirilen DesignBuilder programı aracılığıyla gözlemlemiştir. İstanbul'un en eski toplu konut örneklerini bulduran Ataköy Mahallesi'ndeki A tipi bina, mevcut konutların yenilenmesinde bir örnek olarak alınmış ve enerji etkin yenileme seçeneklerinin ekonomik etkinliği değerlendirilmiştir. Simülasyonlar bina kabuğuna yalıtım uygulanmasının ve yapının güney cephesinde bulunan balkonun camlanarak kapatılmasının binanın enerji tüketiminin azaltılmasında en olumlu etkiyi gösteren seçenekler olduğunu göstermiştir. Uygunluğu belirlenen seçenekler seçilen binaya uygulanarak elde edilebilecek enerji tasarrufları ve binaya uygulanan yenilemenin geri ödeme süresi belirlenmiştir.

Eskin (2009) yaptığı çalışmada, farklı ortam koşulları ve bina özelliklerinin, binaların yıllık enerji yükleri üzerindeki etkisini irdlemiştir. EnergyPlus simülasyon programı vasıtasıyla yapılan inceleme sonucunda, bina özelliklerinin, bina konumunun, binanın

bulunduğu iklim bölgesinin, yıllık ısıtma ve soğutma yükleri enerji sarfiyatı üzerindeki etkisi irdelenmiş ve sonuçlar her iklim bölgesi için ayrı ayrı sunulmuştur.

Yaman ve Gökçen'in (2009) yaptıkları çalışmada binalarda enerji performansı belirleme yöntemleri tanıtılmış ve 2006 yılından bu yana enerji tüketimi, iç ortam sıcaklık ve bağıl nem değerleri ile kampüse ait meteorolojik verilerin izlendiği İzmir İleri Teknoloji Enstitüsü-Urla-İzmir'de bulunan İdari Bina'nın enerji performansı, statik ve dinamik yöntemler ile hesaplanmıştır. Statik yöntem olarak Türkiye'de zorunlu standart olarak kullanılan TS 825, dinamik yöntem olarak ise basit dinamik hesap yöntemi olan CIBSE Isıl Girişkenlik yöntemi ile detaylı dinamik hesap yöntemi olan ASHRAE Isıl Denge yöntemi kullanılmıştır. CIBSE ısı girişkenlik yöntemini temel alan ECOTECT ve ASHRAE Isıl Denge yöntemini temel alan EnergyPlus yazılımlarının kullanımı ile İdari Bina simüle edilmiş, elde edilen sonuçlar gerçek enerji tüketim ölçümleri ve statik TS 825 yöntemiyle karşılaştırılmıştır.

Mangan ve Oral (2013) tarafından TOKİ (Toplu Konut İdaresi) tarafından inşa edilmiş bir konut projesinin, Türkiye'nin ılımlı nemli, sıcak nemli ve soğuk iklim bölgelerine yönelik enerji simülasyonları yapılmış, mevcut enerji tüketimlerinin ve CO<sub>2</sub> salınımının azaltılması için senaryolar geliştirilmiştir. Her bir senaryo için enerji simülasyonları ile elde edilen sonuçlar karşılaştırılmış ve uygun seçeneğin belirlenmesi amaçlanmıştır. EnergyPlus ve PV\*SOL Expert programı kullanılarak simülasyonlar gerçekleştirilmiştir. Çalışmada geliştirilen enerji etkin senaryolar aracılığı ile mevcut durumdaki ısıtma ve soğutma amaçlı enerji tüketimlerinin ve bu enerji tüketimlere bağılı CO<sub>2</sub> salınımlarının azaltılabileceği ve yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanan sistemlerden üretilen enerji değerleri ile mevcut enerji tüketimlerinin karşılanabileceği ve CO<sub>2</sub> salınımlarında azaltım sağlanabileceği vurgulanmıştır.

Durmuş ve Önal (2014) yaptıkları çalışmada Avrupa Birliği normları esas alınarak Türkiye'nin güneydoğu bölgesinde (Gaziantep-Oğuzeli) inşa edilen Kabul, Tarama ve Barınma Merkezi (A-Blok) binasının enerji performans kimliğini araştırmışlardır. Bu yapı, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'na ait BEP-TR (Bina Enerji Performansı) Programı

kullanılarak enerji performans değeri ve enerji kimlik belgesi açısından değerlendirilmiştir. Elde edilen veriler karşılaştırılarak AB normlarında inşa edilen yapının enerji sertifikasyonu belirlenmiştir.

şahin vd (2015) yaptıkları çalışmada İzmir’de çok katlı bir apartman bloğunda yer alan bir konutun hava sızdırmazlık değerini fan basınçlandırma (blower door) metodu ile ölçmüşlerdir. Yapı kabuğunda hava kaçaklarının meydana geldiği yerler termal kamera yoluyla belirlenmiştir. Konut yapısı EnergyPlus hesaplama metodolojisini kullanan DesignBuilder simülasyon aracı yardımıyla modellenmiştir. Daha sonra bu model konutun aylık tüketim değerleri ve iç ortam sıcaklığı ile kalibre edilmiştir. Tespit edilen hava sızdırmazlık değerinin  $0.5 \text{ h}^{-1}$  iyileştirilmesinin konutun yıllık mekan ısıtma amaçlı enerji tüketime üzerine olan etkisi bina enerji simülasyon aracı yardımıyla belirlenmiştir. Sonuçlar, hava sızdırmazlık değerindeki iyileştirmenin yıllık enerji tüketiminde %3’lk bir azalma sağladığını gösterirken, bu değer ısı yalıtımının eklenmesi sayesinde %13 olmuştur.

Gğl (2016) tarafından yapılan doktora tezinde Ankara’da bulunan müstakil bir konutta enerji talebinin azaltılmasının potansiyeli araştırılmıştır. Konutun ısıtma amaçlı saatlik enerji talep modeli ESP-r bina enerji simülasyon yazılımı kullanılarak oluşturulmuştur. Konutun ısıtma talebi tahmini ile ısıtma amaçlı doğalgaz ölüm verileri arasındaki farkın %28 olduğu görülmüştür. Konutun ısıtma talebini azaltmak için konutun fiziksel yapısında iyileştirmeleri (pencere camı, dış duvar ve çatı yalıtımı) ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılmasını (fotovoltaik panel, güneş enerjisi ile su ısıtma sistemi, toprak kaynaklı ısı pompası) ngren senaryolar modele uygulanmıştır. Senaryo sonuçlarının tekno-ekonomik analizleri, konutta fiziksel yapıda iyileştirmelerin öngörüldüğü senaryoların enerji tasarrufu ve CO<sub>2</sub> salımı azalması açısından tercih edilebilir olduğunu göstermiştir. Fotovoltaik panel ve toprak kaynaklı ısı pompası kullanımının geri ödeme süresinin yüksek çıkması sebebi ile İç Anadolu iklimi için tercih edilmeyecekleri sonucuna varılmıştır. Güneş enerjisi ile su ısıtma sisteminin kabul edilebilir bir geri ödeme süresinin olması ve %68 enerji tasarrufu sağlanabilmesinden dolayı konutta uygulanmasının makul olacağı sonucuna varılmıştır.

Ankara’da 2005’den sonra inşa edilen ve model konut ile aynı enerji sınıfında bulunan müstakil konutlara, pencere, dış duvar ve çatıda iyileştirme yapılması ile sıcak su temini için gerekli enerji talebinin güneş enerjisi ile sağlanması senaryoları uygulandığında, Ankara’da 12 milyon m<sup>3</sup>/yıl doğalgaz eşdeğeri enerji tasarrufunun elde edileceği sonucuna varılmıştır.

### **1.3. Net Sıfır Enerjili/Neredeyse Net Sıfır Enerjili Bina (nZEB/nnZEB) Çalışmaları**

Günümüzde binaların gittikçe artan bir oranda daha yüksek ve daha kompleks performans gereksinimlerini karşılaması; sürdürülebilir olması; net sıfır enerji kullanması; insanlar için saha sağlıklı ve konforlu ortam oluşturması; inşa ve bakımının ekonomik olması beklenmektedir (Kolokotsa *et al.* 2011).

Yüksek enerji performanslı net sıfır enerjili binalar (*net Zero Energy Building, nZEB*) ve neredeyse net sıfır enerjili binalara (*nearly net Zero Energy Building, nnZEB*) ilişkin çalışmalar gittikçe yoğunlaşmaktadır. Konuya ilginin yoğunlaşmasına ve konuya ilişkin araştırmaların artmasına karşın, net sıfır enerjili bina ve neredeyse net sıfır enerjili bina kavramlarının tek bir tanımı olduğu söylenemez. AB Binalarda Enerji Performansı Direktifinde, nnZEB, yüksek enerji performansı ve düşük primer enerji (fosil tabanlı enerji) tüketimi olarak tanımlanmaktadır. Net sıfır enerjili bina 0,0 kWh/m<sup>2</sup>yıl primer enerji tüketimi, neredeyse net sıfır enerjili bina ise yaklaşık olarak 0,0 kWh/m<sup>2</sup>yıl primer enerji tüketimine sahip bina olarak tanımlanmaktadır. AB Binalarda Enerji Performansı Direktifinde (EPBD), 2018’den sonra inşa edilecek binaların neredeyse net sıfır enerjili binalar olması öngörülmektedir (Çakmanus 2011).

Kolokotsa *et al.* (2011) akıllı net sıfır ve pozitif enerjili binalar (nZEB/PEB) için yol haritası oluşturmak amacıyla araştırma yapmışlardır. Net sıfır ve pozitif enerjili binaların başarılı gelişimi ve çalışması için gerekli aşamaların, bina ve alt sistemlerini doğru temsil eden termal simülasyon modelleri; fiziksel ve simülasyon katmanları arasında iletişimi kolaylaştıracak sensörler, aktüatörler ve kullanıcı arayüzleri; sensör girişlerini ve termal modelleri kullanarak yeterli genelliğe sahip entegre kontrol ve

optimizasyon araçları olduğu vurgulanmıştır. Makalede başarılı nZEB/PEB'in gelecek entegrasyonunu destekleyebilecek esas bileşenlerin teknolojik gelişmelerinin literatür taraması verilmiştir.

Çakmanus (2011) yayınladığı makalede yüksek enerji performanslı net sıfır enerjili binalar (nZEB) ve yaklaşık sıfır enerjili binaların (nnZEB) ne olduğu, nasıl değerlendirilmesi gerektiği üzerinde durmuştur. Net sıfır enerjili (nZEB) binaların yapılmasının çok büyük yatırımlar gerektirmediği vurgulanmıştır. nZEB binalarda bina kabuğunun performansının artırılması (ısıtma, soğutma ve havalandırma yükleri minimize edilmeli), kalan yükler için serbest soğutma, ısı geri kazanım, ısı depolama, doğal havalandırma, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması, yüksek verimli HVAC sistemleri kullanımı, test, ayar, dengeleme vb. yapılması gerektiği üzerinde durulmuştur. Tüm bunların HVAC sistemlerinin kapasitelerini düşürdüğü için böylesi binaların ilk yatırım maliyetlerinin yüksek olacağı şeklindeki değerlendirmelerin doğru olmadığı, buradaki ilk yatırım maliyeti artışının %10 mertebesini geçmediği vurgulanmıştır. Ayrıca bu binalarda CO<sub>2</sub> salınımlarının minimize edildiği dolayısıyla bu binaların çevre dostu olduğu da vurgulanmıştır.

Az katlı konut tipolojisinde, pasif ev standardı tasarım kriterlerinin bina enerji performansına etkisi irdelenmiştir (Akyol 2012). Literatürdeki çalışmalar incelenerek, standartlar, tanımlar ve tasarım kılavuzları ile oluşturulmuş çalışma uzayı belirlenmiştir. Sıcak nemli iklim bölgesinde, Antalya özelinde, DesingBuilder v3 simülasyon programı kullanılarak; pasif ev tasarım parametreleri, yapı kabuğunun optik ve termofiziksel özellikleri, pencere boyutları, bölgesel gölgeleme elemanı kullanımının bina enerji performansına etkisi analiz edilmiştir. Antalya İli için; lineer ve geniş cephesini güneye açan plan tipolojisinin uygun yönelme ve form olduğu sonucuna varılmıştır. Bina enerji performansı üzerinde yapı elemanlarının etkisi tespit edilmiş ve yapı elemanı ölçeğinde alınabilecek önlemler değerlendirilmiştir. Analizler ile elde edilen sonuçlar pasif tasarım kriterlerinin etkinliğini sayısal değerler ile ortaya koymuştur. Önceden hedeflenmiş bina performansına ulaşmak için yönelme, form ve kabuğun optik ve termofiziksel özelliklerinin hangi oranda etkili olduğunun bilinmesi sağlanmıştır.

Demirel (2013) pasif ev standartlarının Türkiye'nin ılımlı ve sıcak iklim bölgelerinde değerlendirilmesini amaçlayan bir Yüksek Lisans Tez çalışması yapmıştır. Pasif standartlara uygun tasarlanan örnek çalışma; ılımlı nemli iklim koşullarına sahip İstanbul ili, ılımlı kuru iklim koşullarına sahip Ankara ili ve sıcak nemli iklim koşullarına sahip Antalya ili olmak üzere üç farklı iklim bölgesinde simülasyon programları yoluyla değerlendirilmiştir. Bu iklim bölgelerinde uygulanan pasif evin yalıtım kalınlıkları değiştirilerek oluşturulan yapı seçeneklerinin ortalama yıllık ısıtma, soğutma ve birincil enerji ihtiyacı pasif evler için geliştirilmiş PHPP (Passive House Planning Package) programı yardımıyla hesaplanmıştır. Ayrıca, pasif ev standardında verilen maksimum alan ısıtma ihtiyacı olan yıllık 15 kWh/m<sup>2</sup> değerinin sağlanması için gerekli yalıtım kalınlığı, binanın uygulandığı iklime bağlı olarak hesaplanmıştır. Enerji performans değerlendirme sonuçlarına göre, pasif ev standartlarının Türkiye'nin ılımlı ve sıcak iklim bölgelerinde uygulanması durumunda binaların ısıtma enerji ihtiyacının oldukça düşük seviyelere çekildiği görülmüştür. Ancak, soğutma ihtiyacına bakıldığında sıcak iklime sahip Antalya ilinde yapılan hesaplamalar sonucunda yüksek soğutma ihtiyacı değerleri elde edilmiştir.

Utlu ve Tekin (2013) yaptıkları çalışmada Türkiye iklim şartlarında net sıfır enerjili bir bina tasarımı için olası çözümleri bulmak amacıyla simülasyon programları kullanarak yapı malzemelerinin enerji tüketimine etkisini incelemiştir. Belirlenen iklim koşullarında yenilenebilir kaynaklı elektrik ve güneş enerjili sıcak su sistemi kullanılmasının sıfır enerjili ve enerji verimli binalar için uygunluğu araştırılmıştır. Çeşitli tasarım parametreleri karşılaştırılarak bina ve enerji sistemleri için optimum koşullar belirlenmiştir. İdeal dış cephe tasarımı ile enerji gereksinimlerinin minimize edilebildiği, ideal ev tasarımının orijinal tasarıma göre %31 dolaylarında ısı enerjisi tasarrufu sağladığı sonucuna varılmıştır.

Chee *et al.* (2013) yaptıkları çalışmada sürdürülebilirliğin 3 ilkesiyle yola çıkarak (azaltım-geri dönüşüm-yeniden kullanım) bir binanın nasıl sıfır enerji kullanımına ulaşabileceğini anlatmaktadır. Enerji verimliliği olan bir bina için ilk ilke atık- ısı kaybı veya ısı kazanımını azaltmak; ikinci ilke ısıtma veya soğutmada enerjinin geri



dönüşümü ve üçüncü ilke de yenilenebilir enerji kullanımınıdır. Yalıtım konusundaki gelişmelerin ısı kaybı ve/veya ısı kazanımını azaltmakta oldukça etkili olduğuna, HVAC-R sisteminin kullanımıyla sıcaklığın bina içerisine geri dönüştürüldüğüne ve yenilemeye yani yenilenebilir enerjinin kullanımına ilişkin sistemlere değinilmiştir.

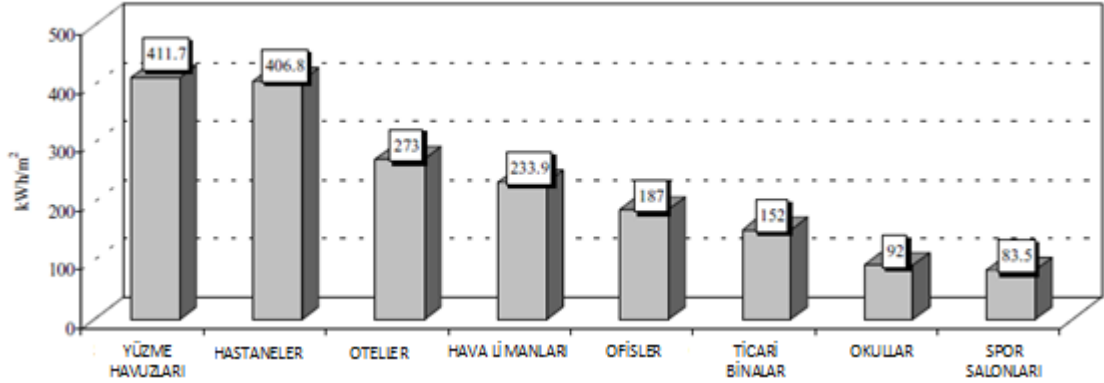
Yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanılarak bir konutun enerji ihtiyacının karşılanması amacıyla yapılan bir tasarım çalışması yapılmıştır (Bayar ve Atılğan 2015). Yeşil bina özelliklerini taşıyabilmesi konutta gerekli ısı yalıtımı yapılmış, enerji tüketimi az olan elektrikli ev aletleri kullanılmış, geri dönüşümü olan ve çevreye zarar vermeyen malzemelerden faydalanılmıştır. Ayrıca konutun elektrik enerjisi şebekeye bağlı güneş pillerinden, ısıtma-soğutma ve sıcak su gereksinimi toprak kaynaklı ısı pompası ile güneş kolektörlerinden, kullanım suyu için ise yağmur suyu depolama sistemlerinden karşılanmıştır. Enerji ve ekonomik analiz sonucunda yeşil evin tasarımının doğru olduğu ve yeşil ev kurulumunun uygulanabilir olduğu sonucuna varılmıştır.

Güney cepheden maksimum düzeyde yararlanmak amacıyla asimetric bir çatıya sahip olan ve çatı eğim açısı  $24^{\circ}$  olan Antalya’da bulunan iki katlı müstakil bir ev “neredeys e sıfır enerjili bina” ya dönüştürme amacıyla incelenmiştir (Adıgüzel ve Javani 2016). Evin elektrik enerjisinin ve sıcak kullanım suyu ihtiyacının güneş enerjisiyle karşılanması amaçlanmış, bu kapsamda her iki sistemden de optimum şekilde yararlanmak amacıyla panellerin monte edileceği yönün verime etkisi bilgisayar programları yardımıyla belirlenmiştir. Simülasyonlarda düzlem kolektör ve vakum tüplü kolektörler kullanılarak verimleri karşılaştırılmıştır. Güneş enerjili sıcak su sistemlerinde vakum tüplü kolektörlerin güneydoğuya bakan çatıya yerleştirilmesinin en verimli olduğu görülmüştür. Güneydoğuya bakan çatı, fotovoltaik sistemler için uygun olsa da, eğer aktif montaj yüzey alanı yeterliyse, kuzeybatı yönlü çatının enerji gereksinimini karşılayacağı belirlenmiştir. Kuzeybatı yönlü ve güneydoğu yönlü aynı panel sayısı bulunan iki fotovoltaik sistem karşılaştırıldığında güneydoğu yönlü sistemin, kuzeybatı yönlü sisteme göre %39.79 daha fazla elektrik enerjisi ürettiği saptanmıştır.

Bayraktar (2015) tarafından yapılan Yüksek Lisans Tez çalışmasında Karabük ili için toprak altı sıcaklık değerleri ölçülmüş ve örnek olarak tasarlanan villa tarzı bir konut için hesaplama yapılmıştır. Ayrıca, toprak altı sıcaklık değerleri tespit edilerek, Pasif evde TKIP uygulamasının seçimi, seçim nedenleri, verimliliği, uygulanabilirliği incelenmiştir. Mevcut pratik TKIP kurulumunda toprak altı sıcaklık değerlerinin 5° C alındığı vurgulanmış ve Karabük ili için toprak altı sıcaklık değerleri ölçülerek 5° C'den büyük olduğu gösterilmiştir.

#### **1.4. Havalimanları Enerji Performans Analiz Çalışmaları**

Havalimanı terminalleri temel ulaşım tesisleri arasındadır. Bu tip binalar farklı işletme ve mimari karakteristiklere sahiptirler. Genellikle, ana havalimanları belirli periyotlarda değişken programlar ve doluluk oranlarıyla yıl boyunca 24 saat çalışırlar. Küçük ve yerel havalimanlarının çalışma rejimleri ve doluluk oranları mevsimsel olarak değişiklik göstermektedir. Havalimanları yüksek enerji tüketimi gösteren tesisler arasındadır. Şekil 1.1'de Yunanistan'da farklı binalardaki ortalama yıllık enerji tüketim değerleri gösterilmiştir. Bu veriler faydalı olmasına karşın enerji tüketimi doğrudan iç hava kalitesi, elektromekanik donanım ve işletme koşullarına bağlı olduğundan farklı kullanımı olan binalar ve kategoriler arasında doğrudan karşılaştırma yapmak zor olmaktadır. Pratik olarak, enerji tüketimini azaltmak ve her bir binanın karakteristiklerine ve gereksinimlerine uygun iç hava kalitesini geliştirmek için tüm durumlarda sayısız fırsat olduğundan her bir bina ayrı ayrı değerlendirilmelidir (Balaras *et al.* 2003).



**Şekil 1.1.** Yunanistan’da binalar için birim toplam zemin alanı başına ortalama yıllık toplam enerji tüketimi (Balaras *et al.* 2003)

Havalimanı terminal binaları genellikle yüksek tavanlı büyük açık plan alanları, bilet kountarları, bekleme alanları, küçük ofis alanları ve çeşitli tip mağazalar, mümessillik tesisleri ve WC’lerden oluşur. İç yükler esas olarak değişken doluluğa sahip insanlardan kaynaklanır. Aydınlatma ve cihaz yükleri genellikle ortalama büyüklüktedir. Dış yükler binanın mimarisine bağlı olarak değişir ve büyük dış camlar nedeniyle güneş ısı kazançları genellikle yüksektir. Tümüyle havalı sistemli merkezi ısıtma ve soğutma tercih edilir. Enerji tüketimini optimize edecek ve nem seviyelerini belirlenen limitler içerisinde tutacak uygun kontrol stratejili değişken debili iklimlendirme sistemi ve radyant soğutulan döşeme gibi hibrit sistemler de kullanılabilir. Çeşitli alanlardaki değişken doluluk ve yolcu akışını karşılamak için zon kontrolü tavsiye edilir. İzole edilmiş ofis alanları, mağazalar ve benzerlerini içeren çevresel alanlar bağımsız iklimlendirme gerektirebilir. Terminal binaları pozitif basınçta tutulmalıdır ve ana girişler, dış havanın binaya girmesini ve cereyan oluşmasını azaltmak ve iklimlendirilen hava miktarını düşürmek amacıyla antreler ve rüzgâr kesici kısımlarla donatılabilir. Havalimanı terminalleri için iç dizayn koşulları 23-26°C sıcaklık ile kış mevsiminde %30-40, yaz mevsiminde %40-55 bağıl nem şeklindedir. Hava hareketi döşemenin 3.7 m üzerinde 0.13 m/s’nin altında ve gerekli hava değişim sayısı 8-12 aralığında olmalıdır (Balaras *et al.* 2003).

Enerji ve tüketimi azaltmak için çabalar ve sürdürülebilirlik birçok havalimanında önemli çevresel faktörlerdendir. Havalimanlarında enerji kaynakları tüketimini azaltma çabaları arasında aşağıdaki belirtilenler sayılabilir (Upham 2001; Balaras *et al.* 2003):

- ✓ Kojenerasyon sistemlerinin kullanılması,
- ✓ Kullanıcılara/kiracılara enerji verimliliği önerisi,
- ✓ Enerji verimli bina tasarımı,
- ✓ Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması,
- ✓ Aydınlatma için enerji verimli cihazların kullanılması,
- ✓ Doğal aydınlatmanın kullanılması,
- ✓ Elektriksel aydınlatmanın günışığı kontrolü ve dim edilebilirliği,
- ✓ Verimli HVAC ekipmanı kullanılması,
- ✓ Kontrollü elektrik motorlarının kullanılması,
- ✓ Enerji verimli büro cihazlarının (kişisel bilgisayarlar, yazıcılar vb.) kullanılması.

Griffith *et al.* (2003) Teterboro havalimanının hava kurtarma ve yangınla mücadele yönetim binasının enerji dizayn analizi ve değerlendirilmesini EnergyPlus yazılımı kullanarak yapmışlardır. Çalışma National Renewable Energy Laboratory (NREL) tarafından desteklenmiştir. Enerji etkinliği için Teterboro Hava limanında yeni bir binanın DOE-2.1 yazılımı ile ön tasarımı yapılmış ve modellenmiştir. Hazırladıkları geniş kapsamlı raporun amacı,

- ✓ Teterboro Havalimanı binasına eşdeğer binaya oranla enerji maliyetini %50 ya da daha fazla azaltma hedefine ulaşmaya yardımcı olmak amacıyla özel analiz ve öneriler sunmak,
- ✓ Oldukça verimli ticari binalar dizayn etmek amacıyla kullanışlı olacak analiz yöntemleri ortaya koymak,
- ✓ Böyle analizleri yapmak için EnergyPlus yazılımı kullanan örnekler sunmak.

olarak açıklanmıştır. Dizayn analizi ofis binasının iklimlendirme, aydınlatma ve havalandırma enerji maliyetlerinin referans binaya göre %50,5 oranında azaltılabileceğini göstermiştir. Garaj, dükkân ve bakım alanları için ısıtma, aydınlatma

ve havalandırma enerji giderleri referans binaya göre %48,3 azaltılabilir. Birim alan bazında toplam enerji kullanımı 245 kWh/m<sup>2</sup>.yıl'dan 79 kWh/ m<sup>2</sup>.yıl'a düşürülebilir. Enerji maliyeti yoğunluğu 25 \$/m<sup>2</sup>.yıl'dan 12,7 \$/ m<sup>2</sup>.yıl'a düşürülebilir. Teknik rapor, enerji modellerinin sonuçları verilerek bu tasarrufların nasıl sağlanabileceğini göstermektedir. Ayrıca Teterboro Havalimanı binası için aşağıda belirtilen özel tasarım önerilerinde bulunulmuştur:

- ✓ Doğal aydınlatma uygulanması ve aydınlatmanın azaltılması.
- ✓ Yüksek performanslı cam sistemlerinin uygulanması.
- ✓ Çatı ışıklıkları, ışık rafları, ışık tüpleri eklenmesi.
- ✓ Isıtma, havalandırma ve iklimlendirme (HVAC) ekipmanlarının küçültülmesi.
- ✓ Isı geri kazanımlı havalandırma ekipmanları eklenmesi.
- ✓ Talep kontrollü havalandırma uygulanması.
- ✓ Değişken hava debili (VAV) sistemlerin uygulanması.
- ✓ Yüksek verimli soğutma ekipmanlarının seçilmesi.

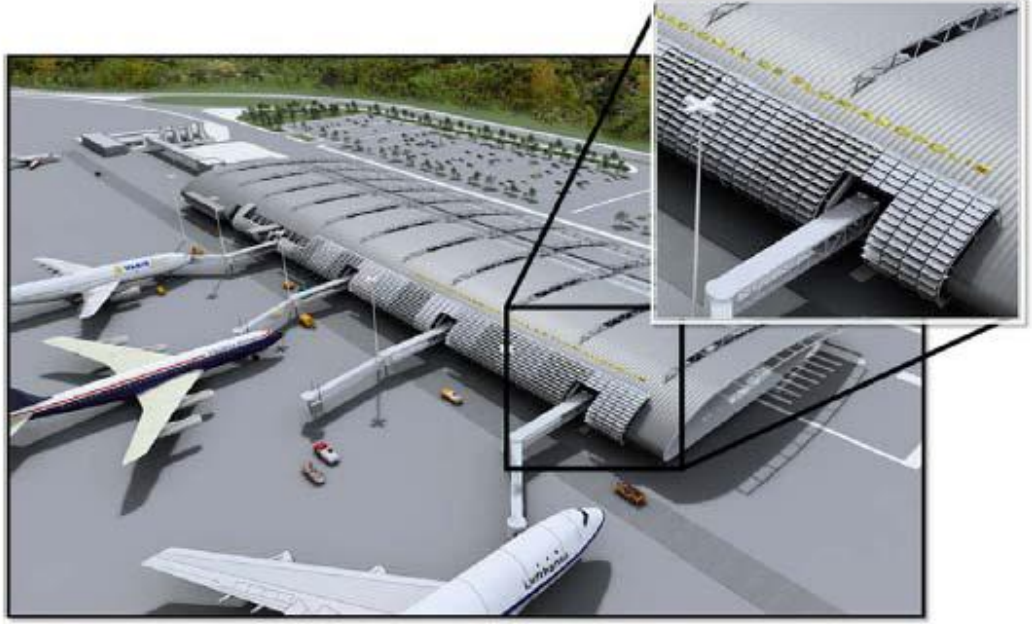
Balaras *et al.* (2003) Yunanistan'daki 29 havalimanının karakteristikleri, mevcut enerji tüketimleri ve enerji tasarruf potansiyellerini araştırmışlardır. Havalimanı terminallerindeki ortalama yıllık toplam enerji tüketimi 234 kWh/m<sup>2</sup>'dir. Ayrıca, farklı iklim bölgelerinde bulunan üç ana havalimanı için daha ayrıntılı araştırma yapılmıştır. Veriler; üç terminal binasının enerji etütlerinden, bina dış kabuğunun ve HVAC ekipmanlarının kızılötesi kameralar (IR) ile gözlemlenmesinden, iç ısı ve görsel koşulların uzun süreli gözlemlenmesi ve noktasal ölçümleri yoluyla iç hava kalitesinin değerlendirilmesinden, ayrıca personel ve yolcu anketlerinden elde edilmiştir. Toplanan veriler, ısı konfordan ödün vermeden enerji kullanımı azaltmak için özel önlemleri değerlendirmek ve iç hava kalitesini geliştirmek için olası eylemleri belirlemek amacıyla ısıl simülasyonlar kullanılarak ayrıntılı analiz yapmak için kullanılmıştır. İç hava kalitesini geliştirip sürdürürken bu üç havalimanı için %15-35 arasında enerji tasarruf potansiyeli bulunmuştur.

Havalimanlarının yolcu terminal binalarında suni aydınlatma ve HVAC sistemlerinin yaygın kullanımlarından kaynaklı yüksek enerji tüketimleri havacılık endüstrisinin yol açtığı en önemli çevre sorunlarından biridir. Babu (2008) bu soruna ilişkin Ahmedabad Uluslararası Havalimanını örnek alarak bir dizayn araştırması yapmıştır. Yeni havalimanının mevcut dizayn önerisini temel olarak kullanarak, yolcuların ısı konforunu ve enerji tasarrufunu elde etmek amacıyla yolcu terminal binasının iç hava kalitesini sağlayacak bina dış kabuğunun potansiyeli araştırılmıştır. Araştırma sonunda güneş ışığı, doğal havalandırma ve pasif hava akımlı evaporatif soğutma sistemi gibi pasif stratejiler ile terminal binasının içerisinde geçici çevresel koşulların kullanımı önerilmiştir. Mevcut dizayn öneri çerçevesinde yukarıda tavsiye edilen önerilerin kullanılması %66 seviyesinde önemli enerji tasarrufuna yol açmaktadır. Bu sonuca güneş ışığı, işletme sıcaklıkları ve soğutma yükleri için testler ve simülasyonlar yapılarak ulaşılmıştır.

Alaska'da bulunan Juneau Uluslararası Havalimanı Terminal Binasında toprak kaynaklı ısı pompasının kullanılma olanaklarını araştırmak amacıyla bir proje yapılmıştır (Fritz 2008). Projenin amacı terminal binasının ısıtılması ve soğutulması için gerekli enerji kaynağını geleneksel fosil yakıtlı buhar kazanından toprak kaynaklı ısı pompası sistemine dönüştürmektir. Sistem ayrıca ısıtma suyu ve kaldırımlardaki buz-eritme sisteminin gereksinimlerini karşılamaktadır. Kapalı çevrim kuyu sistemi kullanılmış ve her birisi 175 ft derinliğinde 215 adet kuyudaki borulardan antifrizli su sirküle etmektedir. Sofistike elektronik kontrolün kullanılması ısı pompasının terminalde bulunan mekânların spesifik ısıtma ve soğutma gereksinimlerini karşılamasına imkan vermektedir. Isı pompalarının bakımı için olan gereksinim işletme maliyetlerinde olan tasarrufu biraz azaltsa da analiz, net enerji maliyet tasarrufunun önemli olacağını göstermektedir.

Rüther and Braun (2009), Şekil 1.2'de görülen Brezilya'daki Florianopolis Uluslararası Havalimanı'nın enerji ihtiyacının Bina Entegreli Fotovoltaik (BEPV) sistem ile azaltılması üzerine bir çalışma yapmışlardır. Havalimanının tüm elektrik enerjisi

ihtiyacı uygulanan BEPV sistemden karşılanabilmektedir. Bu bina, sıfır enerjili bina tasarımına güzel bir örnektir.



**Şekil 1.2.** Brezilya'daki Florianopolis Uluslararası Havalimanı

Havalimanları geniş çatı yüzey alanları ve havalimanı kampüsü sınırları içinde geniş açık arazilere sahip olmaları nedeniyle yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımına uygundur. Başlıca kamu kuruluşları, enerji hizmet şirketleri, mevcut binalarda enerji alım anlaşmaları ve diğer programlar ile büyük ölçekli fotovoltaik sistem kurulumları uygulamaya başlamıştır. Ancak teknoloji hala birçok bölgede yenilenemeyen enerji ile rekabet edemediğinden büyük ölçekli PV sistemler düşük maliyetli enerji verimliliği iyileştirmeleri arayan havalimanlarında sınırlı uygulanabilir (ACRP 2010).

Havalimanı terminallerinde güneş PV sistemleri için ilk yatırım maliyetini geri ödeme süresi havalimanının bulunduğu yere ve hükümetler tarafından ne tür ve ne kadarlık bir teşvik sağlandığına bağlıdır. Terminal binaları, hangarlar, katlı otoparklar geniş çatı alanlarına sahip olmaları, çok az gölgelemeye maruz kalmaları nedeniyle havalimanı çatı üstleri panel verimlerini artırmak ve maliyetleri azaltmak için büyük ölçekli PV

kurulumuna genellikle ilk adaylardır. Şekil 1.3'de Kalifornia Fresno Yosemite Uluslararası Havalimanı PV panel dizilimi görülmektedir. Toplam 2,4 MW kurulu güce sahip PV paneller havalimanının elektrik enerjisi ihtiyacını %50'sinden fazlasını karşılamaktadır ve 20 yılda enerji maliyetlerinde 13 milyon dolar tasarruf sağlayacağı tahmin edilmektedir (ACRP 2010).



**Şekil 1.3.** Kalifornia Fresno Yosemite Uluslararası Havalimanı PV panel dizilimi (ACRP 2010)

Havalimanı binaları genellikle büyük ve yatay, ayırık ve gölgelemesiz olduklarından güneş pili sistemlerinin integrasyonu için çok iyi potansiyele sahiptirler. Rüter and Braun (2009) bu gerçekliği dikkate alarak bina entegreli güneş pili sistemlerinin kullanımıyla Brezilyada bulunan Florianopolis Uluslararası Havalimanındaki enerji talebi azalışındaki potansiyel etkiyi araştırmışlardır. Enerji talebi ile potansiyel üretim miktarıyla arasındaki eşleşmeyi hesaplamak için binanın saatlik enerji tüketimi ve güneş ışınım dataları analiz edilmiş ve yıllık enerji talebinin toplam miktarını ve bir kısmını karşılamak için gerekli PV gücü belirlenmiştir. Sıcak iklim bölgelerindeki havalimanı



binalarına PV sistem entegrasyonunun sıfır enerjili bina konseptine uygun olarak havalimanı kompleksinin tüm elektrik tüketimini karşılayabileceği sonucuna varılmıştır.

Zeren (2010) tarafından yapılan yüksek lisans tez çalışmasında İzmir’de bulunan Adnan Menderes Havalimanı (ADM) Dış Hatlar Terminali, EnergyPlus programı kullanılarak simüle edilmiştir. DesignBuilder kullanılarak modelleme yapılmış ve ölçülmüş verilerle karşılaştırılmıştır. EnergyPlus kullanılarak yapılan simülasyonda ADM binasında farklı ısıtma, soğutma ve havalandırma (HVAC) sistemi kullanılması veya binanın farklı yönde yerleştirilmesi gibi stratejiler değerlendirilmiştir. Simülasyon sonuçlarına göre; farklı bir HVAC sistem kullanıldığında, soğutma elektrik ihtiyacı her ay için 2.8 kat artmakta ve bina batı yönünde yerleştirildiğinde, ısı kazancı kış ve bahar aylarında %2 ila %11 azalırken, yaz aylarında %3 ila %14 artmaktadır. 2008 yılına ait ölçüm değerlerine göre ADM binasında toplam elektrik sarfiyatının yaklaşık 80%’i HVAC tarafından kullanılmaktadır, simülasyon sonuçları ile ölçüm değerleri arasında %70 den fazla bir fark gerçekleşmiştir. Analiz sonuçlarına göre binada yıl boyunca soğutma ihtiyacı olduğu ve ısıtma ihtiyacının ise çok az olduğu gözlemlenmiştir.

Parker *et al.* (2011) yaptıkları çalışmada bina simülasyonunun mevcut havalimanı terminallerinin karbon ayak izini azaltmak için yenileme opsiyonlarını değerlendirmede katkı yapabileceğini göstermişlerdir. İngiltere’de büyük bölgesel bir havalimanındaki terminal binasının bir modeli, farklı önlemlerin tesisin çevresel ve ekonomik performansı üzerindeki etkisini test etmek amacıyla kullanılmıştır. Kalibrasyon prosesi tanımlanmış ve modelin her bir versiyonu gelecekteki yolcu artışları ve hava senaryolarını kapsayacak şekilde simüle edilmiştir. Yapılan araştırmanın havalimanları terminallerinin karbon ayak izlerini azaltacak iyileştirme yöntemlerinin oluşturulmasına katkı sağlayacağı umulmaktadır.

Kılıkış (2014), yıllık 150 milyon yolcu kapasitesi olan, İstanbul şehri için yeni kurulmakta olan uluslararası İstanbul Havalimanı Terminal binasının enerji tüketimi ve emisyonlar üzerindeki etkilerini açığa çıkarmak amacıyla bir inceleme yapmıştır. Tipik terminal binasıyla farklı CO<sub>2</sub> emisyonu azaltma potansiyeline sahip dört yeşil terminal

binası senaryosu karşılaştırılmıştır. Termodinamiğin Birinci ve İkinci Yasası kullanılarak yapılan değerlendirmeler, site alanı yeniden seçilmedikçe ve çok yoğun bir yeniden ağaçlandırma uygulanmadığı sürece yeşil terminal binası kompleksinin inşasının CO<sub>2</sub> emisyonları yükünü dengelemeyebileceğini göstermektedir.

Mpholo *et al.* (2015) Lesoto Moshoeshoe Uluslararası Havalimanı'nda yeni inşa edilmiş 281 kWp gücünde şebeke bağlantılı güneş çiftliğinin performans analizini araştırmışlardır. Diğer güneş çiftlikleri ile karşılaştırma yapılmış ve performansın uygun olduğu belirlenmiştir. Verimi yüksek olan güneş çiftliklerinde ağırlıklı performans oranı 0.70-0.80 arasında iken incelenen çiftlikte bu oran 0.70 olarak bulunmuştur. Performansın çiftliğin gelişmiş işletme gözlemlenmesi ile geliştirilebileceği görülmüştür. Çiftlikte yapılan ölçümler 4.0-7.2 kWh/m<sup>2</sup>gün aralığında yüksek güneş enerji kaynağı değerlerini vermiştir.

Gardermoen Oslo Havalimanı'nın ısıtma ve soğutma gereksinimlerini karşılamak için Norveç'teki en büyük yeraltı su kaynağından yararlanan su kaynaklı bir ısı pompası kullanılmıştır (Eggen and Vangsnes 2005). Yaz mevsiminde yeraltı suyu soğuk kuyulardan alınıp pompalanarak soğutma için, kış mevsiminde ise ılık kuyulardan alınan yeraltı suyu ısı pompası için ısı kaynağı olarak kullanılmıştır. Isı pompası esas olarak soğutma amacıyla dizayn edilmiştir ve dizayn soğutma talebi 9 MW'dır. Bölgesel soğutma suyu önce yeraltı suyu ile ön soğutulmuş daha sonra birleşik ısı pompası/soğutma sistemi tarafından soğutulmuştur. Temel ısıtma yükü ısı pompası tarafından karşılanmıştır. İlave ısı biyoyakıtlı ısı enerji merkezi ile sıvı yakıtlı ve elektrikli kazanlardan sağlanmaktadır. Geçmiş son yıllarda ısı pompasının ısı üretimi 11 GWh/yıl iken 8 GWh/yıl değerinde soğutma da sağlamıştır. Yaklaşık 3 GWh/yıl değerinde soğutma yeraltı suyundan doğrudan ısı değişimi ile üretilmiştir. Fosil yakıtlı bölgesel ısıtma sistemi ve geleneksel soğutma sistemine kıyasla yeraltı suyu ısı pompası sisteminin geri ödeme süresi birkaç yıl olmuştur.

### 1.5. Tezin Amacı ve Kapsamı

Bu doktora tezinin amacı Erzurum Havalimanı Terminal Binası'nın enerji ve ekonomik performans analizini yapmak, ortaya çıkan veriler ışığında binayı net sıfır enerjili bina/neredeysen net sıfır enerjili bina formuna dönüştürmektir.

Bu amaç doğrultusunda,

- a) Binanın DesignBuilder v4.5'te modellenmesi yapılarak yapı ve sistem karakteristikleri programa girilmiştir.
- b) Binanın DesignBuilder ile entegre hale getirilmiş olan EnergyPlus v8.3 kullanılarak enerji simülasyonu yapılarak binanın enerji tüketimi, iç kazançlar, CO<sub>2</sub> üretimi hesaplanmıştır.
- c) Gerçek enerji tüketimleriyle simülasyon sonucu elde edilen enerji tüketimleri karşılaştırılmıştır.
- d) Binayı net sıfır enerjili bina/neredeysen net sıfır enerjili bina formuna dönüştürmek için yapılabilecek iyileştirmeler belirlenmiştir.
- e) İyileştirme çözümleri olarak ilk önce "Bina Enerji Talebinin Azaltılması" kapsamında yapılacak iyileştirmelerin enerji ve ekonomik değerlendirilmesi yapılmıştır.
- f) İyileştirme çözümlerinde daha sonra geri kalan enerji talebinin "Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Kullanılması" ile karşılanmasına ilişkin enerji ve ekonomik değerlendirilmesi yapılmıştır.

Doktora tezi 1. Giriş, 2. Kuramsal Temeller, 3. Materyal ve Yöntem, 4. Araştırma Bulguları, 5. Tartışma ve Sonuç, 6. Kaynaklar olmak üzere 6 bölümden oluşmaktadır. 1. Bölümde enerji verimliliği, enerji tasarrufu konularının önemi vurgulanarak tez konusuna ilişkin literatür taraması verilmiştir. 2. Bölümde Bina Enerji Analiz Yöntemleri, Bina Enerji Analizinde Kullanılan Simülasyon Yazılımları tanıtılmış, ayrıca bir binanın net sıfır enerjili bina/neredeysen net sıfır enerjili bina formuna dönüştürülmesinde kullanılan yöntemlerden bahsedilmiştir. Analizi yapılan Erzurum Havalimanı Terminal binasına ilişkin mimari ve mekanik özellikler, iklimsel

karakteristikler, HVAC ve aydınlatma ekipmanları 3. Bölümde tanıtılmıştır. 3. Bölümde ayrıca analizde kullanılan DesignBuilder ve EnergyPlus yazılımları tanıtılmış; enerji hesaplama yöntemleri, toprak kaynaklı ısı pompası tasarımı, fotovoltaik sistem tasarımı, güneş enerjili sıcak su ısıtma sistemi tasarımı bilgileri verilmiştir. Gerçek enerji tüketim verileri ile simülasyon sonucu elde edilen veriler 4. Araştırma Bulguları bölümünde sunulmuştur. Erzurum Havalimanı Terminal Binasının net sıfır enerjili bina/neredeyse net sıfır enerjili bina formuna dönüştürülmesi için kullanılan çeşitli iyileştirme yöntemleri ile bu yöntemlerin her birinin ayrı ayrı simülasyon sonuçları ve ekonomik analizleri 5. Tartışma ve Sonuç bölümünde verilmiştir. Tezde yararlanılan kaynaklar 6. Kaynaklar bölümünde sunulmuştur.

## **2. KURAMSAL TEMELLER**

### **2.1. Net Sıfır Enerjili Binalar**

Fosil yakıtların tükenmesi riskiyle karşı karşıya olduğumuz ve küresel ısınmanın gittikçe önem kazandığı günümüzde binaların enerji, ekonomi ve sürdürülebilirlik açılarından gösterdikleri performans büyük önem arz etmektedir. Avrupa ülkelerinde birincil enerji kaynaklarının %40'ı binalar tarafından tüketilmektedir. Avrupa Komisyonu tarafından 2008 yılında yürütülen bir araştırma, mevcut binalarda yaklaşık %30 oranında maliyet etkin enerji tasarrufu yapabilme potansiyelinin olduğunu ortaya koymuştur. Türkiye için bakıldığı zaman da benzer bir tablo ile karşılaşılmaktadır. Endüstrileşme, kentselleşme ve hızlı nüfus artışı gibi nedenlerle enerjiye olan talebin her geçen gün arttığı göz önüne alındığında, artan talebi karşılamada mevcut binalarda yapılacak enerji verimliliği çalışmaları büyük enerji tasarrufları vaat etmektedir. Yine, yeni yapılacak binaların enerji kriterleri göz önüne alınarak tasarlanması, az enerji tüketirken en üst düzeyde kullanıcı konforunu sağlayacak sağlıklı yaşam alanları sunacaktır. Binaların tüm yaşam dönemi düşünüldüğünde enerji tüketimi en büyük maliyete sahip kalemlerden biridir ve enerji kullanımında yapılacak iyileştirmeler binanın yaşam dönemi masraflarının da büyük ölçüde azalmasını sağlayarak ülke ekonomisine önemli katkılarda bulunacaktır.

Bina Enerji Analizinde (BEA) amaç optimum tasarımı seçmek üzere değişik sistem tasarımlarının enerji kullanımı ve işletme maliyetini birbiriyle karşılaştırmaktır. Isı hesaplarının doğru yapılması, bina özelliklerine ve kullanım amacına en uygun sistemlerin tasarlanması enerjinin verimli kullanılmasında öncelikli önem oluşturmaktadır (Isın vd 2011).

Binaların enerji açısından gösterdikleri performans, binanın mimarisi, inşaatı, bina kabuğunun ısı özellikleri, ısıtma soğutma ve havalandırma sistemlerinin özellikleri, iç ve dış iklim şartları ve kullanıcı davranışları gibi pek çok unsura bağlıdır. Binanın gerçek performansının belirlenebilmesi için bu unsurlar göz önünde bulundurularak hesaplamalar yapılması gerekmektedir. Günümüzde hesaplamaların yapılmasında bilgisayar tabanlı bina enerji simülasyon programlarından yararlanılmaktadır. Gittikçe popülerlik kazanan bu programlar, binaların ısıl davranışları hakkında detaylı bilgi verebilmekte ve optimum çözümler elde edebilmek adına tasarıma müdahale edebilmeyi sağlamaktadır (Andarini 2014; Bayraktar vd 2009).

## **2.2. Bina Enerji Analiz Yöntemleri**

Bina enerji analizini yapmak için birçok BEA yöntemi geliştirilmiştir. Bu yöntemler modelleme yaklaşımı, yöntemin kompleks olma derecesi ve sürekli olup olmamasına göre sınıflandırılabilir. Çizelge 2.1 BEA yöntemlerinin sınıflandırılmasını ve karakteristiklerini özetlemektedir (Erdoğan ve Yılmaz 2012).

## **2.3. Bina Enerji Analizinde Kullanılan Simülasyon Yazılımları**

Bina enerji analiz hesaplamaları yapılarak binanın yükleri belirlenmekte, HVAC sistem tasarımı yapılmakta ve tasarımı yapılan cihazların enerji tüketim değerleri belirlenerek, binanın enerji giderleri saatlik, günlük, aylık veya yıllık olarak hesaplanmaktadır (Paradis 2010, Aktacir vd 2011). Farklı mahallerde farklı konfor şartlarının istenildiği çok zonlu binalarda gerçeğe yakın enerji tahminleri yapılarak enerji performanslarının daha iyi bir noktaya taşınabilmesini sağlamak üzere, ayrıntılı simülasyon programları desteğine gereksinim duyulmaktadır (Harputlugil 2014). Bina enerji analizi, enerjinin kullanımı ve işletme masrafları yönünden en ekonomik olana erişmemizi sağlamaktadır.

Çizelge 2.1. Bina enerji analiz yöntemleri (ASHRAE 2009; Erdoğan ve Yılmaz 2012).

Sınıflandırma Ölçütü	Sınıflandırma	Karakteristikleri	Yöntemler
Modelleme Yaklaşımı	Klasik Yöntemler	Bilinen bir yapı ve bilinen parametrelere sahip özel bir modelin çıkış değişkenleri hesaplanır.	
	Data Temelli Yöntemler	Giriş ve çıkış değişkenleri bilinir ve ölçülür. Sistemin matematiksel tanımlanması belirlenir ve sistem parametreleri hesaplanır.	
Yöntemin Kompleksliği	Tek Ölçümlü Yöntemler	Manüel yöntemlerdir ve yıllık ya da mevsimsel enerji kullanımı gibi tek bir enerji kullanım değeri hesaplanır.	-Derece-Gün Yöntemi -Düzeltilmiş Derece-Gün Yön. -Değişen Taban Sıcaklığına Göre Derece-Gün Yön. -Eşdeğer Tam Yük Saati Yön.
	Basitleştirilmiş Çok Ölçümlü Yöntemler	Enerji kullanımı hesaplamalarını birkaç farklı koşul dikkate alarak yaparlar.	-Bin Yöntemi -Düzeltilmiş Bin Yöntemi -Grafik Yöntemler
	Ayrıntılı Çok Ölçümlü Yöntemler	Genellikle bir yıllık süre boyunca bir analiz periyodu süresince her saat başında enerji dengesi hesaplamasını içerirler.	-Azaltılmış Saat Başı Yöntemi -8760 Saat Başı Yöntemi
Yöntemin Sürekli Olup Olmaması	Sürekli Hal Yöntemleri	Kısa dönem sıcaklık değişimlerine neden olan ısı kütlesi etkilerini dikkate almazlar.	-Basit Lineer Regresyon Yön. -Çok Değişkenli Lineer Regresyon Yöntemi -Bin Yöntemi -Data-Temelli Bin Yöntemi -Değişken Noktalı Modeller -Düzeltilmiş Bin Yöntemi
	Dinamik Yöntemler	Bina ısınma veya soğuma periyotları ve maksimum yükler gibi etkileri dikkate alır ve bina yük kontrolü, arıza belirleme ve teşhisi ve ekipman kontrolü için uygundur.	-Isıl Ağ Yöntemi -Yanıt Faktörleri Yöntemi -Fourier Seri Analizi Yöntemi -ARMA Modeli -PSTAR Modeli -Modal Analiz Yöntemi -Diferansiyel Denklem Yön. -Bilgisayar Simülasyonu -Bilgisayar Emülasyonu -Yapay Sinir Ağları

Bina enerji performansı analizi gerçekleştiren bir çok simülasyon programı mevcuttur. Bu programlar hesaplama yöntemleri, kullanıcı ara yüzleri bağlamında çeşitlilik göstermektedir. Bir binanın enerji performans analizini gerçekleştirmede kullanılacak olan simülasyon programının belirlenmesi, (a) söz konusu projenin gereklerine, (b)

yapılacak analizin maliyeti ve süresine, (c) program kullanıcılarının deneyimine ve (d) uygun simülasyon aracı verilerinin imkanlarına bağlıdır. Türkiye şartları için “BEP-TR” adında ulusal bir yazılım geliştirilmiştir. Bu yazılımın, binalarda enerji kimlik belgesinin düzenlenmesini öngören ilgili yönetmelikte, kimlik belgesi vermekle yetkilendirilmiş uzmanlar tarafından kullanılması zorunlu tutulmaktadır. BEP-TR ulusal yazılımı binaların ısıtma ve soğutma yükü için harcanacak enerjinin hesaplanmasında TS EN ISO 13790 standardını esas almaktadır (Harputlugil 2014). Günümüzde tüm bina performansını hesaplamada kullanılan bilimsel olarak kabul görmüş çok çeşitli simülasyon araçları mevcuttur (Çizelge 2.2). Bu programlardan en yaygın kullanılan TRNSYS, ECOTECT, Energy-10, eQUEST, ESP-r, BEP-TR, EnergyPlus programları aşağıda kısaca tanıtılmıştır.

### **2.3.1. TRNSYS**

TRNSYS, Colorado ve Wisconsin Üniversiteleri tarafından ortak olarak geliştirilen ve termal sistemlerin dinamik performansını hesaplayabilen bir programdır. TRNSYS programı 1975 yılında ticari olarak kullanılmaya başlanmıştır. Bina, bina çevresi ve aktif sistemler arasındaki enerji etkileşimini hesaplamak amacıyla kullanılır. Programın modüler bir yapısı bulunmaktadır ve her sistemin bileşeni bir FORTRAN altprogramı olarak ifade edilmiştir. Bu özelliği sayesinde esnek bir yapıya sahip programların başında gelen TRNSYS, farklı enerji sistemlerini farklı ayrıntılarıyla modelleme imkanı verir. Oldukça zengin bina malzemeleri, bina modelleri, standart HVAC ekipmanları, yeni/yenilenebilir enerji teknolojileri ve gelişmekte olan teknolojilere dair kütüphaneye sahiptir. Binalar basit tek zonlu modellerden karmaşık çok zonlu modellere kadar geniş bir aralıkta tanımlanabilir (Bayraktar vd 2009).



Çizelge 2.2. Bina simülasyon yazılımları

Sıra	Simülasyon Yazılımı	Sıra	Simülasyon Yazılımı
1	TRNSYS	28	TAS
2	ECOTECH	29	FineGREEN
3	Energy-10	30	Autodesk Green Building Studio
4	DOE-2 (eQUEST)	31	Adtek AccuDuct
5	ESP-r	32	BSim
6	BEP-TR	33	Adtek AccuComm
7	EnergyPlus	34	AnTherm
8	QwickLoad	35	iAudit Pro
9	IDA ICE	36	IES Virtual Environment
10	Hancock	37	Pleiades+COMFIE
11	Sefaira Architecture	38	OpenStudio
12	CYPETHERM Suite	39	Commercial Building Energy Saver
13	Autodesk Insight 360	40	BSIMAC
14	TREAT	41	CONTAM
15	TRACE 700	42	N++
16	COMFIE	43	Honeybee
17	EnExPlan	44	EDAPT
18	EP-Quick	45	BEAVER
19	Modelica Buildings library	46	DEXCell Energy Manager
20	CAN-QUEST	47	HAP
21	gEnergy	48	HOT2000
22	Sefaira Systems	49	Energy Model Quality Check Tool
23	HEED	50	NEAT
24	Physibel	51	SimScale
25	ECOCITIES	52	LoopDA
26	MHEA	53	Adtek Energy Analyzer
27	UrbaSun		

TRNSYS detaylı ve çok zonlu bina modellemesi gerçekleştirmesinin yanında program kütüphanesinde güneş enerjisinden sıhhi sıcak su elde etme, güneş pili sistemleri, iklimlendirme sistemleri, yenilenebilir enerji sistemleri, kojenerasyon, yakıt hücreleri vb. bileşenler de bulunmaktadır. COMIS, CONTAM, EES, Excel, FLUENT, GenOpt ve MATLAB gibi simülasyon programlarıyla bir arada çalışabilir. (Tokuç 2009).

### **2.3.2. ECOTECT**

ECOTECT, mimarlar tarafından mimarların kullanımı için geliştirilmiş olan bir simülasyon programıdır. Bina tasarım süreci göz önüne alınarak geliştirilen bu yazılımı mühendisler, yerel yetkililer, çevresel danışmanlar, tasarımcılar ve müteahhitler de kullanmaktadır. İnteraktif bina tasarım ara yüzü ve üç boyutlu modelleyicisi ile bir bina tasarımının nasıl çalışacağını ve performans göstereceğini tamamen anlamak ve değerlendirmek için gerekli çeşitli çevresel tasarım detaylı değerlendirme araçlarını içerir. Bu araçlar sayesinde; ısı, güneş, gölge ve gölgeleme tasarımı, aydınlatma, bina ve enerji yönetmeliğine uygunluk, hava akışı, akustik, fiyat ve kaynak performansı gibi konularda ayrıntılı değerlendirmeler yapılabilmektedir. Buna karşın parametrik analiz veya farklı enerji etkinlik stratejileri için karşılaştırma yapılamamaktadır. Yazılımda analizler CIBSE Admittans Yöntemi'ne göre yapılmaktadır. Programda, her boyut ve geometride binanın analizi yapılabilir. Daha hassas ve kesin sonuçlar için, gerektiğinde program EnergyPlus, ESP-r ve Radiance gibi benzetim programlarıyla beraber çalışabilir (CIBSE 1999; Tokuç 2009).

### **2.3.3. Energy-10**

Energy-10, enerji etkin bina tasarımı gerçekleştirmek hedefindeki mimarlar ve mühendisler için çabuk sonuç alınabilecek bir analiz aracı olarak geliştirilmiştir. Çoğunlukla taban alanı 10,000 ft<sup>2</sup>'den küçük ofis binaları ve konut binalarını karakterize eden tek ya da iki ısı zon üzerinden analiz gerçekleştirmektedir. Binanın tamamında yapılan analizlerde enerji korunumu ve maliyet etkinliği incelenirken, günışığı denetimi, yüksek performanslı pencere tasarımı, pasif güneş tasarımı ilkeleri,

ve aydınlatma sistemleri gibi enerji etkinliği stratejileri hedefine ulaşmayı amaçlamaktadır.

Energy-10 programının diğer programlara göre en önemli farklılığı analizi gerçekleştirilen binaya ait sonuçları, “düşük enerjili model” oluşturarak elde ettiği sonuçlarla karşılaştırma olanağı sağlamasıdır. Böylece, tasarımın başarısı, aynı bina tipinin en etkin sonucu veren değerlerle oluşturulmuş model ile karşılaştırılarak gösterilmektedir. Bu, aynı zamanda tasarımcıya, hangi tasarım parametresinde alacağı önlemlerin başarıya erişimi kolaylaştıracağına yönelik ipuçları da vermektedir (Harputlugil 2014).

#### **2.3.4. DOE-2 (eQUEST)**

Amerika Birleşik Devletleri Enerji Dairesi tarafından 1979 yılından beri geliştirilmekte olan DOE-2, yapı tasarımı araştırma ve analizi, iyileştirme olanakları değerlendirmesi, yapı enerji normları belirlenmesi konularında kullanılabilen bir yazılımdır. Ayrıca, karmaşık yapı tasarımlarında detaylı, saatlik, çok bölgeli tüm bina enerji analizi yapmak, var olan veya yeni teknolojilerin enerji etkinliğini hesaplamak için de kullanılabilir. Diğer kullanım alanları arasında kaynak talep yönetimi, geri dönüşüm hesapları, enerji etkin bina tasarımcısı (mimar ve mühendis) eğitimi de bulunmaktadır (Tokuç 2009). DOE-2 dünyada kırktan fazla ülkede geniş kullanım olanağına sahiptir.

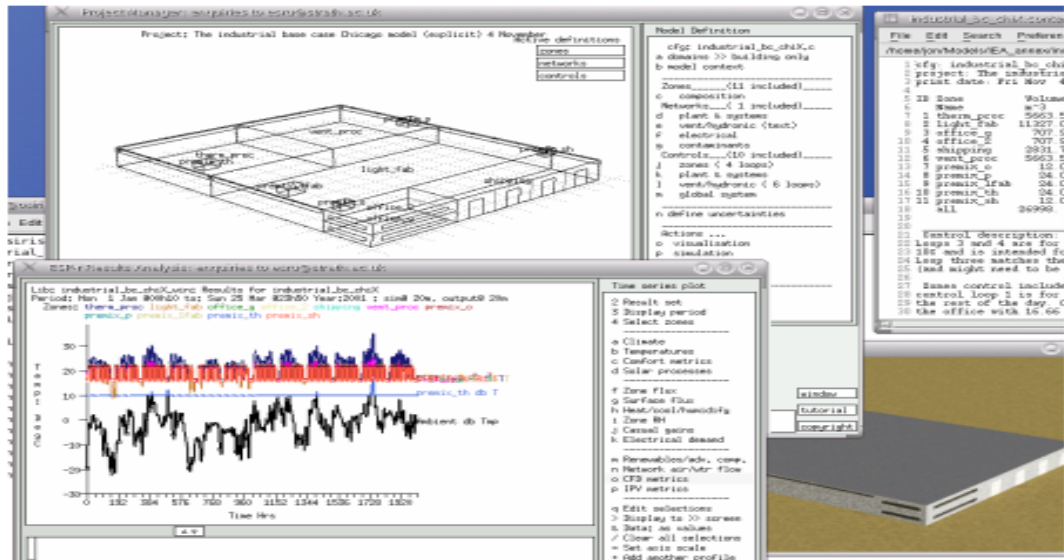
DOE-2, binanın iklimi, mimarisi, işletim zaman cetveli ve HVAC ekipmanının tanımlanmasıyla, binanın enerji tüketimini ve enerji maliyetini saatlik bazda simüle etmektedir. Bugün DOE-2'yi simülasyon motoru olarak kullanan çeşitli bina enerji analiz programları (Visual-DOE, Power-DOE, eQUEST, vb.) Windows'a dayalı grafik kullanıcı arabirimi (GUI) ve çeşitli algoritmik ve veritabanı iyileştirmeleri içeren yeni versiyonlarıdır. Bunlardan biri olan eQUEST, veri hazırlanması ve veri girişi ile çıktıların izlenebilmesi için gerekli sürenin azaltılmış olması ve kullanımdaki kolaylık nedeniyle bina tasarımında yer alan tasarımcı ve mühendislerce, DOE-2'ye oranla çok daha yaygın kullanıma sahip olmuştur. Amerikan Enerji Bakanlığının (DOE)

desteklemiş olduğu DOE-2, halen kullanılmakta olan bir yazılımdır. Azar and Menassa (2012) bu yazılım ve onun arayüzü olarak kullanılan eQUEST'i kullanarak değişik boyut ve iklim şartlarındaki ofis binaları ile ilgili benzetimler yapmışlardır (Erol 2013).

Yeni olarak eQUEST, bazı kullanıcı sihirbazları ile uzmanlık gerekliliğini büyük ölçüde ortadan kaldırırken, özellikle bina tanımında ciddi sınırlılıklar getirmekte ve deneyimsiz kullanıcıyı programın kabullerine zorlamaktadır (Harputlugil 2014).

### 2.3.5. ESP-r

1974 yılından bu yana geliştirilen, açık kaynak kodlu, ücretsiz bir bina enerji ve performans benzetimi yazılımıdır. İskoçya'da bulunan University of Strathclyde başta olmak üzere altı kurum tarafından desteklenmektedir (ESP-r 2014). Bütünleşik bir enerji modelleme aracı sunan yazılım ile enerji kullanımı, gaz emisyonları, güneş ışığı kullanımı, doğal havalandırma, kirlilik dağılımı, FV cephe vb. benzetimleri yapılabilir Şekil 2.1. ESP-r yazılımının ara yüzünü göstermektedir (Orhon ve Altın 2015).



Şekil 2.1. ESP-r yazılımının ara yüzü (Orhon ve Altın 2015)

### 2.3.6. BEP-TR

Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın hazırlamış olduğu BEP-TR web tabanlı bir programdır. Bu program, 1000 m<sup>2</sup>'den büyük yapılar için Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliğini içermektedir. Binanın, m<sup>2</sup> başına düşen yıllık enerji tüketimi, CO<sub>2</sub> salınımı, elde edilen değerlerin referans bir binanınki ile kıyaslanması ve A-G arası bir enerji sınıfına yerleştirilmesi işlemlerini yapmaktadır. Bu program ayrıca, *Binaların Enerji Performansı Hesaplama Yöntemini* kullanarak (BEP-HY), enerji tüketimine etki eden tüm parametrelerin, binaların enerji verimliliğine etkisini ve enerji performans sınıfını belirlemek için kullanılmaktadır (Durmuş ve Önal 2014).

BEP-TR saatlik iklim verisi ve zaman çizelgelerini kullanan, ısıtma-soğutma mevsimlerinin ayrıca belirlenmesine gerek olmayan, RC (direnç-kapasite) modeli ile binanın saatlik ısı davranışını gerçeğe yakın şekilde yansıtabilen, konfor koşullarının operatif sıcaklığa bağlı olarak tanımlanmasını olanaklı kılan, bina enerji yüklerine etki eden güneş kazançlarını, güneşin yıl, gün ve saat içindeki pozisyonunu dikkate alarak, güneş kontrol elemanlarının etkisini de hesaba katabilen, uzun dalga ışınlama atmosfere kaçan ısıyı dikkate alabilen yarı dinamik bir metottur (BEP-TR 2009; Atmaca 2010).

BEP Yönetmeliği esaslarına dayalı olarak, yönetmelik gereğince, BEP-TR ulusal yazılımının kullanılması zorunlu olsa da, büyük, karmaşık yapıda, çok zonlu binaların gerçeğe yakın enerji tahminleri ile performanslarının daha iyi bir noktaya taşınabilmesini sağlamak üzere detaylı simülasyon programları desteğine de ihtiyaç duyulmaktadır (Harputlugil 2014).

BEP yönetmeliğinin beklentileri doğrultusundaki simülasyon entegrasyonu gereklerine, yukarıda sözü edilen simülasyon programlarından hangilerinin karşılık verebildiği Çizelge 2.3'de sunulmaktadır.

**Çizelge 2.3.** BEP yönetmeliği'ndeki beklentiye göre simülasyon programları karşılaştırma tablosu (Harputlugil 2014)

Simülasyon Entegrasyonu	ECOTECT	Energy-10	eQUEST*	EnergyPlus*	ESP-r*	TRNSYS*
Mimari çözüm alternatiflerinin modellenmesi ile güneş gölge analizleri	+	+	+	+	+	+
Yüzeylerin güneşlenme sürelerine dayalı analiz	+	+	-	+	+	+
Gün ışığı faktörü ve aydınlık düzeylerine ilişkin modelleme	+	-	-	+	+	+
Hava akış simülasyonu (CFD) ile doğal havalandırma analizi	-	-	-	+	+	+
Yapı kabuğunun modellenmesi	-	-	-	+	+	-
Alternatif malzemelerin performans analizi	+	+	+	+	+	+
Yenilenebilir enerji kaynaklarına imkân veren bileşen entegrasyonlarının araştırılması	-	-	-	+	+	+
Isıtma ve soğutma sistem tasarımını olanaklı kılan performans simülasyonu analizi	-	-	+	+	+	+
HVAC sistem tasarımını olanaklı kılan simülasyon uygulamaları	-	-	+	+	+	+
İç ortam hava kalitesinin analizi, CFD analizi	-	-	-	+	+	+

\* Bu simülasyon programları IEA SHC Tasks 8, 12 ve 22 içinde geliştirilmiş ve ASHRAE'nin ANSI/ASHRAE Standard 140-2001 Bina Enerji Analizi Bilgisayar Programları Standart Test Yöntemi (Standard Method of Test for the Evaluation of Building Energy Analysis Computer Programs) adı ile standartlaştırılarak geçerli bir test yöntemi olarak kabul görmüş olan BESTEST yöntemi içinde karşılaştırma tabanı olarak kullanılan ve güvenilirliği standartça kabul edilmiş olan programlardır.

### 2.3.7. EnergyPlus ve DesignBuilder

#### 2.3.7.a. EnergyPlus

EnergyPlus ABD Enerji Bakanlığı tarafından desteklenerek geliştirilen ve günümüzde de oldukça yaygın kullanılan bir araçtır. İlk çıkışından beri çeşitli versiyonları yeni özellikler ile piyasaya sürülmüş ve simülasyon sonuçları doğruluğunu arttırmıştır. EnergyPlus'ın ilk çalışma sürümü olan alpha versiyonu dâhili test için 1998 Aralık ayında tamamlanmış, bunu 1999 yılı boyunca EnergyPlus'ın mevcut dışındaki

kullanıcılar ve geliştiriciler için çeşitli beta sürümleri takip etmiştir (Strand *et al.* 2001; Zeren 2010).

Esas olarak sadece bir simülasyon aracı olup girdi ve çıktıları basit metin dosyaları olan EnergyPlus gerçek anlamda geliştirilmiş bir kullanıcı ara yüzüne sahip değildir ancak ticari şirketlerce geliştirilen ara yüzleri bulunmaktadır. Oldukça yüksek bir hesaplama kapasitesine sahip olan yazılım, bir saatten kısa zaman adımlarıyla hassas hesaplamalar yapabilir. Isı dengesi temelli bir simülasyon programı olan EnergyPlus kullanılarak, binanın enerji profillerinin yanında son eklenen özelliklerle birlikte çok zonlu durumlar için hava akışı, yakıt pilleri ve elektrik enerjisi simülasyonu, dağıtılmış enerji sistemleri, su kullanımı gibi durumlar da modellenenbilmektedir (Bayraktar vd 2009).

DOE-2 ve BLAST programları temel alınarak geliştirilmiş olan EnergyPlus, proje aşamasında ya da mevcut binaların ısıtma, soğutma ve havalandırma yüklerinden kaynaklanan enerji tüketimlerini dinamik olarak hesaplayan yüksek hesaplama kapasiteli bir bina enerji simülasyon programıdır. EnergyPlus sayesinde tasarım aşamasında olan yeni binaların veya iyileştirme yapılması düşünülen mevcut binaların enerji performansı, inşaattan önce görüntülenebilmekte ve böylece mimar veya mühendis olası senaryoların hepsini test ederek proje için en uygun olanını seçebilmektedir. EnergyPlus aynı zamanda, enerji ve çevre tasarımı olarak adlandırılan LEED (The Leadership in Energy and Environmental Design) sertifikasyonu için gerekli bina enerji modellemesine çıktı veren, USGBC (U.S. Green Building Council) tarafından tanınan programlar içinde en yaygın kullanılan programdır (Aktacir vd 2011).

Şekil 2.2'de EnergyPlus yazılımının program yapısı gösterilmiştir. EnergyPlus simülasyon yöneticisi, ısı ve kütle denge simülasyon modülü ile bina sistem simülasyon modülü olmak üzere üç temel yapıdan oluşur; (Crawley *et al.* 2001). Şekil 2.3'de görüldüğü gibi simülasyon yöneticisi tüm simülasyon proseslerini kontrol etmektedir.

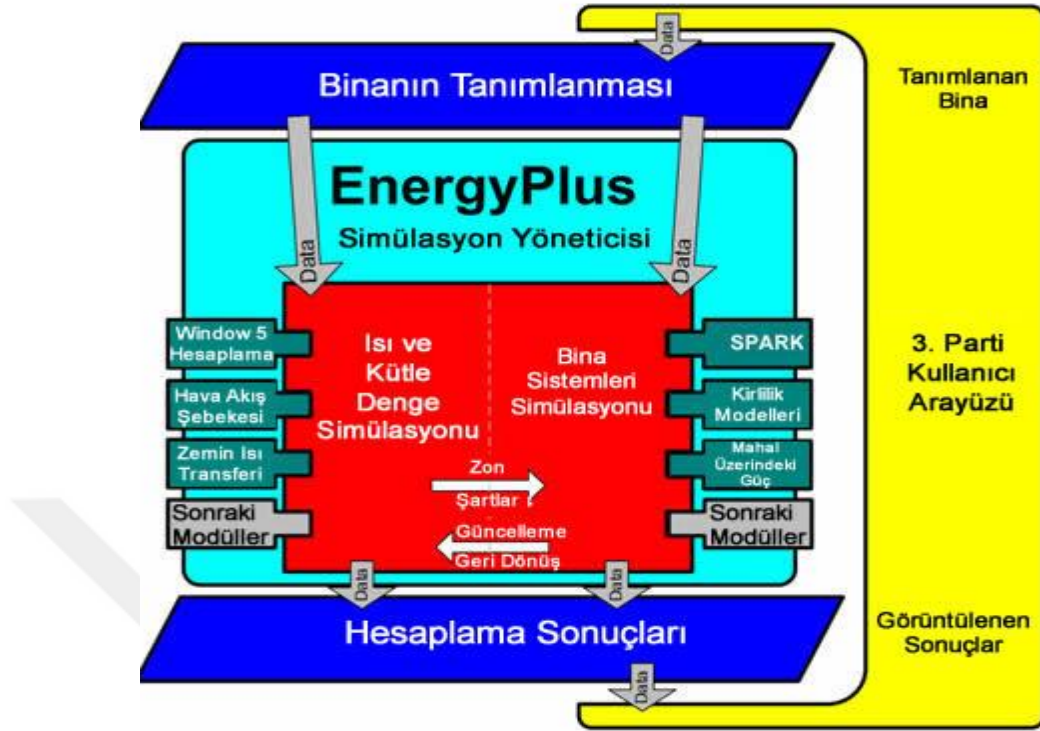
EnergyPlus programına veri girişleri (bina yapı, HVAC ekipmanları, hava verileri) IDF Editor yardımıyla girilmektedir. IDF-Editor'e tüm veriler tek tek girilmekte olup işlemler çok uzun sürdüğünden EnergyPlus için üçüncü parti bir ara yüz programına ihtiyaç duyulmaktadır. DesignBuilder, EP-Quick, EP-Interface programlamacılar tarafından EnergyPlus için geliştirilen ara yüz programları arasında bulunmaktadır. DesignBuilder programı EnergyPlus'ın en etkili ara yüz programıdır. DesignBuilder kullanılarak EnergyPlus için gereken IDF dosyaları oluşturulmakta, bina modeli hazırlanabilmekte ve enerji analizi için model üzerinde gerekli düzeltmeler yapılabilmektedir (Aktacir vd 2011).

### **2.3.7.b. DesignBuilder**

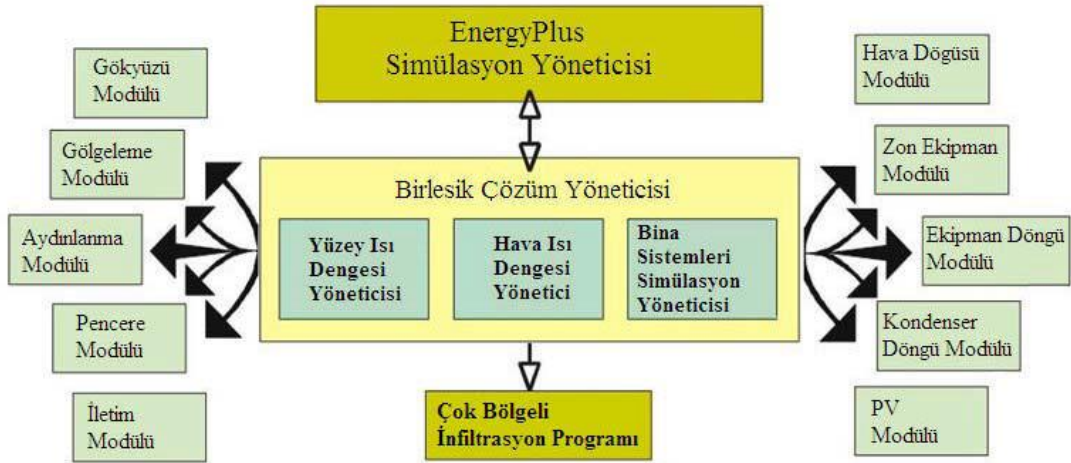
DesignBuilder yapı tasarımlarını enerji, karbon, aydınlatma ve konfor açılarından performans ölçmek ve kontrol etmek için geliştirilmiş EnergyPlus tabanlı bir yazılım aracıdır. Bina simülasyon sürecini kolaylaştırmak için geliştirilen DesignBuilder, bina tasarım alternatifleri arasında fonksiyon ve performans bazlı karşılaştırma yöntemiyle analizler yaparak çeşitli sonuçlar çıkarmayı hızlı ve ekonomik hale dönüştürmüştür.

DesignBuilder hızlı üç boyutlu bina modellemesi ile dinamik enerji simülasyonunu kendine has kullanım kolaylığı ile birleştirmektedir. Tasarım sürecinin herhangi bir aşamasında etkin bir şekilde kullanılabilmesi için özel olarak geliştirilmiş modüllere sahiptir. Sadece birkaç parametresi belli olan tasarımlardan çok daha detaylı tasarımlara kadar geniş bir yelpazede çalışma olanağı sağlamaktadır.





Şekil 2.2. EnergyPlus yazılımının program yapısı (Aktacir vd 2011)



Şekil 2.3. EnergyPlus yazılımının simülasyon yöneticisi yapısı (Aktacir vd 2011)

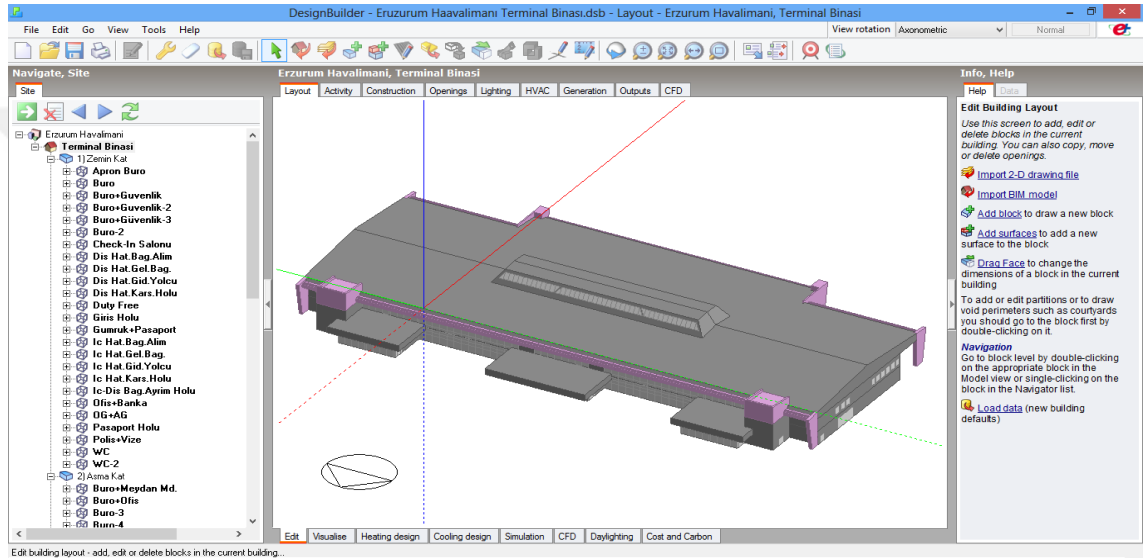
DesignBuilder, dinamik termal simülasyon motoru olan EnergyPlus için en kullanışlı kullanıcı ara yüzlerinden biridir. EnergyPlus, gerçek meteorolojik verileri (ölçülen veriler veya meteoroloji bürolarından temin edilen) kullanarak simülasyon ile detaylı bina enerji performansını gerçekleştirmek için DesignBuilder'a entegre edilmiştir. EnergyPlus çözümü Predictor Corrector Method (Öngörme Düzeltme Yöntemi) olarak adlandırılan ısı dengesi tekniğine dayalıdır ve oda havasının homojen bir sıcaklık sağlayan iyi bir karışım oluşturduğunu varsayar. Predictor Corrector Method (Öngörme Düzeltme Yöntemi)'un arkasındaki temel strateji mahallin istenilen sıcaklık noktasında tutulabilmesi için mekanik sistem yükünü tahmin etmek daha sonra gerçek kapasitelerini belirlemek için mekanik sistemleri simüle etmek, daha sonra ise gerçek zon sıcaklığını belirlemek için zon hava ısı dengesini yeniden hesaplamaktır (Rahman *et al.* 2010).

DesignBuilder modelleri building site (bina sitesi), block (blok), zone (zon), ve surface data (yüzey verisi) şeklinde yapılandırılmıştır. Bu yapı bir bina modelinde verileri global olarak düzenler. Building block (bina bloğu) sekmesinde gerçek bina modeline benzer 3D model oluşturma için kullanılan temel geometrik şekiller vardır (Rahman *et al.* 2010). DesignBuilder'ın bu tezde enerji analizi yapılan Erzurum Havalimanı Terminal Binası mevcut hali için kullanıcı arayüzü Şekil 2.4'de gösterilmektedir.

DesignBuilder'ın bazı kullanım amaçları şunlardır (Altensis 2016):

- 1) Cephe seçeneklerinin aşırı ısınma, enerji tüketimi ve gölgeleme parametreleri açısından değerlendirilmesi.
- 2) Güneş ışığının optimum seviyede kullanımının değerlendirilmesi. Aydınlatma kontrol sistemlerinin modellenmesi ve ilgili elektrik enerjisindeki tasarruf oranlarının belirlenmesi.
- 3) Bina içindeki ve etrafındaki sıcaklık, hız ve basınç dağılımlarının CFD (Computational Fluid Dynamics) modülü kullanılarak hesaplanması.

- 4) Vaziyet planının ve gölgelemenin görselleştirilmesi.
- 5) Doğal havalandırma ile havalandırılan binalarda termal simülasyon.
- 6) Isıtma ve soğutma ekipmanlarının kapasitelerinin belirlenmesi konularını da içerecek şekilde HVAC tasarımına yardımcı olmak.
- 7) Tasarım toplantılarında disiplinler arası iletişimi destekleyici materyal sağlamak.
- 8) Üniversitelerde enerji modellemesi ve simülasyonu derslerinde kullanılmak.



Şekil 2.4. DesignBuilder 3 boyutlu kullanıcı arayüzü

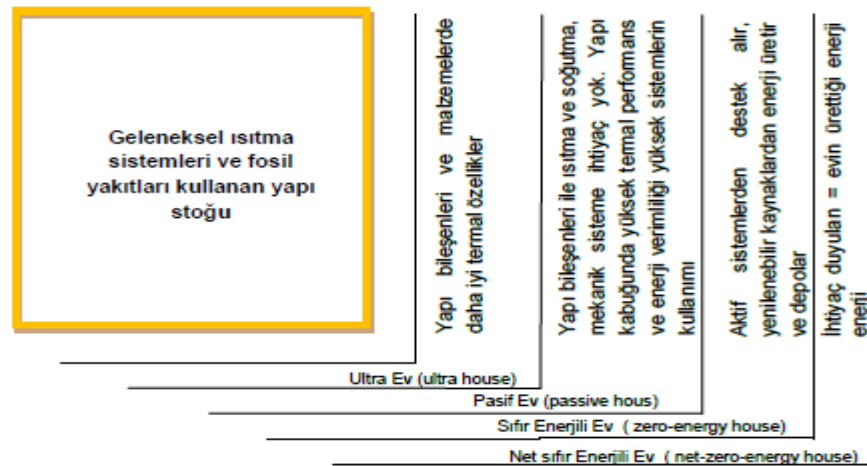
## 2.4. Enerji Performansına Göre Yapılar

### 2.4.1. Enerji performansına göre yapı tanımları

Standartlar ve sertifikasyon sistemlerinde yapıların verimliliğini hesaplamak için farklı sıralamalar ve puanlamalar kullanılmıştır. Farklı enerji performanslarına karşılık gelen yapı tanımlarının anlaşılabilmesi için standartlarda enerji türleri tanımlanmıştır. Wirth (2002) ülkelerin ulusal standartlarında binaların enerji tüketimine göre yapıların sınıflandırmasını aşağıdaki gibi özetlemiştir (Thullner 2010; Akyol 2012):

- a) **Düşük Enerjili Ev (Low-Energy House):** Düşük enerjili ev, genellikle her ülke için farklı tanımlanmış ulusal standartlardaki sınır değerler çerçevesinde, yaygın yapı stokuna göre daha düşük ısıtma ihtiyacına sahip yapılardır. Düşük enerjili evler, bina kabuğunda yüksek verimle yalıtım yapılması, ısı kazanımlı havalandırma sisteminin kullanılması ve iklimin uygun olduğu bölgelerde pasif güneş kazanımlar için güneyde cam cephelerin ve pencerelerin kullanılması vb. yöntemler kullanılarak elde edilmektedir.
- b) **Ultra Ev (Ultra House):** Ultra ev, düşük enerjili evlerle aynı özellikleri taşımaktadır. Ancak bunlara ek olarak; yapı malzemeleri ve bileşenlerinde daha iyi termal özellikler (düşük U değeri gibi) sağlamak üzerine yoğunlaşmıştır.
- c) **Pasif Ev (Passive House):** Pasif ev konsepti, havalandırma sistemi haricinde ısıtma için başka bir sisteme ihtiyaç duymayan yapılar olarak tanımlanır. Havalandırma sistemi, taze havayı dışarıdan alıp ısı değiştiricisinde yapıdan gelen kirli havanın ısısı ile ısıtarak iç mekâna aktarabilir.
- d) **Sıfır Enerjili Ev (Zero Energy House):** Sıfır enerjili ev, enerji ihtiyacı bakımından kendi kendine yeten evlerdir. Güneş enerjisi, fotovoltaik sistemler vb. kullanarak enerji üreten ve depolayabilen yapılardır.

Akyol (2012) yapılarda enerji tüketimine yönelik olarak yapılan sınıflandırmaları Şekil 2.5'deki gibi özetlemiştir.



**Şekil 2.5.** Enerji tüketimlerine göre "Ev" sınıflandırması (Akyol 2012)

Düşük enerjili ev, ultra ev ve pasif ev konseptinde ortak ve temel yaklaşım enerji korunumunu sağlamaktır. Pasif ev standardında enerji korunumu ile beraber ısıtma ve soğutma enerjisi açığını en az indirme çabası gündeme gelmiştir. Geleneksel yapı anlayışının negatif yöndeki enerji gelişimini pozitifçe çevirip, artı enerji üreten yapı sınıflarına geçişte bir adım oluşturmaktadır. Sıfır enerjili ev ya da net sıfır enerjili ev, enerji üretebilen sistemlerle donatılırken, öncelikle ihtiyaç duyduğu enerji miktarını minimize edecek bir yaklaşım geliştirmektedir (Akyol 2012).

Düşük enerjili ev, ultra ev, pasif ev, sıfır enerjili ev kavramlarının yanında “yeşil ev” ve “sürdürülebilirlik” kavramları da yaygın olarak kullanılmaktadır. İnşaatta sürdürülebilirlik konusu çoğu zaman “yeşil” kavramıyla iç içe hatta aynı olarak düşünülmesine rağmen “yeşil” terimi, sürdürülebilirlik kavramını tamamen kapsamamaktadır. İki kavram arasındaki temel fark çevreyle ilgili kaygıların göz önünde bulundurulmasıdır. Bu bağlamda iki kavramın kapsamı Şekil 2.6’da belirtilmiştir. Kibert (1994) sürdürülebilir yapı ilkelerini altı ana başlıkta toplamış ve sürdürülebilir yapı için kavramsal bir model oluşturmuştur (Hoşkara 2007; Pamuk ve Kuruoğlu 2016):

- a) Kaynak tüketiminin azaltılması,
- b) Kaynakların yeniden kullanımının artırılması,
- c) Yenilenebilir/dönüştürülebilir kaynak kullanımının artırılması,
- d) Doğal çevrenin korunması,
- e) Sağlıklı bir çevre oluşturma,
- f) Oluşturulan çevrede kalitenin sağlanması.

#### **2.4.2. Pasif ev**

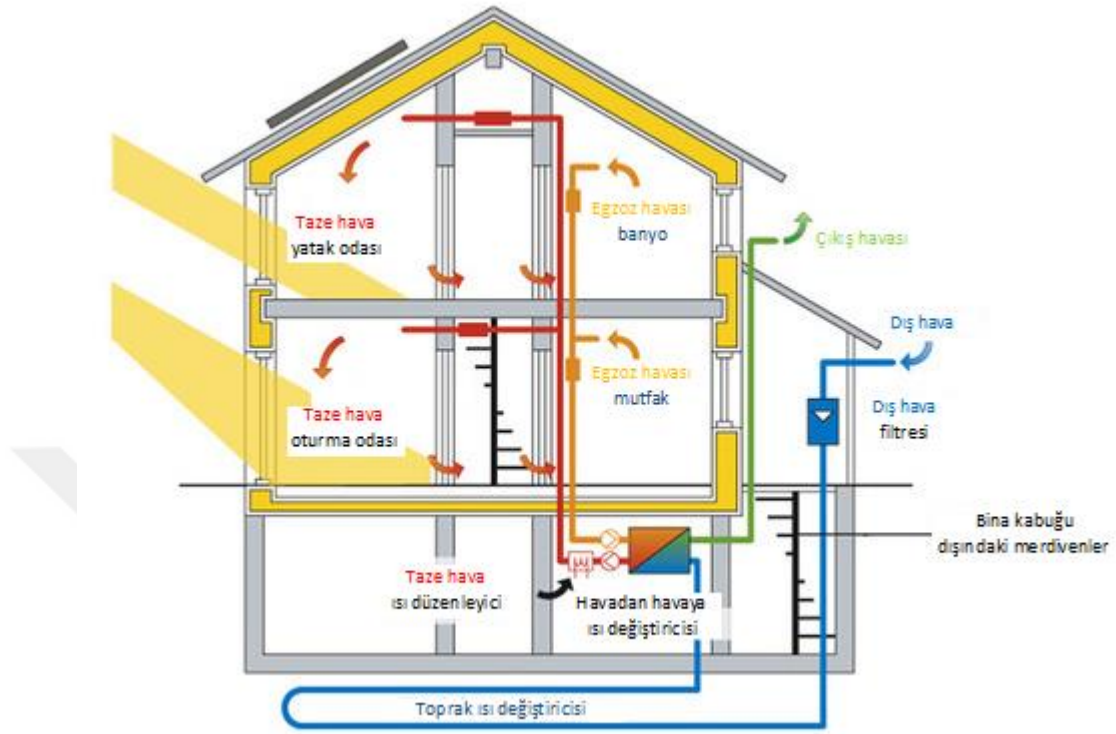
Pasif evin literatürde farklı tanımlamaları bulunmaktadır. Schnieders’e (2006) göre pasif ev, geleneksel ısıtma sistemlerine ihtiyaç duymadan yaz ve kış koşullarında konforlu iç ortam oluşturabilen yapılardır. Bu yapıların bu koşulları sağlarken 1 m<sup>2</sup> alan için ısıtma yükü 10W olmaktadır. Pasif ev yaklaşımının bileşenleri, temel olarak “yüksek seviyede

yalıtım”, “ısı geri dönüşümü” ve “pasif güneş kazanımları” olmak üzere 3 bileşendir. Bunları tamamlayan bileşenlerin “elektrik enerjisinin etkin kullanımı” ve “enerji açığının dönüştürülebilir kaynaklar ile tedariki” olduğu belirtilmektedir (Akyol 2012). Pasif evin temel öğeleri Şekil 2.7’de gösterilmiştir.



**Şekil 2.6.** Yeşil bina ve sürdürülebilir bina kapsamı (Yılmaz 2012)

Sıfır Enerji ve Pasif Ev Derneği’nce (SEPEV) pasif ev yapıları, içerisinde ikamet edenlerin konforunu az miktarda enerji ile ısıtma ve soğutma yaparak sağlayan yapılar olarak tanımlanmaktadır. Kullanılan enerji miktarıyla, Türkiye’de bulunan günümüz standart binalarına oranla, ısıtma ve soğutmada %90’lara varan oranda tasarruf sağlanmaktadır. Pasif Ev yapıları gerekli olan oda sıcaklığına ulaşabilmek için, temiz havayı ısıtarak ya da soğutarak gerekli termal rahatlığı sağlayabilen yapılardır. Pasif Ev yapıları Almanya’da ki Pasif Ev Enstitüsü’nün belirlemiş olduğu standartlar doğrultusunda tasarlanır ve inşa edilir. Daha sonra bu yapılar enstitünün vermiş olduğu standartlara uygun olmalarına bağlı olarak sertifikalandırılır (SEPEV 2016).



Şekil 2.7. Pasif evin temel öğeleri (SEPEV 2016)

Bir yapıyı yukarıda bahsedilen sınır değerlerin içerisinde tutacak ve pasif ev olmasını sağlayacak yöntemler şöyle özetlenebilir (Feist *et al.* 2005; Akyol 2012):

- 1) Pasif evin temel fikri, ısı kayıplarını en aza indirmektir. Dolayısı ile yapı kabuğunun yüksek ısıl performansa sahip olması beklenir.
- 2) Güneş enerjisinden aydınlatma ve ısıtmada en yüksek düzeyde yararlanılmalıdır.
- 3) İç kava kalitesinin kontrol altında tutarak ısı kazanımı sağlayan ve havalandırma yapan sistemler verimliliği yüksek sistemler olarak seçilmelidir.
- 4) Binanın final enerjisi üzerinde doğrudan etkili olan, sıcak su sağlayan sistemler ile diğer elektrikli ev aletleri ve aydınlatma için seçilen ekipmanların enerji tüketimi düşük olmalıdır.

Pasif ev temel tasarım özellikleri Çizelge 2.4'de verilmiştir. Pasif ev standardını yeni projelerde olduğu gibi mevcut yapıları iyileştirmek için de uygulamak

mümkündür. Pasif Ev Enstitüsü enerji etkin renovasyon projeleri için EnerPHit standardını geliştirmiştir. EnerPHit standardının genel kriterleri Çizelge 2.5'de verilmiştir.

### 2.4.3. Net sıfır enerjili bina (nZEB)

Net Sıfır Enerjili Bina (nZEB), düşük primer enerji kullanan ve üretilen yenilenebilir enerjinin bir kısmını satarak, yıllık enerji bilançosunu sıfır yapabilen bir binadır. Bir başka ifadeyle burada net bilanço olarak primer enerji tüketimi yoktur (Çakmanus 2011).

Tsoutsos *et al.* (2013) tarafından Sıfır enerjili binalar, “yalnızca kullanıma geçtikten sonra yenilenebilir enerji kaynaklarından gereksinim duyduğu enerjiyi üretmek değil, inşaat aşamasındaki her ayrıntıyı dikkate alarak çevrenin sürdürülebilirliğini sağlayan, geri dönüşümlü malzemeler kullanan, karbon salınımı yapmayan ve yaşam döngüsü içinde akıllı bina uygulamalarını da barındıran çevreci bina veya sürdürülebilir bina olarak da tanımlanabilecek yapılar” olarak tanımlanmaktadır (Aydın ve Aydın 2016).

**Çizelge 2.4.** Pasif ev temel tasarım özellikleri (SEPEV 2016)

	ÖZELLİK	TASARIM DEĞERİ
1	Yüksek düzeyde yalıtım	$U_d < 0.15 \text{ W/m}^2\text{K}$
2	Son derece yüksek performanslı ve yalıtımlı pencere, kapı sistemleri	$U_p < 0.8 \text{ W/m}^2\text{K}$
3	Hava sızdırmaz bina kabuğu	$< 0.6 /h @ 50 \text{ Pa}$
4	Isı köprülerinin oluşmasına engel mimari detay çözümleri	$\Psi \leq 0.01 \text{ W/mK}$
5	Yüksek verimli, ısı geri kazanımlı mekanik havalandırma sistemi	$\geq 75$ verimlilik
6	Isınmak için harcanan enerji (Yıllık)	$Q_h \leq 15 \text{ kWh/m}^2$
7	Maksimum toplam primer enerji (ısıtma, soğutma, havalandırma, aydınlatma, sıcak su, elektrik) (Yıllık)	$Q_p \leq 120 \text{ kWh/m}^2$



**Çizelge 2.5.** Renovasyon projeleri için EnerPHit standardı (SEPEV 2016)

	Özellik	Tasarım Değeri
1	Isınmak için harcanan enerji (Yıllık)	$Q_h \leq 25 \text{ kWh/m}^2$
2	Toplam primer enerji maksimum (ısıtma, soğutma, havalandırma, aydınlatma, sıcak su, elektrik) (Yıllık)	$Q_p \leq 120 \text{ kWh/m}^2 + ((Q_h - 15 \text{ kWh/(m}^2)) \times 1.2)$
3	Hava sızdırmazlık oranı	1 AC/H @50 Pa

Net sıfır enerjili bina; klasik binalara göre çok daha az enerji tüketen, bina dışı iklim ve çevre koşullarından etkileşimi minimum düzeye indirilmiş, ihtiyaç duyduğu enerjiyi yenilenebilir enerji kaynaklarından (güneş, rüzgâr, ısı pompası) sağlayan, ulusal enerji dağıtım hatları ile alışveriş yapabilen, çevre dostu, sürdürülebilir ve aynı zamanda sıfır CO<sub>2</sub> emisyonu hedefleyen binalardır. Net Sıfır Enerjili Binaları oluşturan özellikler sıralandığında; bina minimum enerji tüketecek ve güneş ışığından daha fazla faydalanacak şekilde ve uygun yönlerde yerleştirilmeli, enerji verimli pencereler kullanılmalı, ısı yalıtımı yapılarak bina kabuğundan kaynaklanan ısı kayıpları minimize edilmeli, sıcak su için güneş kolektörleri, elektrik enerjisi için fotovoltaik paneller veya rüzgar türbinleri kullanılmalı, ısı pompası ve ısı depolama sistemleri kullanılmalı, güneş enerjisi veya atık ısı destekli absorpsiyonlu sistemlerle daha az elektrik tüketen soğutma sistemleri kullanılmalı, mekanik havalandırma ihtiyacı için ısı geri kazanım sistemleri tesis edilmeli, bina ile ulusal elektrik dağıtım hatları arasında alışveriş yapılmasını sağlayacak sistem entegre edilmelidir. Günümüzde net sıfır enerjili bina tasarımı; mimarlar, mühendisler ve yapı fizikçileri için gittikçe artan bir öneme sahip olmuştur. Sıfır enerjili bina tasarımı ile binanın yıllık enerji tüketiminin sıfıra yakın bir değere yaklaştırılması hedeflenmektedir. Bunun için binanın ısıtma, soğutma ve elektrik tüketim talebi asgari düzeye indirilmeli ve asgari düzeye indirilen bu talep de yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilme yoluna gidilmelidir (Utlu ve Tekin 2013).

#### 2.4.4. Neredeyse net sıfır enerjili bina (nnZEB)

Neredeyse Net Sıfır Enerjili Bina (nnZEB), primer enerji tüketimi  $>0.0\text{kWh/m}^2\text{yıl}$  olan binalardır. Bu, binada bir miktar primer (fosil tabanlı) enerji tüketildiği anlamına gelir (Çakmanus 2011).

Neredeyse Sıfır Enerjili Binalar, ısıtma veya soğutmaya bağlı olarak, binada oturanların da termal konforu düşünülerek, atmosfere çok az veya hiç CO<sub>2</sub> emisyon salımı olmayan enerji tasarruflu binalar olarak tanımlanır. Genellikle enerji gereksinimini azaltarak ya da rüzgâr, güneş, jeotermal, su veya dalga gibi yenilenebilir enerji kaynakları kullanılarak sağlanır (Chee *et al.* 2013).

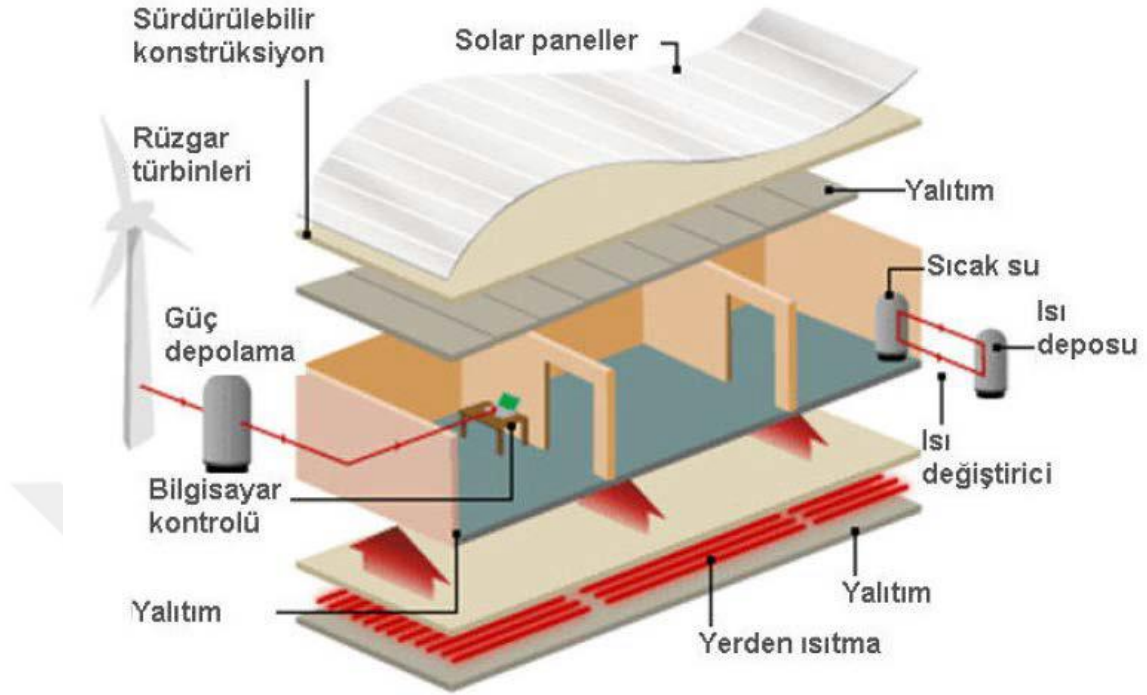
Neredeyse net sıfır enerjili binaların temel özellikleri çok iyi yalıtılmış olmaları, hava sızdırmazlığı ve yazın güneş ısı kazançlarından çok iyi biçimde korunma şeklindedir. Kalan net enerji ihtiyacı ise yenilebilir enerji kaynaklarından karşılanabilir.

Avrupa Birliği “AB Binalarda Enerji Performans Yönetmeliğinde” (2020/91/EC) 2020 yılı itibarıyla enerjide %20 tasarruf ve binalardaki enerji ihtiyacının %20’sinin yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlanmasını hedeflemiştir. Ancak AB, enerjide dışa bağımlılığı ve fosil enerji tüketimini azaltmak ve Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği konusundaki Çerçeve Konvansiyonu kapsamında imzalanan “Kyoto Protokolü’nün küresel sıcaklık artışını uzun vadede 2°C’nin altında tutma ve 2020 yılı itibarıyla sera gazı salınımlarını 1990 yılı değerlerinin en az %20 (uluslararası bir anlaşma yapılması durumunda %30) altına çekme taahhüdünü desteklemek amacıyla, AB BEP yönetmeliğinde revizyona giderek, 2020 yılı Aralık ayı itibarıyla AB üye ülkelerinde yeni binaların “yaklaşık sıfır enerjili” olması ve enerjinin bir bölümünün yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlanmasını hedeflemiştir (Çakmanus vd 2010).

## 2.5. Net Sıfır Enerjili Bina (nZEB) / Neredeyse Net Sıfır Enerjili Binaların (nnZEB) Temel Öğeleri

Sıfır enerji evinin başlıca özellikleri Şekil 2.8’de gösterilmiştir. Binaların sıfır enerji seviyesi konusunda *Bina Enerji Talebinin Azaltılması*, *Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Kullanılması* ve *Pozitif Enerji Üreten Binaların Yapılması* olmak üzere üç temel yaklaşım söz konusudur. *Bina Enerji Talebinin Azaltılması* yaklaşımının amacı binada enerjinin tüketildiği tüm sistemlerde enerji tüketiminin kabul edilebilir düzeyde bir yatırım ile minimize edilerek binanın enerji talebini azaltmaktır. İzolasyon yapılması ve enerji verimliliği daha yüksek ekipmanların kullanılması buna örnek olarak verilebilir. *Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Kullanılması* yaklaşımında ise yenilenebilir ve mevcut durumda boşa giden enerji kaynaklarını kullanarak enerjinin yerel olarak üretimi amaçlanır. *Pozitif Enerji Üreten Binaların Yapılması* yaklaşımında temel amaç fazla enerji üreten binalar yapmak ve bu enerjinin akıllı bir şebeke sistemine beslenmesi yoluyla enerji paylaşımını gerçekleştirmektir (WBCSD 2007).

Net sıfır enerjili binalar (nZEB) için çözüm yöntemleri pasif ve aktif yöntemler olarak üzere iki temel kategoriye ayrılmaktadır. Bu yöntemler Çizelge 2.6’da gösterilmiştir. Sıfır enerjili binalarda aktif uygulamalar, binaların gereksinim duyacağı enerjiyi elde etmeye yönelik uygulamalardır. Enerjiyi elde etme yolları ise coğrafi veya iklim açısından avantajlı olduğu koşullara göre şekillenecektir. Aktif uygulamalar, güneş enerjisinden yararlanan fotovoltaik sistemler, rüzgâr enerjisinden yararlanan rüzgâr türbinleri, ısı pompaları, jeotermal enerji, biyokütle enerjisi, hidrojen enerjisi, dalga ve gelgit enerjisidir (T.C. Resmi Gazete 2005; Berberoğlu 2009; Oflazoğlu 2013).



Şekil 2.8. Sıfır enerji evinin başlıca özellikleri (Berberoğlu 2009; Oflazoğlu 2013)

Çizelge 2.6. Net sıfır enerjili binalar (nZEB) için pasif ve aktif çözüm yöntemleri (Attia 2012)

Pasif Stratejiler	Güneş Kontrolü & Isıl Kontrol	Gölgelendirme Kullanma
		Yönlenme, Kompakt Kütle, Isıl Kütle, WWR (Pencere/Duvar Oranı)
		Yansıtma, Albedo, Isıl Kütle
	Isıl Yönlenme (Thermal Zoning)	Çift Cam
		Avlu Tasarımı
		Isıl Yönlenme
Pasif Soğutma	Zemin Korunma	
	Doğal Havalandırma	
	Evaporatif Soğutma	
Aktif Stratejiler	Mekanik Havalandırma & Soğutma	Konvektif & Radyatif Soğutma
		Isıl & Elektrik Üretimi
		Yapay Gölgelendirme & Yapay Aydınlatma

Pasif sistemler, herhangi bir mekanik ve elektrik sistem kullanılmadan yapı elemanlarıyla oluşturulan bir düzendir. Mimari tasarım parametreleri, enerji etkin bina tasarımında önemli bir rol oynamaktadır. Binanın bulunduğu yere ait iklimsel koşullar

eğer mimari tasarımda akılcı kullanılırsa sıcak ve soğuk dönemlerde ısı açıdan binalarda en uygun şartları oluşturmak olanaklıdır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından yeteri kadar yararlanan pasif sistemlerin enerji performansı, binanın enerji etkinliğinde çok önemlidir. Yenilenebilir enerjiye dayalı pasif sistemlerin enerji performansını etkileyen bina öğeleri Çizelge 2.7’de, bunlara ait tasarım kriterleri ise **EK 1**’de verilmiştir.

**Çizelge 2.7.** Yenilenebilir enerjiye dayalı pasif sistemlerin enerji performansını etkileyen bina öğeleri (Yılmaz 2006)

ELEMENLAR		ELEMENLAR	
1	Yapının Yeri	11	Güneş duvarları (Trombe Duvarları)
2	Yapının Konumu	12	Çatı Açıklıkları
3	Yapının Yönü	13	Çatı Havuzları
4	Yapının Formu	14	Avlular
5	Hacimlerin Yerleştirilmesi	15	Su elemanları
6	Yapı Kabuğu	16	Gölgeleme Sistemleri
7	Pencereler	17	Çift Kabuk Cephe Sistemleri
8	İç Mekân Malzeme Seçimi	18	Güneş Bacaları
9	Seralar (Kış Bahçeleri)	19	Işık Tüpleri
10	Ayrılmış Kazanç Sistemleri	20	

### 2.5.1. Bina enerji talebinin azaltılması

#### 2.5.1.a. Bina dış kabuğunun enerji performansının artırılması

Bir binanın enerji talebini etkileyen önemli etkenlerden biri bina dış kabuğudur (çevre ile temasta olan). Soğuk iklim bölgelerinde güneş ışınımı kazanımı azami hale getirilmeye çalışılırken sıcak iklim bölgelerinde gölgelendirme ve diğer parametrelerle ısı kazancı minimum hale getirilmelidir. Bina kabuğunun enerji performansının artırılarak nZEB binalara ulaşmanın en kolay yolu çok iyi yalıtım yapmaktır. Bu bağlamda, örneğin eğer mimar veya mal sahibi camdan bir bina yapmak istiyorsa, bu binanın enerji performansının artırmanın yolu, binanın bulunduğu iklim bölgesine bağlı olarak, üçlü camlar, düşük ısı transferi katsayılı ( $U-W/m^2K$ ) camlar, gölgeleme faktörü

(SHGF) düşük camlar, gölgeleme, çift kabuk cephelerle doğal havalandırma, trombe duvarı gibi olanaklarla binanın performansı artırılabilir. Bina kabuğunun enerji performansının artırılması ile binadaki HVAC sistemlerinin kapasiteleri düşürülerek daha ilk yatırım aşamasında parasal tasarruf yapmak mümkündür. Bu, bina kabuğuna yapılacak ilave yatırımın bir bölümünü karşılayabilir. Burada işletmede elde edilecek kazançlar da işin diğer bir yönüdür (Çakmanus 2011).

### **2.5.1.b. Aydınlatma sistemi**

Bina enerji talebini azaltmada üzerinde durulması gereken bir diğer sistem aydınlatma sistemidir. Aydınlatma sisteminde öncelikle pasif yöntemlerle doğal aydınlatmadan yararlanılmalı enerji tüketimini azaltmak için tasarruflu aydınlatma elemanları seçilmelidir. Tüm binada elektrik sistemi otomasyonu ile aşırı aydınlatmadan kaçınılmalı ve kullanılmayan alanlarda gereksiz enerji tüketimi engellenmelidir. Kontrol sistemleri ile aydınlatmanın gerekli zamanda ve miktarda kullanılması sağlanmalıdır.

Binalarda aydınlatma sistemlerinin en verimli şekilde çalışması için aydınlatma otomasyon sistemleri kullanılmaktadır. Değişik kontrol stratejileri ile aydınlatma sistemleri; bölgesel, harekete bağlı, zamana bağlı ve gün ışığına bağlı olarak kontrol edilebilirler. Kontrol sistemleri, kontrol stratejisine bağlı olarak açma/kapama yapabileceği gibi loşlaştırma da yaparak gereksinim duyulan aydınlık düzeylerini sağlayabilir. Zaman ayarlayıcıları ve insan algılayıcılar ile %30, günışığı kontrollü otomasyon sistemleri ile %35 tasarruf olasıdır (HBSDTT 2008). Aydınlatmada kullanılan otomasyon sistemleri Çizelge 2.8'de verilmiştir.

### **2.5.1.c. Sistem pompaları ve fanlarının yenilenmesi**

Günümüzde binalarda ve endüstride elektrik enerjisi tüketiminin büyük bir bölümü, pompa ve fan uygulamalarında gerçekleşmektedir. Pompa ve fan uygulamalarında, pompa veya fan tipi, ihtiyaç duyulan en yüksek hava veya su debisine göre belirlenir. Bu debinin gün içerisindeki değişimi göz önüne alınmaz. Oysa gün içerisinde hava veya

su debisi değişiminin oldukça fazla olduğu uygulamalarda değişimin enerji sarfiyatı bakımından incelenmesi gerekir (Nalbantoğlu 2011).

**Çizelge 2.8.** Aydınlatmada kullanılan otomasyon sistemleri (Alsat 2016)

Kontrol Yöntemi	Özellikleri
1 Hareket Varlık Detektörü ile Kontrol	Mekânın kullanımda olup olmadığı tespit edilerek, boşsa belli bir süre sonra aydınlatmanın kapatılmasıdır. Kendinden detektörlü armatürler en basit ve yaygın uygulama alanıdır.
2 Zaman Programı Kontrol	Mekânın kullanım sürelerine, tatillere, mesai ve vardiya saatlerine göre insan müdahalesine gerek kalmadan armatürler otomatik olarak kontrol edilmektedir.
3 Işık Şiddetine Göre Kontrol	Mekânın farklı noktalarında pencerelerden gelen ışığa bağlı olarak bazı armatürler kısılıp açılarak, mekânın her noktasında eşit aydınlatma sağlanmakta ve gün ışığı maksimum kullanılmaktadır. Çevre aydınlatması gece-gündüz durumuna göre çalıştırılmaktadır.
4 Kombine Kontrol	Farklı kontrol tiplerinin, maksimum verim için bir arada kullanılmasıdır. Örneğin ışık şiddetine bağlı dimmer kontrolü yapılan bir mekânda hareket yoksa ya da tatil günü ise sistemin kapatılmasıdır.

Pompalarda enerji verimliliği amacıyla istenilen basıncı veren değişken devirli pompalar kullanılabilir. Değişken devirli pompa ihtiyacı debinin değişken olmasına bağlıdır. Debi değişken değil ise en uygun çözüm en iyi verim noktasında çalışan sabit devirli bir pompadır. Frekans değiştiricileri verimlerinin %96-%98 olduğu üreticileri tarafından beyan edilmektedir. Enerji tüketiminden sağlanacak kazanç aynı zamanda pompanın toplam basma yüksekliğinin statik basma yüksekliğine oranına da bağlıdır. Statik basma yüksekliği arttıkça devir azalması ile pompanın verimi azalmaktadır.

Endüstride kullanılan fanlar yüksek güç tüketen cihazlar olup arıza, bakım veya başka nedenlerle durdurulmadığı sürece çalışırlar. Bu nedenle fanın ömrü boyunca tüketeceği enerji, bu fanın imalat (ilk yatırım) maliyetinin yüzlerce katı olabilmektedir. Dolayısıyla yıllık çalışma süreleri fazla olan tesislerde enerji verimliliği önemlidir. Bu nedenle ömür boyu maliyeti (ilk yatırım ve ömür boyu enerji maliyetlerinin toplamı) az olan fan

seçilmelidir. Bu bağlamda, binalarda/fabrikalarda eski fanların incelenerek verimlerinin hesaplanması ve fizibilite etüdü yapılarak yenilenmesi yararlı olmaktadır. Bu yenilemeler ilk yatırım maliyeti getirirse de kendini kısa sürede amorti eden yatırımlar olabilmektedir. Enerji verimliği için fanlar, sistem ve prosesin ihtiyacına uygun biçimde tasarlanıp imal edilmelidir. Mevcut fanlarda öncelikle mevcut durumun analizi ve ölçümler yapılarak tasarruf potansiyeli belirlenmelidir. Günümüz teknolojisinde fanın cinsine bağlı olarak %70-85 arasında verim değerleri elde etmek mümkündür. Enerji verimliliğinin artırılmasında fana ilave olarak tahrik sistemi (kayış kasnak varsa kaplı dönmeye), elektrik motoru (örneğin 90 kW'a kadar EFF1 motor kullanımı) ve kontrol stratejileri (değişken debili sistemlerde paralel işletme, frekans invertörü uygulamaları) de önemli olup konu sistem olarak ele alınmalıdır (Çakmanus ve Akpınar 2008).

Pompalar, vantilatörler ve kompresörler gibi akış üreten cihazlar genellikle hız ayarı olmadan kullanılmaktadır. Bunun yerine akış geleneksel metotla regülatörler, valfler ve supaplar yardımı ile kontrol altına alınmaktadır. Akış değişken motor hızıyla kontrol edilmediğinde, motor sürekli tam hızda çalışmaktadır. Bu durumda pompaların hizmet verdikleri sistemlerin azami debiye nadiren ihtiyaç duymaları yüzünden, hız ayarsız bir sistem çoğu zaman önemli miktarda enerjiyi israf etmektedir (Ristimäki 2008).

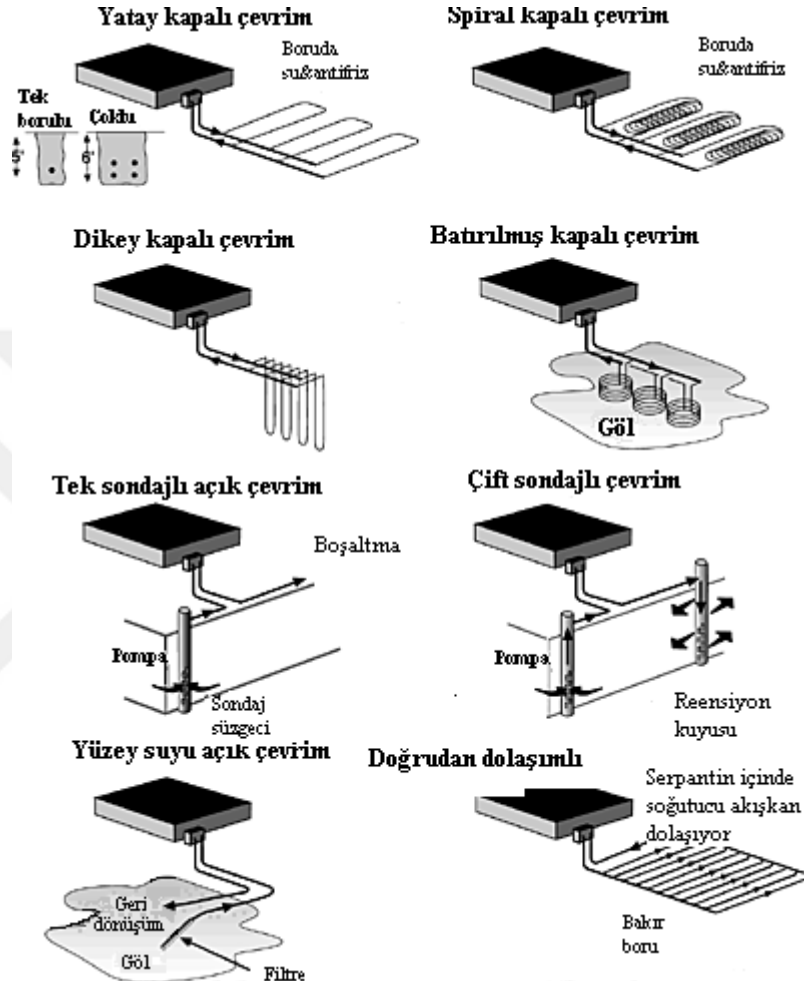
## **2.5.2. Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması**

### **2.5.2.a. Toprak kaynaklı ısı pompası**

1940'lı yılların sonlarından beri kullanılmakta olan toprak kaynaklı ısı pompası (TKIP) sistemleri, son yıllarda konutsal, ticari hacim ısıtma ve soğutma uygulamalarında oldukça ilgi çeker konuma gelmiştir. Bu sistemler ayrıca jeotermal ısı pompası sistemleri, yer enerjili sistemler (*earth energy systems*) ve jeo dönüşüm sistemleri (*geoexchange systems*) olarak da adlandırılmaktadır. Toprak kaynaklı ısı pompası hem ısı kaynağı hem de ısı çukuru olarak toprak, yeraltı suyu ve yüzey suyu gibi jeotermal bir kaynağı kullanan mahal iklimlendirme sistemlerinden oluşan geniş bir sınıfa verilen



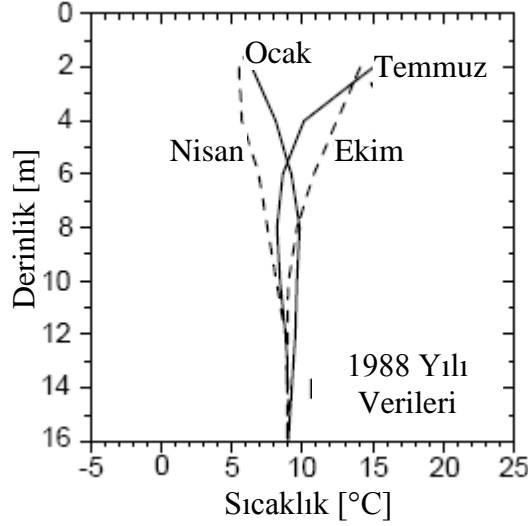
addır (Şekil 2.9). Toprak, yıl boyunca sıcaklık değerleri oldukça dengeli ve yüksek olduğundan ısı pompaları için önemli bir ısı kaynağıdır (Kavanaugh and Rafferty 1997).



**Şekil 2.9.** Jeotermal (toprak kaynaklı) ısı pompası tipleri (Kavanaugh and Rafferty 1997; Hepbaşlı ve Hancıoğlu 2001)

Toprak sıcaklığı, yer yüzeyinde havanın sıcaklığına eşit olmakta ve yaklaşık 10 m derinliğe kadar azalmaktadır (Şekil 2.10). Toprak sıcaklığı, 10-45 m derinlikler arasında ise yaklaşık olarak sabit olmaktadır. Yer yüzeyinin altındaki bu bölgedeki sabit sıcaklık, yer yüzeyinin üzerinden (güneş ve atmosfer) ve yer yüzeyinin iç derinliklerinden kaynaklanan ısı akılarının kompleks etkileşimlerinin sonucudur. Buna bağlı olarak, bu bölgedeki sıcaklık, yaklaşık olarak ortalama yıllık hava sıcaklığına eşit kabul edilebilir. Bu bölgenin altında (45 m'den daha fazla derinlikler) toprak sıcaklığı doğal jeotermal

gradyente uygun olarak her 30 m derinlik için ortalama 1°C kadar artmaktadır. Artış miktarı 100 m'den sonra 0,5°C kadar düşük olabildiği gibi 30°C kadar yüksek artışlara da rastlanabilmektedir (Viessmann 2000; Lazzarin 2001; Sanner 2003).

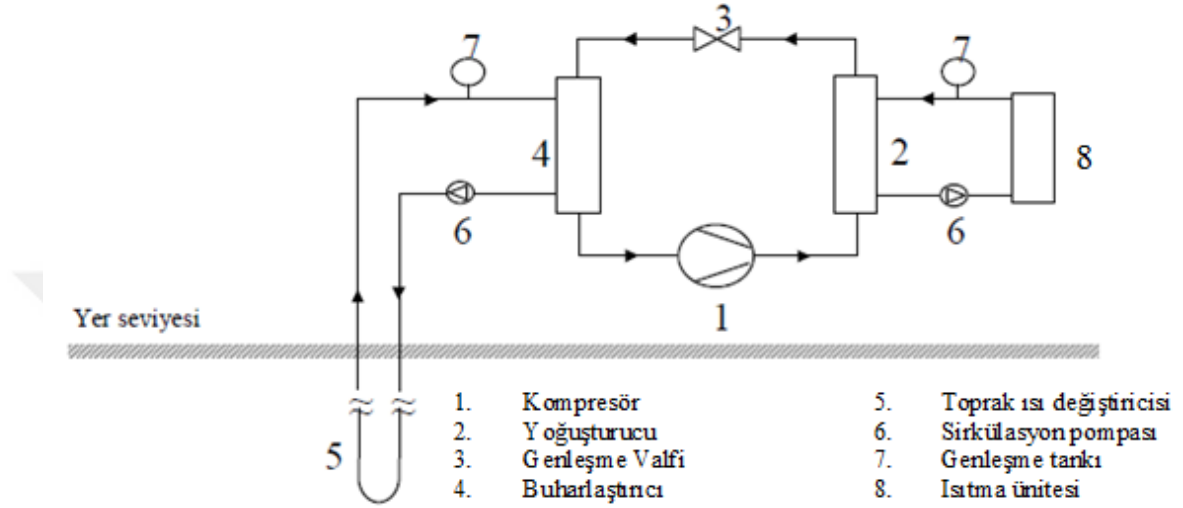


**Şekil 2.10.** Toprağın yıllık sıcaklık değişimi (Sanner 2003)

Toprağın 1-2 metre derinliğinde yıl boyunca sıcaklık değişiminin az olması, toprağın ısı kaynağı olarak kullanılabilmesi için iyi bir özelliktir. Isı, bir yıl boyunca güneşin yeryüzüne ısıdığı ve toprağın depoladığı güneş enerjisinden kaynaklanmaktadır. Güneş, yazın öğle vaktinde 1000 W/m<sup>2</sup>-yeryüzü alanı, kışın 50-200 W/m<sup>2</sup> ışınlar. Buna rağmen, ısı kaynağı olarak toprağın kullanılması diğer sistemlere göre daha pahalıdır. Isı değiştirici olarak toprak altına gömülen borulardan soğutucu akışkan veya daha ucuz olması bakımından, genellikle su ve salamura geçirilerek kullanılır (Ekinci 2007). Toprak kaynaklı ısı pompasının çalışma ilkesi Şekil 2.11'de verilmiştir.

Isıtma sistemi olarak yerden ısıtma, düşük sıcaklıklı radyatör veya fan-coil kullanımı mümkündür. Toprak kaynaklı ısı pompaları ısıtma çıkış su sıcaklığı genellikle 40-50°C arasında olmaktadır. Günümüz teknolojisinde toprak kaynaklı ısı pompalarında 65 °C çıkış su sıcaklıkları mümkündür. Isıtma su sıcaklığı ne kadar düşük ise ısı pompası verimi o kadar yüksek olabilmektedir. Yüksek çıkış su sıcaklıkları boyler ısıtmasında önemli bir pozitif etken olmaktadır. Yerden ısıtma sisteminin özellikle 55-45°C yerine,

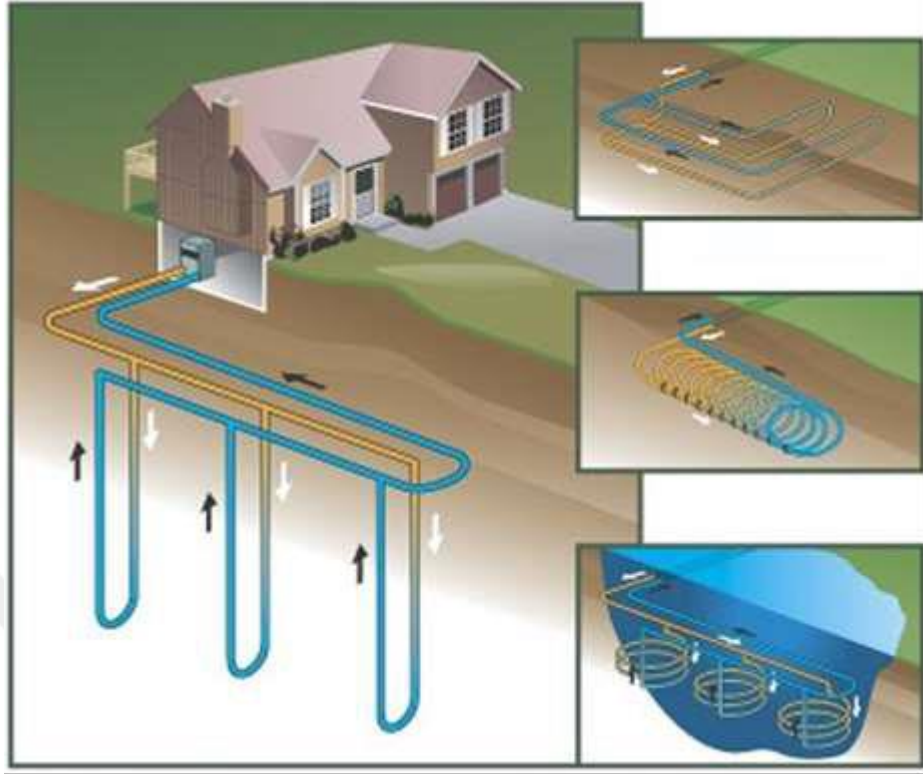
40-30°C çalışma sıcaklıklarında seçilmesi, yüksek COP sağlayacaktır. Isı kaybı sadece yerden ısıtma ile karşılanmıyor ise, düşük sıcaklıkta su ile beslenmek suretiyle radyatör veya FCU sistemleri ısıtmaya destek verebilir (Arslan 2014).



Şekil 2.11. Toprak kaynaklı ısı pompası çalışma prensibi (Sanner 2003)

Uygun toprak kaynaklı ısı pompaları ile 5-11°C çıkış su sıcaklıkları ile beslenen fan-coil ile soğutma yapma imkânı bulunmaktadır. Bu şekilde kışın yerden ısıtma ile ısıtma, yazın fan-coil ile soğutma gerçekleştirilir. Toprak kaynaklı ısı pompalarının kaynak tarafı, derin kuyu (80-120 m kuyu uygulaması), serme (arazinin 1-1,5 m altına yüksek metrajlı boru uygulaması) veya su kaynağı (göl veya denize boru uygulaması) olarak düşünülebilir (Arslan 2014).

Genel olarak; TKIP ısı kaynağı olarak toprak kullanılırken ısıyı çeken su-antifriz karışımı (soğutucu diğer gazlar da kullanılmaktadır R410A,R407C,REf134 vb.), ısı enerjisi taşıyıcısı olarak borular kullanılmaktadır. Kullanılan bu boruların serimine göre TKIP sistemleri yatay ve dikey serme olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Yer yüzeyine göre paralel olarak katmanlı serişe “yatay”, dik bir açı ile açılan sondaj deliklerine yapılan borulama tekniğine de “dikey” serme uygulaması denmektedir (Bayraktar 2015). Şekil 2.12 toprak kaynaklı ısı pompası uygulama şekillerini şematik olarak göstermektedir.



**Şekil 2.12.** Toprak kaynaklı ısı pompası uygulama şekilleri (Arslan 2014; Tamošiūnas 2014)

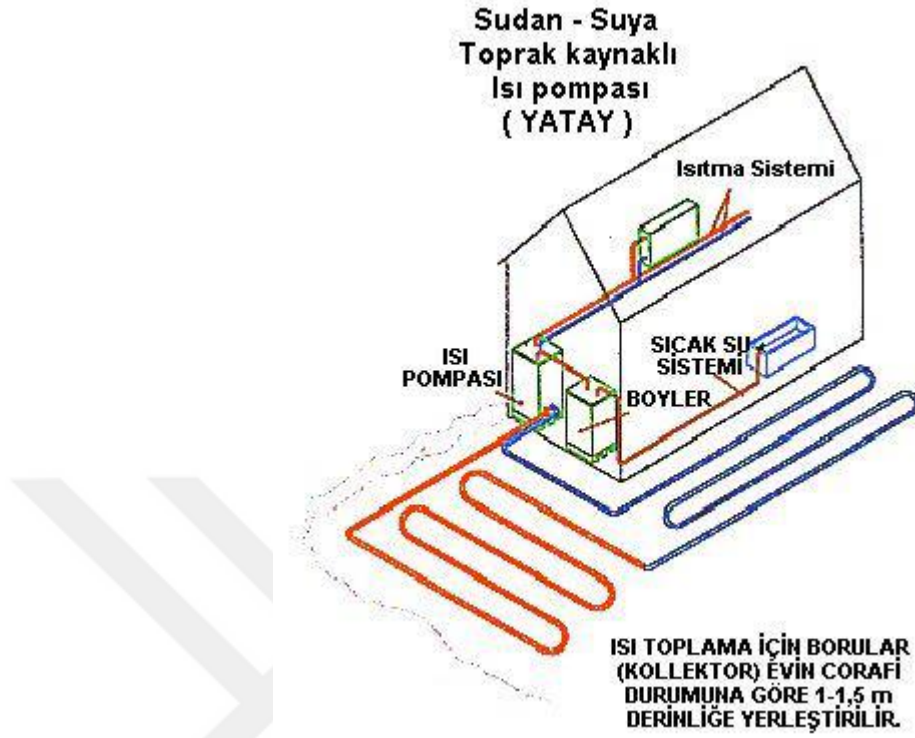
TKIP tasarımı yapılırken, toplam ısı yükü ihtiyacı belirlendikten sonra boru serme tipi ve sistem tasarımı şeklini seçmeden önce belirlenmesi gerekli başlıca kriterler aşağıda verilmiştir (Bayraktar 2015):

- ✓ Sistemin ısıtma/soğutma kapasitesi
- ✓ Yıllık ortalama toprak sıcaklığı
- ✓ COP değerleri (Isıtma/Soğutma için ayrı ayrı)
- ✓ Soğutma için sisteme giren su sıcaklığı
- ✓ Isıtma için sisteme giren su sıcaklığı
- ✓ Toprak direnci
- ✓ Boru direnci
- ✓ Isı değiştirici tipi
- ✓ Soğutma için çalışma faktörü
- ✓ Isıtma için çalışma faktörü.

Toprak kaynaklı ısı pompaları; enerji verimlerinin yüksek olması, çevre kirliliği oluşturmama, tasarım esnekliği sağlama, işletme ve bakım maliyetlerinin düşük olması, enerji temin sorunlarını çözmeye yardımcı olma gibi bir dizi avantajlara sahiptir. Amerika'da The Department of Energy (DOE) and the Environmental Protection Agency (EPA) TKIP sistemlerini en verimli ve çevre dostu ısıtma, soğutma ve su ısıtma sistemleri olarak kabul etmiştir. Bunun yanı sıra; yer altı devresi için yeterince arsa bulunamayabilişi, ilk yatırımının daha yüksek olması, performansının toprak ısı değiştiriciye (TID) ve ekipmana bağlı olması, ulusal ve yerel sınırlamalara uymak gerekliliği gibi sakıncaları da vardır (Hepbaşlı ve Ertöz 1999; IGSHPA 2006).

### **1. Yatay toprak ısı değiştiricili ısı pompası**

Tek borulu, çok borulu ve serpantinli olarak üç gruba ayrılır. Tek borulu sistemde en az 1,2 m derinlikte dar hendeklere yerleştirilir. Yer tasarrufu açısından çoklu borular 2 veya 4 aynı kanalın içine gömülür (Şekil 2.13). Diğer üçüncü tip ise serpantin tipi yatay uygulama olup en az alan gereken sistemdir. Yatay ve düşey olarak toprağa yerleştirilen borular seri veya paralel olarak bağlanırlar. Genelde 1,5 ile 2 m derinliğe yerleştirilen yatay tip ısı değiştiricilerin içinde bulunduğu toprak sıcaklığı tüm yıl boyunca az değişim gösterir. Tek bir hendek içine bir kaç boru yerleştirilecekse hendeklerin genişliği 0,6-0,9 m mertebesinde olmalıdır. Boruların yüzey şartından en az etkilenmesi için 0,5-2,5 m derinlikte döşenmesi gerekir. Derinlik arttıkça, ısı değiştiricisinin iyilik derecesi gerek toprak sıcaklıklarının daha uygun olması, gerekse boruların yüzey şartlarından daha az etkilenme sebebiyle artar. Fakat hafriyat masrafları da çoğalmış olur. Tek bir hendeğe bir kaç boru döşenecekse, borular arası kot farkı yaklaşık 0,3-0,5 m mertebesinde olmalıdır. Borular toprak altına döşendikten sonra, çıkarılan toprağın yerine boşaltılırken toprak yoğunluğunu artırmak için sıkıştırma tavsiye edilir (Ekinci 2007).



**Şekil 2.13.** Yatay topraklı kaynaklı ısı pompasının genel görünüşü (Ekinci 2007)

Yatay topraklı kaynaklı ısı pompası, özellikle ısıtılacak ya da soğutulacak mahal alanı küçük olan yapılarda, ev villa ve benzeri gibi yapılarda kullanılan TKIP uygulamasıdır. Bilindiği üzere dış hava sıcaklığından, toprak altındaki sıcaklık değeri kışın daha yüksek yazın ise daha düşük olmaktadır. Bunun için ısı enerji miktarı düşük uygulamalarda toprağın açılması ya da belli derinliklerde hendekler açılarak içine ısı taşıyıcı boru döşenerek kapatılması şeklinde uygulanan bu sistemin ilk maliyeti de oldukça düşüktür. Özellikle TKIP montajı ile bina inşaatı ile aynı anda olması durumunda kazı ve uygulama maliyeti yok denecek kadar az olmaktadır (Bayraktar 2015). Yatay sermeli toprak kaynaklı ısı pompalarının avantajları ve dezavantajları Çizelge 2.9’da verilmiştir.

**Çizelge 2.9.** Toprak kaynaklı ısı pompalarının ısı değiştiricisi tipine göre yararları ve sakıncaları (Lund 1988; AFCESA 1999; Babacan 2007; Arslan 2014)

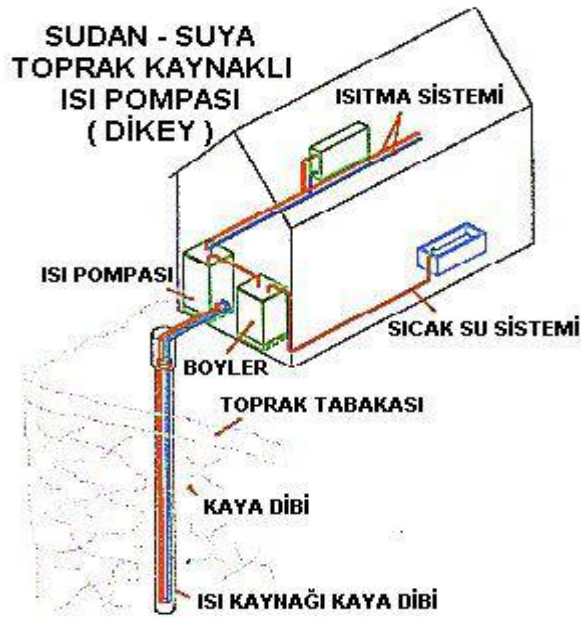
SİSTEMLER	AVANTAJLARI	DEZAVANTAJLARI
<b>Yatay Toprak Isı Değiştiricili Isı Pompası</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Enerji tüketimi düşük</li> <li>✓ İşletme giderleri orta</li> <li>✓ Performansı hava/hava sistemlerden daha iyi</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Kuru toprak, sudan daha az ısı kaynağı/ısı kuyusu</li> <li>✓ İlk yatırımı yüksek</li> <li>✓ Kaçakları bulmak ve onarmak zor</li> <li>✓ Pompalama giderleri</li> <li>✓ Çok fazla açık alan gerektirmesi</li> <li>✓ Uygulanan arazinin yapılaşma için kullanılamaması</li> </ul>
<b>Düşey Toprak Isı Değiştiricili Isı Pompası</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Enerji tüketimi düşük</li> <li>✓ İşletme giderleri orta</li> <li>✓ Performansı hava/hava sistemlerden daha iyi</li> <li>✓ Yatay sistemlere göre az yer gereksinimi</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Kuru toprak, sudan daha az ısı kaynağı/ısı kuyusu</li> <li>✓ İlk yatırımı yüksek</li> <li>✓ Kaçakları bulmak ve onarmak zor</li> <li>✓ Pompalama giderleri</li> <li>✓ Derin kuyular çukur kazmaktan çok daha pahalı</li> <li>✓ Bazı zeminlerde uygulama zorlukları</li> </ul>
<b>Yüzey Suyuna Daldırılmış Isı Pompası</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Enerji verimli</li> <li>✓ İşletme giderleri orta</li> <li>✓ İlave ısı gerekemeyebilir.</li> <li>✓ Isı kaynağı/kuyu sıcaklıklar göreceli olarak sabit</li> <li>✓ Hava kaynaklı ısı pompasında olduğu gibi</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Uygun su yerleri (göl, havuz gibi) sınırlı</li> <li>✓ Sistemin tıkanması, kirlenme, kabuklanma veya korozyon</li> <li>✓ Akıntı veya dalga etkisi, cihaza zarar verebilir.</li> <li>✓ İlk yatırımı yüksek</li> <li>✓ Pompalama gideri</li> </ul>

## 2. Düşey toprak ısı değiştiricili ısı pompası

Sondaj makineleri ile açılan kuyulara borular dikey olarak sarkıtılır (Şekil 2.14). Kuyu derinliği, kullanılan ekipmanlara göre 15 m ile 200 m arasında değişir. Büyük toprak alanına ihtiyaç yoktur. Derinlerde toprak sıcaklığı daha stabildir. Bu nedenle daha verimlidir. Ancak ilk yatırım maliyeti fazladır. Düşey boru delikleri 3-4,5 m uzaklıkla açılmalıdır. Isı değiştiricileri, yerleştirme şekilleri kesit geometrilerine göre U tüp, bölünmüş tüp ve eş eksenli tüp olarak sınıflandırılabilir (Şekil 2.15). U tüp ısı değiştiricilerinin dizayn boru çapları 3/4"-2" arasındadır. Basınç düşmesi ve ısı performansına göre boru uzunluğu 15-180 m arası değişir. Isı pompası kapasitesinin tonu başına yaklaşık 37,5-45 m derinlikte delikler delinir. U şeklindeki boru çevrimi kuyu içine bırakılır ve etrafı dolgu malzemesi denilen (grout) malzemeyle doldurulur. Yaklaşık olarak toplam sistemin ısı iletkenliğini %20 iyileştirmek için %40-50 arasında

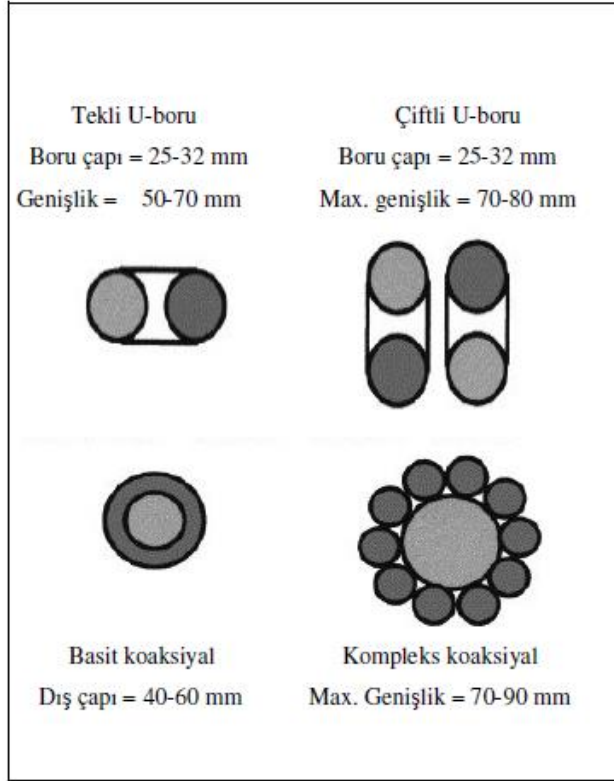
kum yüksek katkılı bir şekilde konulabilir. Bölünmüş tip ısı değiştiricileri PVC'den, boruyu iki kısıma ayıran ara bölme ise polietilenden imal edilmektedir. Üst kısmı bir ventil konularak hava çıkışı da sağlanmış olur. Eş eksenli ısı değiştiricileri daha geniş çaplıdırlar ve daha fazla su hacmine sahiptirler (Ekinci 2007).

Dikey toprak ısı değiştiricilerin yatay toprak ısı değiştiricilere göre temel avantajı çok daha küçük bir alana yerleştirilmeleridir. Bu sayede çevresinde kısıtlı toprak alanı bulunan yapılar için yatay sistemlere göre daha fazla uygulanabilirliğe sahiptirler (Bayraktar 2015). Düşey toprak ısı değiştiricili ısı pompalarının avantajları ve dezavantajları Çizelge 2.9'da verilmiştir.



Şekil 2.14. Dikey toprak serpantinli ısı pompası (Ekinci 2007)





Şekil 2.15. Değişik düşey toprak ısı değiştiricisi tipleri (Babacan 2007)

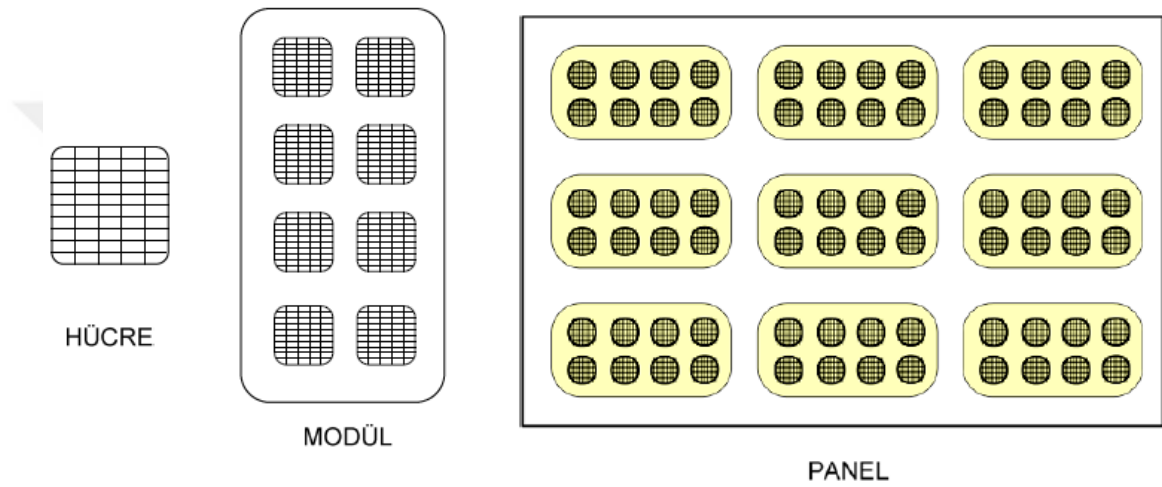
## 2.5.2.b. Fotovoltaik enerji sistemleri

### 1. Fotovoltaik hücreler (güneş pilleri)

Fotovoltaik hücreler (güneş pilleri), yüzeylerine gelen güneş ışığını doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren yarıiletken maddelerdir. Yüzeyleri kare, dikdörtgen, daire şeklinde biçimlendirilen güneş hücreleri alanları genellikle 100 cm<sup>2</sup> civarında, kalınlıkları ise 0,1- 0,4 mm arasındadır. Güneş hücreleri fotovoltaik ilkeye dayalı olarak çalışırlar, yani üzerlerine ışık düştüğü zaman uçlarında elektrik gerilimi oluşur. Hücrenin verdiği elektrik enerjisinin kaynağı, yüzeyine gelen güneş enerjisidir (YEGM 2017).

Güneş enerjisi, güneş hücresinin yapısına bağlı olarak %5 ile %30 arasında bir verimle elektrik enerjisine çevrilebilir. Tipik olarak bir PV hücre 25-30 cm<sup>2</sup> lik kare bir alana

sahip olup, yaklaşık 1W'lık güç üretir. Yüksek güçler elde edebilmek için birçok PV hücre seri ve paralel olarak bağlanır ve büyük bir alana sahip bir modül elde edilir (Şekil 2.16). Bir PV güneş paneli ise ihtiyaç olan akım ve gerilimi üretecek şekilde modüllerin seri-paralel kombinasyonlarını içerir. Güç talebine bağlı olarak modüllerin birbirlerine seri ya da paralel bağlanmasıyla oluşturulan panellerden birkaç Watt'tan MEGA Watt'lara kadar sistem oluşturulabilir (YEGM 2017, AES 2015).



**Şekil 2.16.** Fotovoltaik hücre, modül ve panel (AES 2015)

Yarı iletken malzemelerin fotovoltaik hücre olarak kullanılabilmesi için n ya da p tipi katkılanmalar gerekir. Katkılanma, saf yarı-iletken eriyik içerisine istenilen katkı maddelerinin kontrollü olarak eklenmesiyle yapılır. Elde edilen yarı-iletkenin n ya da p tipi olması katkı maddesine bağlıdır. Fotovoltaik hücreler pek çok farklı maddeden yararlanarak üretilebilir. Günümüzde en çok kullanılan maddeler Kristal Silisyum, Galyum Arsenit (GaAs), Amorf Silisyum, Kadmiyum Tellürid (CdTe) ve Bakır İndiyum Diselenid (CuInSe<sub>2</sub>)'dur. Bu hücrelerin karakteristik özellikleri Çizelge 2.10'da verilmiştir. Ayrıca gelen ışığı 10-500 kat oranlarda yoğunlaştıran mercekli veya yansıtıcı araçlarla modül verimi %20'nin, hücre verimi ise %30'un üzerine çıkılabilmektedir. Bunlara Optik Yoğunlaştırıcı Hücreler adı verilmektedir. Yoğunlaştırıcılar basit ve ucuz plastik malzemeden veya camdan yapılmaktadır. Ticari ortama girmiş olan geleneksel Si güneş hücrelerinin yerini alabilecek verimleri aynı ama üretim teknolojileri daha kolay ve daha ucuz olan güneş hücreleri üzerinde de son

yıllarda çalışmalar yoğunlaştırılmıştır. Bunlar; fotoelektrokimyasal çok kristalli Titanyum Dioksit hücreler, polimer yapılı Plastik hücreler ve güneş spektrumunun çeşitli dalga boylarına uyum sağlayacak şekilde üretilen enerji bant aralığına sahip Kuantum güneş hücreleri gibi yeni teknolojilerdir (YEGM 2017; AES 2015; Karakan ve Oğuz 2015).

**Çizelge 2.10.** Fotovoltaik hücrelerin üretildiği maddeler ve karakteristikleri (YEGM 2017)

	<b>Madde</b>	<b>Verimi</b>	<b>Karakteristikleri</b>
<b>1</b>	Kristal Silisyum	Tek kristal: % 15-24 Çok kristal: % 14-18	Tek çok ve çok kristal olmak üzere iki tipi bulunmaktadır.
<b>2</b>	Galyum Arsenit (GaAs)	%25-30	Uzay uygulamalarında ve optik yoğunlaştırıcı sistemlerde kullanılmaktadır.
<b>3</b>	Amorf Silisyum	%5-10	Kristal yapı özelliği göstermez. Küçük elektronik cihazlarda, direkt güneş ışınımı az olan bölgelerde santral uygulamalarında, binalara entegre yarısaydam cam yüzeylerde bina dış koruyucusu ve enerji üretici olarak kullanılmaktadır.
<b>4</b>	Kadmiyum Tellürid (CdTe)	%7-16	Çok kristalli bir yapıdadır.
<b>5</b>	Bakır İndiyum Diselenid (CuInSe <sub>2</sub> )	%10-18	Çok kristalli bir yapıdadır.

## 2. Fotovoltaik sistemler

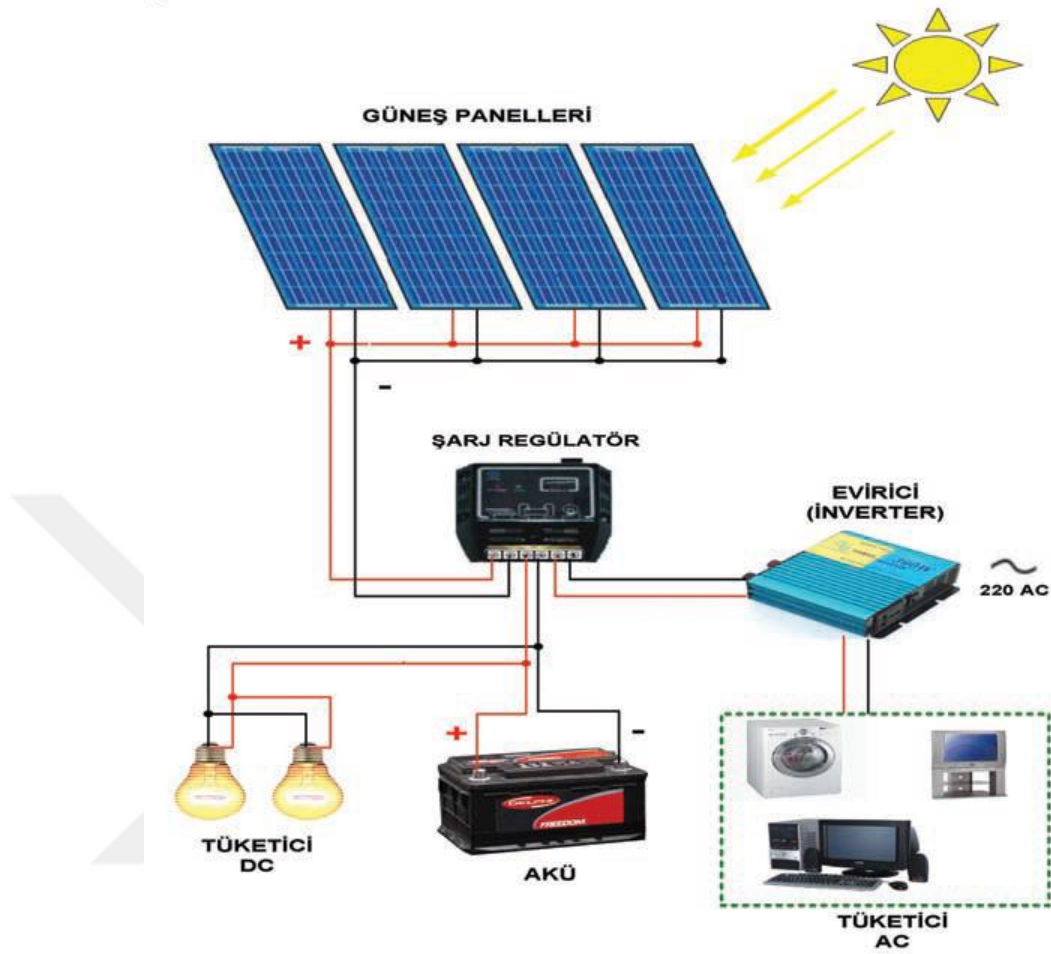
Fotovoltaik modüller (güneş pili modülleri) uygulamaya bağlı olarak, akümülatörler, eviriciler (invertörler), akü şarj denetim aygıtları ve çeşitli elektronik destek devreleri ile birlikte kullanılarak bir fotovoltaik sistemi oluştururlar (Şekil 2.17). Bu sistemlerde yeterli sayıda güneş pili modülü, enerji kaynağı olarak kullanılır. Güneşin yetersiz olduğu zamanlarda ya da özellikle gece süresince kullanılmak üzere genellikle sistemde akümülatör bulundurulur. Fotovoltaik modüller gün boyunca elektrik enerjisi üreterek

bunu akümülatörde depolar ve yüke gerekli olan enerji akümülatörden alınır. Akünün aşırı şarj ve deşarj olarak zarar görmesini engellemek için kullanılan denetim birimi (şarj regülatör) ise akünün durumuna göre, ya güneş pillerinden gelen akımı ya da yükün çektiği akımı keser. Şebeke uyumlu alternatif akım elektriğinin gerekli olduğu uygulamalarda, sisteme bir evirici (invertör) eklenerek akümülatördeki DC gerilim, 220 V-50 Hz'lik sinüs dalgasına dönüştürülür. Benzer şekilde, uygulamanın şekline göre çeşitli elektronik devreler sisteme entegre edilebilir. Bazı sistemlerde, güneş pillerinin maksimum güç noktasında çalışmasını sağlayan maksimum güç noktası izleyici cihazı bulunur (Köroğlu vd 2010).

Fotovoltaik modüller, bir yapı bileşeni olarak yapılarda farklı bölümlerde ve farklı şekillerde kullanılabilirler. İlk etapta kullanımları çatıda, cephede ve farklı yapı bölümlerinde (giriş saçağı, parapet, korkuluk, vb) olmak üzere üçe ayrılabilir (Çizelge 2.11). Ayrıca bu bileşenlerin,

- ✓ Modüler panel şeklinde çerçeveler halinde hazır eleman olarak,
- ✓ Mimarın tasarımına göre hazırlanmış, 2 cam tabaka arasında lamine olarak,
- ✓ İnce metal levha çatı kaplama malzemesinin üzerine monte edilmiş olarak,
- ✓ Hazır shingle tabaka şeklinde,

kullanımları mümkündür. Fotovoltaik malzemenin mimari açıdan en önemli özelliği, binaları enerji tüketen yapılardan enerji üreten yapılara dönüştürmüş olmasıdır (Altın 2003, Altın 2004). PV bileşenler mimaride gölgeleme elemanı olarak kullanıldığında, binanın istenmeyen enerji kazanımını azaltırken, aynı zamanda da bu istenmeyen enerjiyi kullanıp binanın ihtiyacı olan elektrik enerjisine dönüştürerek binanın enerji ihtiyacını azaltmaktadır. Böylelikle hem ülke ekonomisine de önemli bir katkıda bulunmakta, hem de fosil yakıt kullanımını önemli ölçüde azaltarak çevreye verilen zararı da yine önemli ölçüde azaltmaktadır (Altın 2006).



**Şekil 2.17.** Güneş panel sistemini oluşturan temel donanımlar (Koroğlu vd 2010)

**Çizelge 2.11.** Fotovoltaik bileşenlerin yapıda kullanım şekilleri (Altın 2004)

ÇATIDA	CEPHEDE	FARKLI YAPI BÖLÜMLERİNDE
1- Çatı örtüsü üzerine ek bir strüktür ile	1- Kaplama malzemesi olarak (duvar önüne)	1- Giriş Saçağı
2- Çatı örtüsü olarak (Shingle gibi)	2- Giydirme cephe şeklinde	2- Parapet
		3- Güneş Kırıcılar

Fotovoltaik malzemenin elektriği maksimum verimlilikte üretebilmesi için güneş ışınlarını dik alması gerekmektedir. Bunun için panellerin eğim açısı önemlidir. Genellikle bulunulan enlemin derecesi bu eğim için en uygun açıdır. Bunun yanı sıra

yönlenme açısı da önemlidir. Kuzey yarımkürede verimin mümkün olduğunca yüksek olması için panellerin güneye yönlendirilmesi gerekmektedir. PV modüllerinin verimini maksimumda tutabilmek için en uygun açı genelde çatıda elde edilebildiğinden bunların kullanımı ilk zamanlarda daha çok çatıda olmuştur. En uygun açının cephede elde edilmesi daha zor gerçekleşmektedir (Altın 2004).

Fotovoltaik paneller üzerlerine düşen güneş ışınımının sınırlı bir bölümünü (%10-15) elektrik enerjisine dönüştürebilirler. Elektrik enerjisine dönüştürülemeyen ışınım, panelin ısınmasına ve bu da verim kaybına neden olur. Yaklaşık olarak paneldeki her 1°C'lik artış, verimi %0,4-0,5 arasında düşürür. Fotovoltaik termal (PV-T) sistemlerde atık ısı modülden uzaklaştırılarak, su ya da mekân ısıtma amaçlı kullanılabilir. Böylece tek bir modül ile hem elektrik hem de ısı üretilebilmekte ve verim kaybı önlenmektedir.

Fotovoltaik teknolojinin avantajları şu şekilde özetlenebilir (AES 2015):

- a) Kullanılacak enerji kaynağı sonsuz ve bedavadır.
- b) Sistemi yıpratıcı veya sistemin bozulmasına neden olacak hareket eden parçalar yoktur.
- c) Sistemi çalışır halde tutmak için çok düşük düzeyde bakım gerekir.
- d) Sistemler modülerdir ve her yere kolayca monte edilebilir.
- e) Çalışırken gürültü, zararlı emisyonlar ve kirlenici gazlar açığa çıkarmaz.

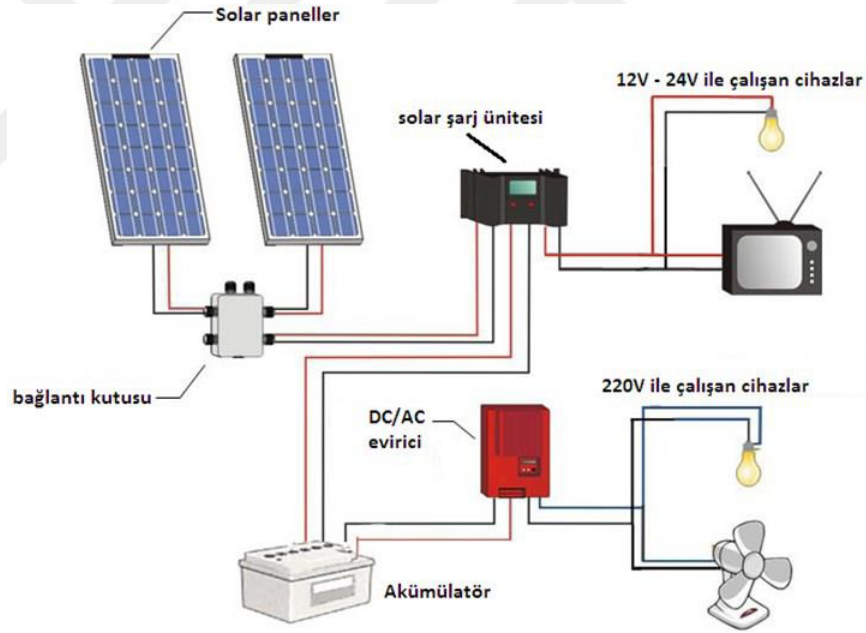
Fotovoltaik teknolojinin dezavantajları ise şu şekildedir (AES 2015):

- a) Enerji kaynağı dağınık durumda ve sabit değildir.
- b) Ekonomik enerji depolama sistemleri yoktur.
- c) Kurulum maliyeti yüksektir.

Fotovoltaik sistemler genel olarak iki tip şebekeden bağımsız (off grid) ve şebeke bağlantılı (on grid) şeklinde yapılırlar.

## 1. Şebekeden bağımsız (Off Grid) sistemler

Şebekeden bağımsız (off grid) sistemler su kuyuları, bahçe aydınlatması, dağ evleri gibi şebekenin bulunmadığı yerlerde tercih edilirler. Şekil 2.18’de şebekeden bağımsız bir sisteme ait blok diyagramı gösterilmektedir. Solar şarj ünitesi PV panellerden gelen elektrik akımını akülere ve panellere zarar vermeyecek şekilde düzenleyerek akünün şarj edilmesini sağlar. Aynı zamanda doğrudan panelin ürettiği voltajla çalışabilecek cihazlar için bir gerilim köprüsü oluşturur. Sonraki aşamada şarj ünitesi tarafından doldurulan akümülatördeki gerilim evirici tarafından 220V AC gerilime dönüştürülerek bu voltaj ile çalışacak cihazlar beslenir. Bu sistemin en büyük avantajı gündüz depo edilen elektriğin akü kapasitesine bağlı olarak gece de kullanılabilmesidir.



**Şekil 2.18.** Şebekeden bağımsız (off grid) sistemleri (AES 2015)

Şebekeden bağımsız sistemlerin avantajları şöyle özetlenebilir (Keskin vd 2011):

- Şebekenin olmaması halinde ekonomik çözümler. Şebeke bağlantısının tesisi çok pahalıdır. Yakıt maliyeti yoktur.

- b) Küçük uygulamalarda kullanılabilir. Sinyalizasyon sistemleri, Park makineleri, Uzaktan bilgi sistemleri (otoyol tabelaları) vb.
- c) Kurulumda nitelikli fakat az sayıda personel yeterlidir. Normal şartlarda, bir eğitilmiş uzman şebekeden ayrık sistem kurabilir.
- d) Sistemler enerji ihtiyacına göre artırılabilir. Sistemler aşama aşama kurulabilir, bu sayede esnek kurulum maliyetleri vardır.

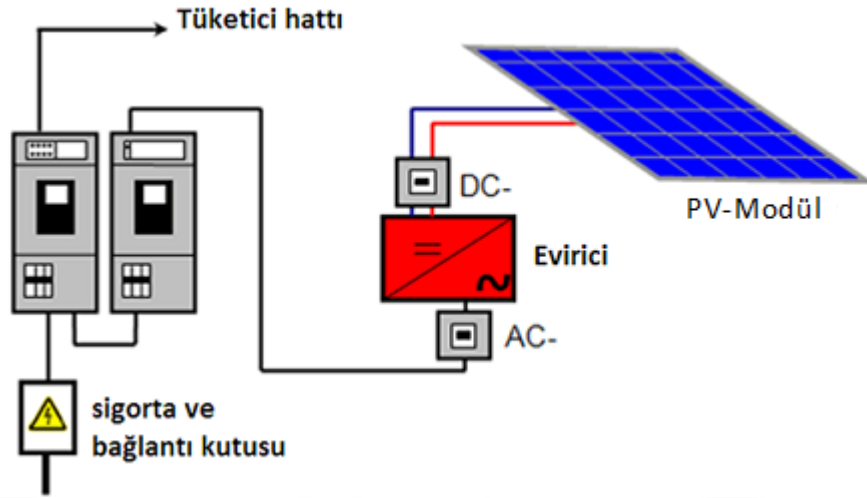
## 2. Şebeke bağlantılı (On Grid) sistemler

Şebeke bağlantılı (on grid) sistemler, şebekeye bağlı olan ve şebekeyi besleyebilen sistemlerdir. Kullanım alanları çatılar, boş veya atıl arazilerdir. Bu sistemlerde sistemin uzaktan kontrol edilip gerekirse merkezden kapatılmasını sağlayan uzaktan kontrol üniteleri bulunmaktadır. Bu sayede şebekeye fazla enerji verildiği durumlarda merkezden kontrol ile bazı üniteler devre dışı bırakılabilir. Şekil 2.19'da standart bir şebeke bağlantılı sistem yapısı, Şekil 2.20'de ise şebeke bağlantılı (on grid) sisteme sahip bir konut görülmektedir. PV panellerden alınan DC gerilim evirici yardımı ile AC gerilime evirildikten sonra üretilen voltaj çift yönlü sayaca girilir ve tüketicinin kullanımına sunulur. Sağ tarafta görülen sayaç tüketicinin ürettiği gücü ölçerken sol tarafta olan ise şebekeden satın alınan gücü ölçer. Bu sayede tüketicinin ürettiği elektrik ile sistem beslenirken fazla üretilen elektrik de şebekeye satılmaktadır (AES 2015).

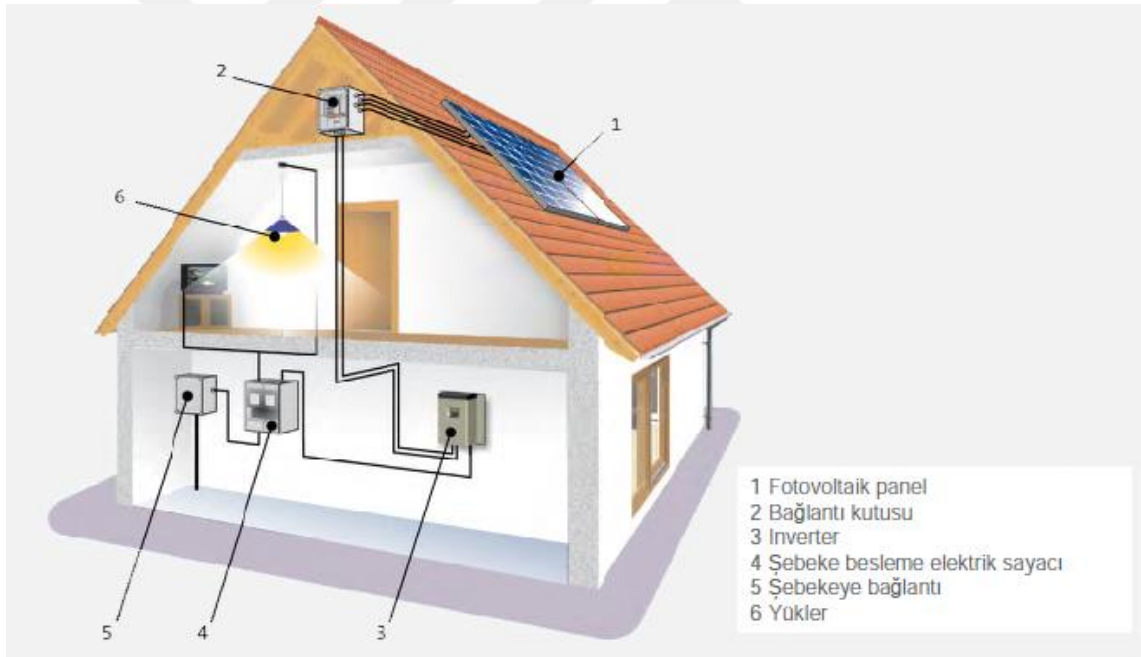
Şebeke bağlantılı sistemlerin avantajları şöyle özetlenebilir (Keskin vd 2011):

- a) Elektrik üretildiği yerde tüketilmektedir.
- b) Şebeke iletim kayıpları ve yüklenmesi azaltılmış olur.
- c) Farklı ölçeklerde kurulum esnekliği vardır.
- d) Şebekeden bağımsız sistemlere göre yüksek verimlidirler.
- e) Ekonomik yönden şebekeden bağımsız sistemlere göre daha uygundur.





Şekil 2.19. Şebeke bağlantılı (on grid) sistemler (AES 2015)



Şekil 2.20. Şebeke bağlantılı (on grid) sisteme sahip bir konut (Keskin vd 2011)

Şebeke bağlantılı bir PV sistem büyük ölçüde aşağıdaki faktörler tarafından belirlenir:

- Maksimum yatırım miktarı
- Mevcut yüzey alanı
- Yıllık belirlenen üretilecek kWh enerji miktarı

Şebeke bağlantılı sistemler ile şebekeden ayrı sistemlerin karşılaştırması Çizelge 2.12’de verilmiştir.

**Çizelge 2.12.** Şebekeden bağımsız sistemler ile şebeke bağlantılı sistemlerin karşılaştırması (Keskin vd 2011)

<b>ŞEBEKEDEN BAĞIMSIZ</b>	<b>ŞEBEKE BAĞLANTILI</b>
Limitli elektrik miktarı	Limitsiz enerji sunumu
Esnek olmayan besleme	Elektrik tüketiminden bağımsız
Enerjiyi depolama	Tamamen esnek
Taşınılabilir sistemler	Kullanıcıdan bağımsız

### **3. MATERYAL ve YÖNTEM**

#### **3.1. Erzurum Hava Limanı**

##### **3.1.1. Genel bilgi**

Erzurum Havalimanı "Devlet Hava Yolları" adıyla 1947 yılında şehir merkezinin 8 km batısında 1500x20 m boyutunda ve 100 m<sup>2</sup> Terminal Binası ile Uçuş Kulesiyle Doğu Anadolu Bölgesine hizmete başlamış ve 21 Mayıs 1955'te Türk Hava Yolları Anonim Ortaklığının kurulmasının ardından 1956 yılında, Hava Meydan İşletmeciliği, Yer Hizmetleri, Seyrüsefer Hava Trafik ve Muhabere Hizmetlerini yürütmek üzere kurulan Devlet Hava Meydanları İşletmesi (DHMI) Genel Müdürlüğüne devredilmiştir.

Erzurum Havalimanı, pist ve alt yapı tesislerinin 1966 yılında tamamlanmasının ardından Türk Hava Kuvvetleri Komutanlığı ve Devlet Hava Meydanları İşletmesi Genel Müdürlüğü arasında akdedilen bir protokol neticesinde Sivil-Askeri kategoride hizmete verilmiş ve aynı yıl içerisinde temeli atılan ve 1968 yılında tamamlanan 300.000 yolcu/yıl kapasiteli yeni terminal binasında hizmete devam etmiştir. Erzurum Havalimanı, bugün kullanılan ve bu teze konu olan Terminal Binası, Apron ile Destek Binaları 02.12.2005 tarihi itibarıyla hizmete açılmış olup 24 saat hizmet vermeye devam etmektedir (DHMI 2016).

Erzurum Havalimanı 39°57'19"N, 41°10'09"E coğrafi koordinatlarında bulunmakta olup şehir merkezine uzaklığı 13 km'dir. Toplam terminal binası büyüklüğü 12.950 m<sup>2</sup> olup iç hatlar terminali ve dış hatlar terminalinde hizmet vermektedir (Şekil 3.1). 650 araçlık otopark alanına sahiptir. Şekil 3.2 Erzurum Havalimanının Google Earth'den görünümünü vermektedir.

Erzurum Havalimanında terminal binası, oto garajı, teknik-idari blok, VIP binası, kazayangın binası ve ısı merkezi bulunmaktadır. Erzurum Havalimanı terminal binası zemin

ve asma kat olmak üzere iki kattan oluşmaktadır. Terminal binası içinde apron büro, check-in salonu, iç-dış hatlar bagaj alım salonları, iç-dış hatlar gelen bagaj salonu, iç-dış hatlar gelen yolcu, iç-dış hatlar giden yolcu ve karşılayıcılar holleri, bürolar, WC'ler, CIP salonu, kafeterya, restoran, personel mutfağı vb. mahaller bulunmaktadır.



Şekil 3.1. Erzurum Havalimanı terminal binası



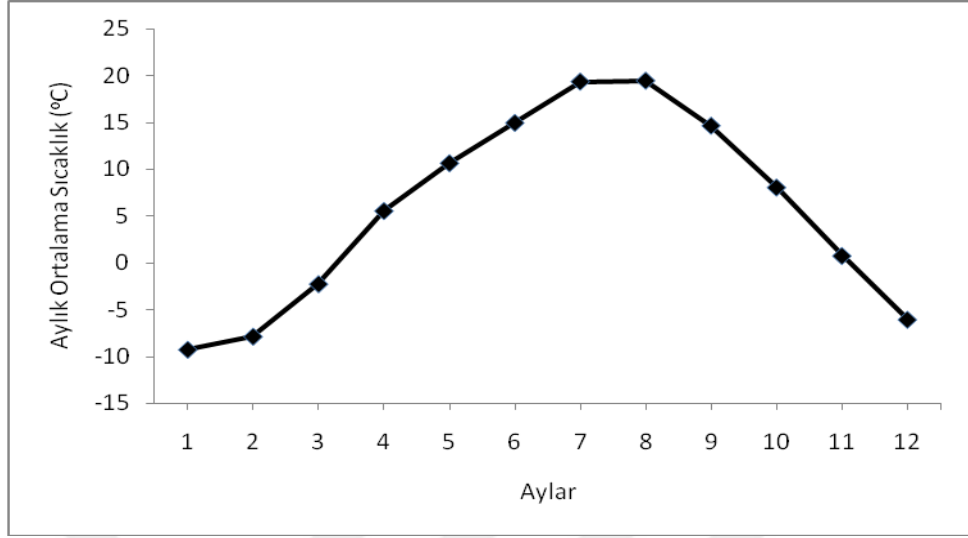
Şekil 3.2. Erzurum Havalimanının Google Earth'den görünümü

Erzurum Havalimanı Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü tarafından başlatılan “Yeşil Havalimanı (Green Airport) Projesi” kapsamında istenen koşulları yerine getirdiği için 2015 yılında “Yeşil Kuruluş” unvanını almaya hak kazanmıştır. Erzurum Havalimanı, TS EN ISO 14001 Çevre Yönetim Sistemi Belgelendirmesi işleminin gereklilikleri ile birlikte sera gazı kriterleri dökümanı ve Yeşil Havalimanı Projesi Sektörel Kriterler Dökümanında bulunan atık suların yönetimi, buzlanmayı giderici/önleyici faaliyetlerden kaynaklanabilecek çevre boyutlarının yönetimi, atıkların yönetimi, hava kirliliğinin yönetimi (kapalı ortamlarda fosil yakıtlı araç yerine elektrikli araç kullanımı, yakma tesislerinin yıllık bakımı vb.), çevresel gürültünün yönetimi, yağmur sularının yönetimi ve toprak kirliliğinin önlenmesi (su-yağ ayırıcısı kurulması gibi tedbirler, buzlanmayı önleyici giderici sıvıların çevre dostu olması), yakıt sızıntılarının önlenmesi ve müdahale gibi kriterleri de sağlayarak bu ünvanı almıştır.

### **3.1.2. İklimsel koşullar**

Erzurum ilinin arazisinin büyük çoğunluğunda, karasal iklim özellikleri egemendir. İl topraklarının kuzey kesimlerinde, yüksekliği yaklaşık 1000 ila 1500 metrelere inen vadi içleriyle çukur sahalarda iklim, büyük ölçüde sertliğini yitirir. Erzurum il merkezindeki meteoroloji istasyonunda 1929’dan bu yana gözlem yapılmaktadır. Yaklaşık 70 yılı bulan gözlem sonuçlarına göre, ilde en soğuk ay ortalaması  $-8.6^{\circ}\text{C}$ , en sıcak ay ortalaması  $19.6^{\circ}\text{C}$ , en düşük sıcaklık  $-35^{\circ}\text{C}$  ve en yüksek sıcaklık ise  $35^{\circ}\text{C}$  olarak ölçülmüştür. Yıllık yağış tutarı 453 mm kadardır. En az yağış kış devresinde düşer. Bu devrenin yağışları kar biçiminde olup, kar yağışlı gün sayısı 50 ve kar örtüsünün yerde kalış süresi ise 114 gün kadardır. En yağışlı devre ilkbahar ve yaz mevsimleridir (Bakırcı vd 2006). Şekil 3.3’de Erzurum ili için uzun yıllar içinde gerçekleşen (1950-2015) aylık ortalama hava sıcaklığı değerleri gösterilmiştir.

Erzurum Havalimanı terminal binası simülasyonu EnergyPlus ile gerçekleştirilmiştir. EnergyPlus, simülasyonu gerçekleştirebilmek için ASHRAE tarafından üretilen ve iklimsel verilen tamamının kayıtlı olduğu IWEC (International Weather for Energy Calculations) verilerini kullanmaktadır.



**Şekil 3.3.** Erzurum için aylık ortalama dış ortam sıcaklıkları (MGM 2016)

IWEC verileri Amerika Birleşik Devletleri İklim Veri Merkezi'nde arşivlenen genelde 18 senelik DATSAV3 verilerinden elde edilmektedir. Bu veriler dünya ve güneşin geometrisinden saatlik güneş ışınımı tahminleri ve bulutluluk oranı gibi saatlik iklim elemanları bilgilerinden üretilmektedir (Crawley *et al* 2001; Tıkrır 2009).

Bu veriler İstanbul, Ankara ve İzmir için EnergyPlus tarafından indirilebilmektedir. EnergyPlus'ın resmi internet sayfasında iklimsel veri bilgileri bulunmayan iller için iklimsel verilerin temin edilme yöntemleri kullanılarak Erzurum için ihtiyaç duyulan IWEC veri dosyası temin edilmiş ve simülasyon gerçekleştirilmiştir.

### 3.1.3. Bina dış cephe özellikleri

Erzurum Havalimanı terminal binasının dış cephesi alüminyum giydirme cephe, granit giydirme cephe, spandrel panel giydirme cephe kaplamasından, çatısı ise alüminyum çatı örtüsü kaplamasından oluşmaktadır. Terminal binası dış cephe yapı detayları Çizelge 3.1'de gösterilmektedir.

**Çizelge 3.1.** Terminal binası dış cephe yapı detayları

Çatı	Alüminyum Panel Kaplama Dış Duvar	Granit Kaplama Dış Duvar	Pencereler
Alüminyum Çatı Örtüsü: 4 mm	Alüminyum Levha: 2,5 mm	Granit Cephe Kaplaması: 2 cm	6 mm Temperli Cam
Taş Yünü: 12 cm	Hava Kesici (Kraft Kâğıdı): 0,6 mm	Hava Kesici (Kraft Kâğıdı): 0,6 mm	14 mm Hava
Polietilen Buhar Kesici: 0,5 mm	XPS: 10cm	XPS: 10cm	6 mm Lamine Cam
Cam Yünü (Altı Camtülü Kaplı): 3 cm	Polietilen Buhar Kesici: 0,5 mm	Polietilen Buhar Kesici: 0,5 mm	
Çelik Trapez: 0,5 mm	Alçı Duvar Levha: 1,25 cm	Alçı Duvar Levha: 1,25 cm	

#### 3.1.4. HVAC sistemi

Erzurum Havalimanı terminal binasında HVAC sistemleriyle hem ısıtma hem de soğutma yapılmaktadır. Erzurum Havalimanı terminal binasında bulunan HVAC sistem ekipmanlarının cinsi, kapasitesi ve adetleri Çizelge 3.2’de, HVAC sistemlerinin akış diyagramları ise Şekil 3.4’de gösterilmiştir.

Erzurum Havalimanı terminal binasında soğutma, merkezi hava soğutmalı kondenserli su soğutma grubu, karışım havalı klima santralleri ve fan-coil üniteleri ile sağlanmaktadır. Karışım havalı klima santralleri ile sabit hava debili sistem kullanılmaktadır. Fan-coil’ler ise özel kasetli döşeme tipi ve özel gizli tavan tipi olmak üzere iki çeşittir. Merkezi hava soğutmalı su grubuyla terminal binasının yanı sıra VIP binası da soğutulmaktadır. Terminal binası soğutma yükü 1.211.800 kcal/h iken VIP binası soğutma yükü 67.000 kcal/h’dir. Terminal binasının toplam soğutma yükü içindeki payı yaklaşık %95’dir. Şekil 3.5 terminal binasında kullanılan soğutma sistemi HVAC ekipmanlarını göstermektedir.

**Çizelge 3.2.** Terminal binası HVAC sistem ekipmanları

Sıra No	HVAC Ekipmanının Cinsi	Kapasitesi	Adedi
1	Sıcak Su Kazanı	1.500.000 kcal/h, 5 Atü	3
2	Hava Soğutmalı Kondenserli Su Soğutma Grubu (Vidalı Kompresörlü)	935.000 kcal/h	2
3	Check-In Salonu Klima Santrali (%28 Taze Havalı)	Vantilatör: 46.000 m <sup>3</sup> /h, Aspiratör: 35.000 m <sup>3</sup> /h, Isıtıcı: 340.000 kcal/h, Soğutucu: 200.000 kcal/h	2
4	İç Hatlar Bagaj Alım Salonu Klima Santrali (%33 Taze Havalı)	Vantilatör: 24.000 m <sup>3</sup> /h, Aspiratör: 21.000 m <sup>3</sup> /h, Isıtıcı: 145.000 kcal/h, Soğutucu: 100.000 kcal/h	1
5	İç Hatlar Giden Yolcu Salonu Klima Santrali (%33 Taze Havalı)	Vantilatör: 16.000 m <sup>3</sup> /h, Aspiratör: 16.000 m <sup>3</sup> /h, Isıtıcı: 110.000 kcal/h, Soğutucu: 70.000 kcal/h	1
6	Dış Hatlar Giden Yolcu Salonu Klima Santrali (%33 Taze Havalı)	Vantilatör: 16.000 m <sup>3</sup> /h, Aspiratör: 16.000 m <sup>3</sup> /h, Isıtıcı: 110.000 kcal/h, Soğutucu: 75.000 kcal/h	1
7	Dış Hatlar Bagaj Alım Salonu Klima Santrali (%33 Taze Havalı)	Vantilatör: 24.000 m <sup>3</sup> /h, Aspiratör: 21.000 m <sup>3</sup> /h, Isıtıcı: 160.000 kcal/h, Soğutucu: 100.000 kcal/h	1
8	Restoran ve Oturma Alanı Klima Santrali (%33 Taze Havalı)	Vantilatör: 20.000 m <sup>3</sup> /h, Aspiratör: 18.000 m <sup>3</sup> /h, Isıtıcı: 145.000 kcal/h, Soğutucu: 90.000 kcal/h	1
9	Personel Mutfak Kafeterya Klima Santrali (%33 Taze Havalı)	Vantilatör: 9.000 m <sup>3</sup> /h, Aspiratör: 7.000 m <sup>3</sup> /h, Isıtıcı: 65.000 kcal/h, Soğutucu: 45.000 kcal/h	1
10	Ofisler Primer Santrali-1 (%100 Taze Havalı)	Vantilatör: 5.500 m <sup>3</sup> /h, Isıtıcı: 80.000 kcal/h, Soğutucu: 40.000 kcal/h	1
11	Ofisler Primer Santrali-2 (%100 Taze Havalı)	Vantilatör: 9.000 m <sup>3</sup> /h, Isıtıcı: 125.000 kcal/h, Soğutucu: 65.000 kcal/h	1
12	Ofisler Egzoz Aspiratörü (Radyal Fanlı)	5.500 m <sup>3</sup> /h, 32 mmSS	1
13	Ofisler Egzoz Aspiratörü (Radyal Fanlı)	4.500 m <sup>3</sup> /h, 34 mmSS	1
14	Check-In Salonu Egzoz Aspiratörü (Radyal Fanlı)	10.000 m <sup>3</sup> /h, 20 mmSS	2
15	WC Egzoz Aspiratörü (Radyal Fanlı)	3.050 m <sup>3</sup> /h, 20 mmSS	1
16	WC Egzoz Aspiratörü (Radyal Fanlı)	2.700 m <sup>3</sup> /h, 19 mmSS	1
17	WC Egzoz Aspiratörü (Radyal Fanlı)	1.300 m <sup>3</sup> /h, 19 mmSS	1
18	WC Egzoz Aspiratörü (Radyal Fanlı)	1.650 m <sup>3</sup> /h, 17 mmSS	1
19	Servis Egzoz Aspiratörü (Radyal Fanlı)	600 m <sup>3</sup> /h, 16 mmSS	1
20	WC Egzoz Aspiratörü (Radyal Fanlı)	2.700 m <sup>3</sup> /h, 20 mmSS	1

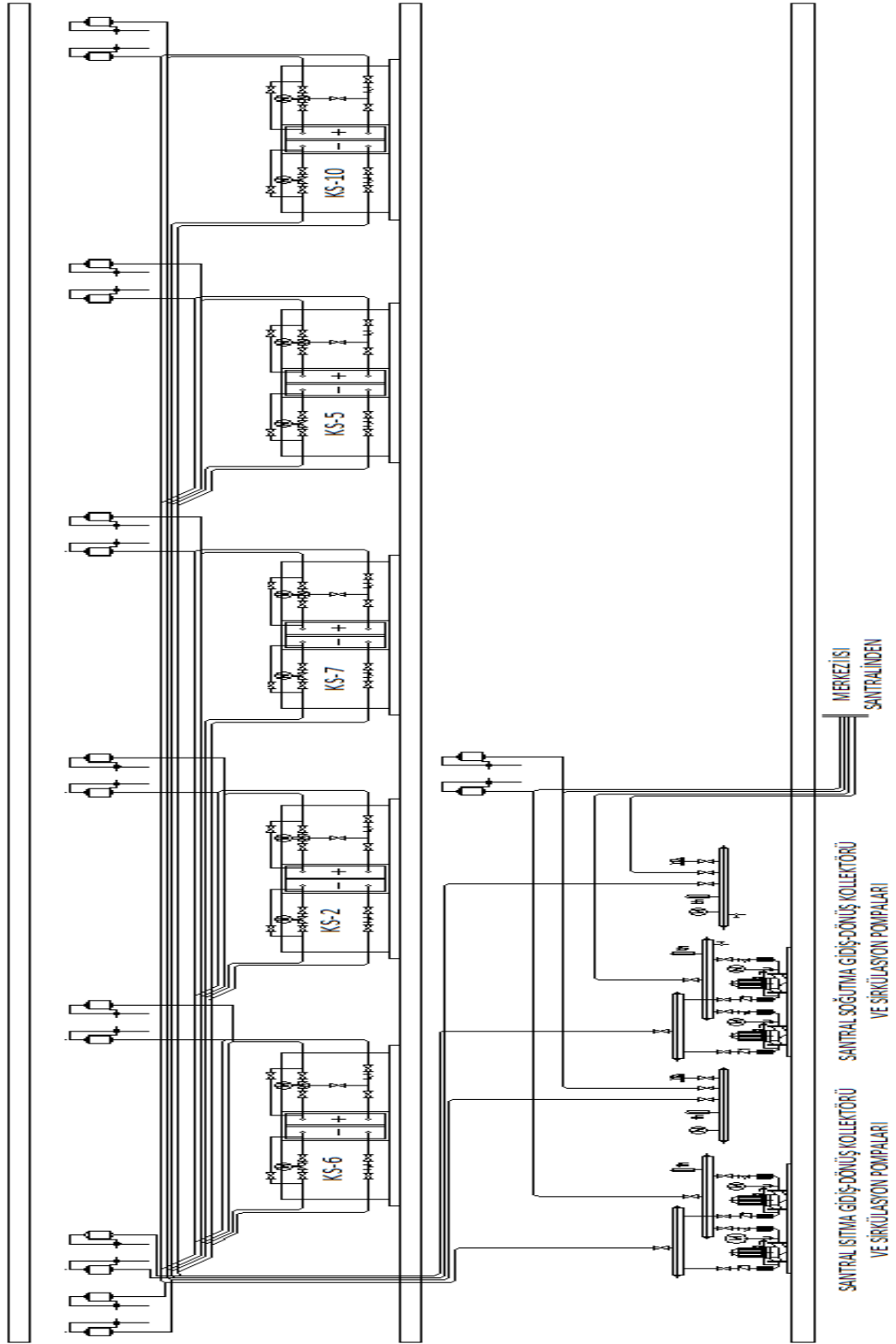


Çizelge 3.2. (devam)

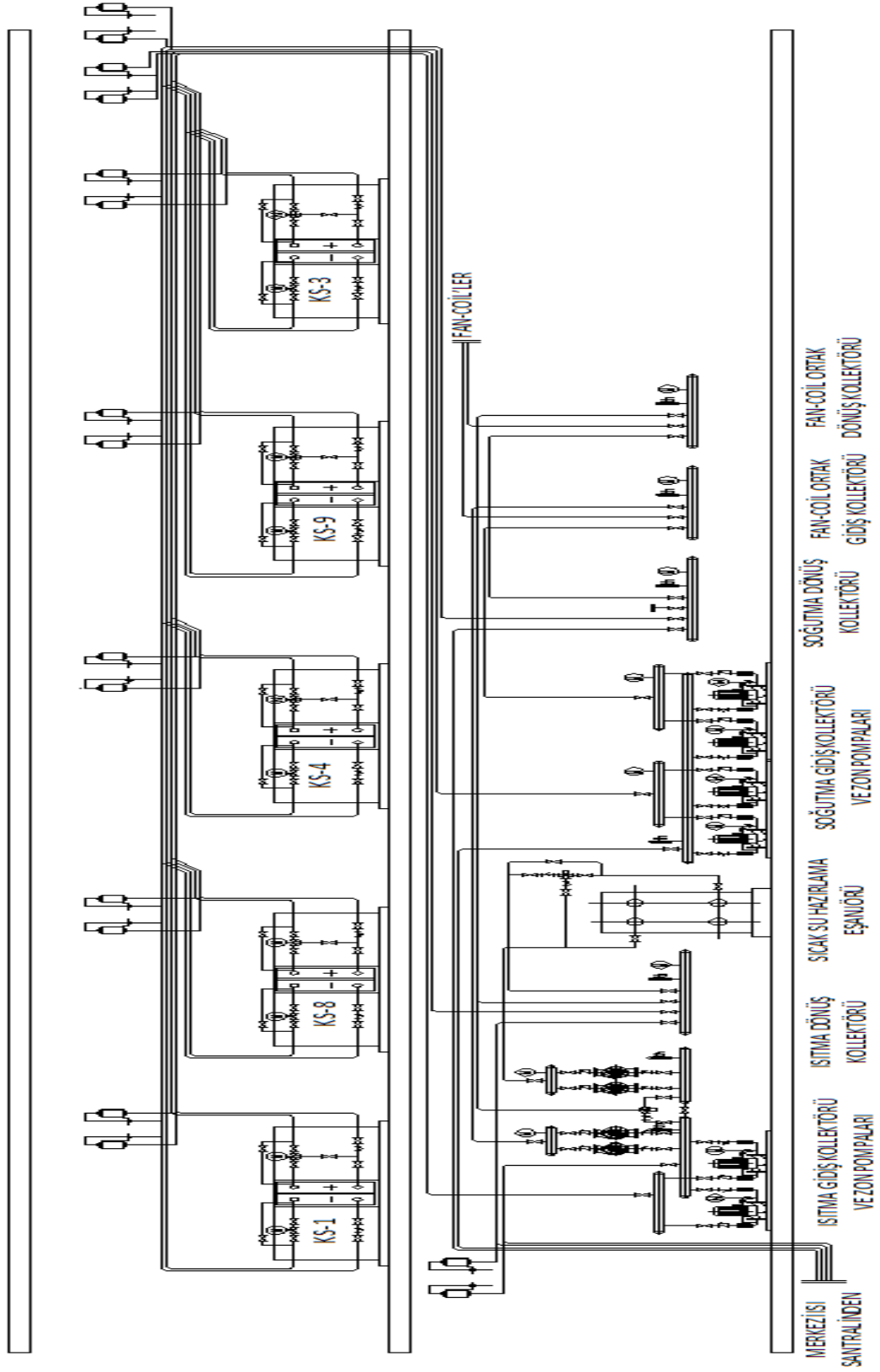
Sıra No	HVAC Ekipmanının Cinsi	Kapasitesi	Adedi
21	WC Egzoz Aspiratörü (Radyal Fanlı)	800 m <sup>3</sup> /h, 15 mmSS	1
22	WC Egzoz Aspiratörü (Radyal Fanlı)	2.450 m <sup>3</sup> /h, 17 mmSS	1
23	Ofisler Egzoz Aspiratörü (Radyal Fanlı)	1.700 m <sup>3</sup> /h, 26 mmSS	1
24	Personel Mutfağı Özel Tasarruflu Davlumbaz Egzoz Aspiratörü (Radyal Fanlı)	8.000 m <sup>3</sup> /h, 27 mmSS	1
25	Personel Mutfağı Özel Tasarruflu Taze Hava Vantilatörü (Radyal Fanlı)	5.000 m <sup>3</sup> /h, 15 mmSS	1
26	Restoran Mutfağı Özel Tasarruflu Davlumbaz Egzoz Aspiratörü (Radyal Fanlı)	5.000 m <sup>3</sup> /h, 26 mmSS	1
27	Restoran Mutfağı Özel Tasarruflu Taze Hava Vantilatörü (Radyal Fanlı)	3.000 m <sup>3</sup> /h, 15 mmSS	1
28	Kasetli Döşeme Tipi Fan-Coil	1200 kcal/h, 240 l/h	47
29	Kasetli Döşeme Tipi Fan-Coil	2100 kcal/h, 420 l/h	7
30	Kasetli Döşeme Tipi Fan-Coil	2700 kcal/h, 540 l/h	7
31	Kasetli Döşeme Tipi Fan-Coil	4300 kcal/h, 860 l/h	12
32	Kasetli Döşeme Tipi Fan-Coil	6000 kcal/h, 1200 l/h	3
33	Gizli Tavan Tipi Fan-Coil	1200 kcal/h, 240 l/h	42
34	Gizli Tavan Tipi Fan-Coil	2100 kcal/h, 420 l/h	8
35	Salon Tipi Sıcak Hava Apareyi	5000 kcal/h	9

Erzurum Havalimanı terminal binasında ısıtma ise doğalgaz yakıtlı merkezi sıcak su kazanlarından, karışım havalı klima santralleri, fan-coil üniteleri ve sıcak hava apareyleri ile sağlanmaktadır. Terminal binasının sıhhi sıcak su ihtiyacı ise plakalı eşanjör vasıtasıyla karşılanmaktadır. Şekil 3.6 terminal binasında kullanılan ısıtma sistemi HVAC ekipmanlarını göstermektedir.

Merkezi ısı santralinden terminal binasının yanı sıra havalimanındaki diğer binalarda ısınmaktadır. Çizelge 3.3 merkezi ısı santralinden beslenen binaları ve bu binalara ait ısıtma yüklerini göstermektedir. Terminal binasının toplam ısıtma yükü içerisindeki payı yaklaşık %72'dir. Çizelge 3.4'de ise zonlarda kullanılan HVAC ekipmanları ile ısıtma ve soğutma için kullanılan mevcut tasarım sıcaklıkları verilmektedir.



Şekil 3.4. Erzurum Havalimanı terminal binasının ısıtma ve soğutma sistemi akış diyagramı



Şekil 3.4. (devam)



Hava Soğutmalı Su Soğutma Grubu



Klima Santrali  
(Isıtma ve Soğutma Sistemi İçin)



Kasetli Döşeme Tipi Fan-Coil  
(Isıtma ve Soğutma Sistemi İçin)

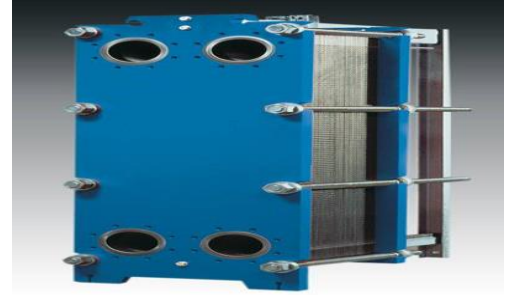


Gizli Tavan Tipi Fan-Coil  
(Isıtma ve Soğutma Sistemi İçin)

Şekil 3.5. Soğutma sistemi HVAC sistem ekipmanları



Tam Silindirik Doğalgazlı Sıcak Su Kazanı



Plakalı Eşanjör



Sıcak Hava Apareyi

Şekil 3.6. Isıtma sistemi HVAC sistem ekipmanları

**Çizelge 3.3.** Merkezi ısı santralinden beslenen binalar ve ısıtma yükleri

Bina	Isıtma Yüğü
Terminal Binası	1.930.000
Oto Garajı	219.205
Teknik-İdari Blok	171.205
VIP Binası	118.000
Kaza-Yangın Binası	109.695
Isı Merkezi	80.120
Gümrük Binası	53.270
Emniyet Binası	22.855

**Çizelge 3.4.** Terminal binası zonlarında kullanılan HVAC ekipmanları ve tasarım sıcaklıkları

Sıra No	Zon Adı	HVAC Ekipmanı	Kış Şartları İçin Tasarım Sıcaklığı(°C)	Yaz Şartları İçin Tasarım Sıcaklığı(°C)
1	Apron Büro	Fan-coil	22	23
2	Büro	Fan-coil	22	23
3	Büro+Güvenlik	Fan-coil	22	23
4	Büro+Güvenlik-2	Fan-coil	22	23
5	Büro+Güvenlik-3	Fan-coil	22	23
6	Büro-2	Fan-coil	22	23
7	Check-In Salonu	CAV, Radyal Fanlı Egzoz Aspiratörü	22	23
8	Dış Hat. Bag. Alım	CAV	22	23
9	Dış Hat. Gel. Bag	Sıcak Hava Aparenti	15	-
10	Dış Hat. Gid. Yolcu	CAV	22	23
11	Dış Hat. Kars. Holü	CAV	22	23
12	Duty Free	Fan-coil	22	23
13	Giriş Holü	CAV	22	23
14	Gümrük+Pasaport	Fan-coil	22	23
15	İç Hat. Bag. Alım	CAV	22	23
16	İç Hat. Gel. Bag.	Sıcak Hava Aparenti	15	-
17	İç Hat. Gid. Yolcu	CAV	22	23
18	İç Hat. Kars. Holü	CAV	22	23
19	İç-Dış Bag. Ayrım Holü	Sıcak Hava Aparenti	15	-
20	Ofis+Banka	Fan-coil	22	23
21	OG+AG	-	-	-
22	Pasaport Holü	CAV	22	23
23	Polis+Vize	Fan-coil	22	23
24	WC	Radyal Fanlı Egzoz	-	-
25	WC-2	Radyal Fanlı Egzoz	-	-
26	Büro+Meydan Md.	Fan-coil, Radyal Primer Santrali-1, Fanlı Egzoz	22	23

**Çizelge 3.4.** (devam)

27	Büro+Ofis	Fan-coil, Primer Santrali-2, Radyal Fanlı Egzoz Aspiratörü	22	23
28	Büro-3	Fan-coil, Primer Santrali-1, Radyal Fanlı Egzoz Aspiratörü	22	23
29	Büro-4	Fan-coil, Primer Santrali-2, Radyal Fanlı Egzoz Aspiratörü	22	23
30	CIP Salonu	Fan-coil, Primer Santrali-2, Radyal Fanlı Egzoz Aspiratörü	22	23
31	Havalandırma	-	-	-
32	Havalandırma	-	-	-
33	Mescit	Fan-coil, Primer Santrali-2, Radyal Fanlı Egzoz Aspiratörü	22	23
34	Operatör+ Teknisyen	Fan-coil, Primer Santrali-2, Radyal Fanlı Egzoz Aspiratörü	22	23
35	Personel Kafeterya	Mutfak CAV, Radyal Fanlı Egzoz Aspiratörü, Radyal Fanlı Vantilatör	22	23
36	Restoran	CAV	22	23
37	Servis+Mutfak	CAV, Radyal Fanlı Egzoz Aspiratörü	22	23
38	Teknik Hacim	-	-	-

### 3.1.5. Sistem pompaları ve fanları

Terminal binası ısıtma ve soğutma gidiş-dönüş pompaları bina içindeki teknik hacim odasında bulunmaktadır. Bunlar fan-coil ısıtma sistemi sirkülasyon pompaları, fan-coil soğutma sistemi sirkülasyon pompaları, santral ısıtma serpantinleri sirkülasyon pompaları, santral soğutma serpantinleri sirkülasyon pompaları ve kullanım sıcak suyu sirkülasyon pompalarıdır. Sistem fanları ise havalandırma cihazlarında kullanılan fanlardır ve bu cihazlar Çizelge 3.2’de verilmiştir. Terminal binasında kullanılan sistem pompalarının cinsi, kapasitesi ve adetleri Çizelge 3.5’de gösterilmiştir.

**Çizelge 3.5.** Terminal binası sistem pompaları

Sıra No	Sirkülasyon Pompasının Cinsi	Kapasite	Adet
1	Fan-coil ısıtma sistemi sirkülasyon pompası	11 m <sup>3</sup> /h, 4,5 mSS	2
2	Fan-coil soğutma sistemi sirkülasyon pompası	50 m <sup>3</sup> /h, 8,5 mSS	2
3	Santral ısıtma serpantini sirkülasyon pompası	41 m <sup>3</sup> /h, 7 mSS	2

**Çizelge 3.5.** (devam)

4	Santral ısıtma serpantini sirkülasyon pompası	49 m <sup>3</sup> /h, 7 mSS	2
5	Santral soğutma serpantini sirkülasyon pompası	100 m <sup>3</sup> /h, 10 mSS	2
6	Santral soğutma serpantini sirkülasyon pompası	117 m <sup>3</sup> /h, 10 mSS	2
7	Sıcak su hazırlama sistemi sirkülasyon pompası	7 m <sup>3</sup> /h, 4,5 mSS	2
8	Kullanma sıcak suyu sirkülasyon pompası	2 m <sup>3</sup> /h, 4 mSS	2

### 3.1.6. Sıhhi sıcak su sistemi

Terminal binasında sıhhi sıcak su WC'ler, mutfak, servis gibi mahallerde kullanılmaktadır. Sıhhi sıcak su ihtiyacı teknik hacim odasında bulunan 110.000 kcal/h kapasiteli 1 adet plakalı eşanjör vasıtasıyla sağlanmaktadır.

### 3.1.7. Aydınlatma sistemi

Terminal binası aydınlatmasında metal halide, flüoresan, ATY2, spot armatürler kullanılmaktadır. Terminal binasında kullanılan aydınlatma armatürlerinin cinsi, aydınlatma yoğunluğu ve aydınlatma şiddeti Çizelge 3.6'da verilmektedir.

**Çizelge 3.6.** Terminal binası zonlarında kullanılan armatürler ve aydınlatma detayları

Sıra No	Zon Adı	Aydınlatma Armatürü	Aydınlatma Yoğunluğu (W/m <sup>2</sup> -100 lux)	Aydınlatma Şiddeti (lux)
1	Apron Büro	ATY2	1,66	726
2	Büro	ATY2	1,66	753
3	Büro+Güvenlik	ATY2	1,66	847
4	Büro+Güvenlik-2	ATY2	1,66	1102
5	Büro+Güvenlik-3	ATY2	1,66	929
6	Büro-2	ATY2	1,66	753
7	Check-In Salonu	Metal halide, halojen uzay kafese montajlı spot armatür, sıva üstü floresan	1,15	1086
8	Dış Hat. Bagaj Alım	Metal halide, halojen uzay kafese montajlı spot armatür	1,15	903
9	Dış Hat. Gelen Bagaj	U tipi armatür	1,66	426
10	Dış Hat. Gid. Yolcu	Metal halide, halojen uzay kafese montajlı spot armatür	1,15	973

Çizelge 3.6. (devam)

11	Dış Hat. Kars. Holü	U tipi armatür	1,66	976
12	Duty Free	ATY2	1,66	1102
13	Giriş Holü	ATY2	1,66	684
14	Gümrük+Pasaport	ATY2	1,66	723
15	İç Hat. Bag. Alım	Metal halide, halojen uzay kafese montajlı spot	1,15	1067
16	İç Hat. Gel. Bag.	U tipi armatür	1,66	408
17	İç Hat. Gid. Yolcu	Metal halide, halojen uzay kafese montajlı spot armatür	1,15	724
18	İç Hat. Kars. Holü	U tipi armatür	1,66	914
19	İç-Dış Bag. Ayrım Holü	U tipi armatür	1,66	914
20	Ofis+Banka	ATY2	1,66	723
21	OG+AG	U tipi armatür	1,66	547
22	Pasaport Holü	Metal halide, halojen uzay kafese montajlı spot armatür	1,15	1075
23	Polis+Vize	ATY2	1,66	831
24	WC	Kompakt floresan armatür	1,66	666
25	WC-2	Kompakt floresan armatür	1,66	666
26	Büro+Meydan Md.	ATY2	1,66	733
27	Büro+Ofis	ATY2	1,66	811
28	Büro-3	ATY2	1,66	740
29	Büro-4	ATY2	1,66	704
30	CIP Salonu	Kompakt floresan armatür	1,66	474
31	Havalandırma Merkezi	U tipi armatür	1,66	566
32	Havalandırma Merkezi-2	U tipi armatür	1,66	566
33	Mescit	ATY2	1,66	950
34	Operatör+ Teknisyen	ATY2	1,66	200
35	Personel Mutfak	ATY2	1,66	550
36	Restoran	Metal halide	1,15	648
37	Servis+Mutfak	ATY2	1,66	909
38	Teknik Hacim	U tipi armatür	1,66	306

Her zonda bulunan aydınlatma armatürlerinin aynı anda çalıştırıldığı düşünülerek zonun toplam aydınlatma gücü (W) cinsinden hesaplanmış daha sonra mahal alanı ve armatür cinsi de dikkate alınarak aydınlatma şiddeti (lux) aşağıdaki formülden hesaplanmıştır:

$$E_v(lx) = P(W) \times \eta(lm/W) / A(m^2) \quad (3.1)$$



Burada;  $E_v$  (lx) aydınlatma şiddetini,  $P$  (W) toplam aydınlatma gücünü,  $\eta$  (lm/W) armatür cinsine göre değişen aydınlatma verimini,  $A$  ( $m^2$ ) zonun alanını belirtmektedir.

## 3.2. Yöntem

### 3.2.1. DesignBuilder ile modelleme

Mevcut binaların enerji tüketim modelleri, yeni yapılacak binalarda enerji tüketimini azaltmak için dikkat edilmesi gereken parametrelerin belirlenmesi ve mevcut binaların iyileştirilmesi yönüyle büyük önem taşımaktadır (Dodier and Henze 2005).

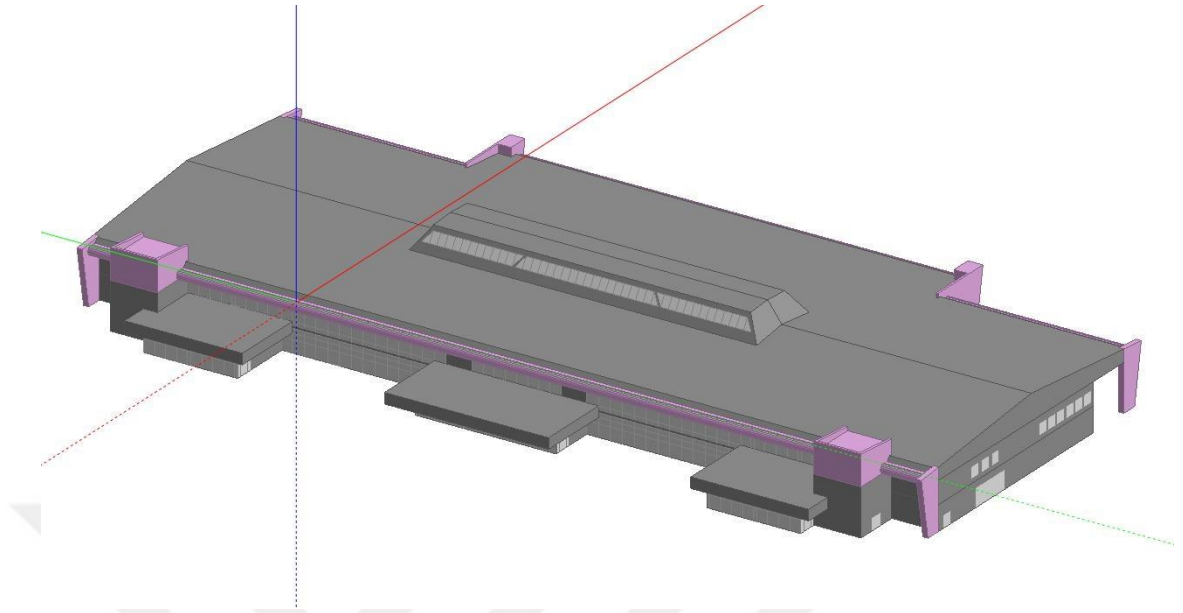
DesignBuilder görsel olarak, termal ve aydınlatma performans verisi elde etmek için kullanılan bir modelleme yazılımıdır. Termal performans verilerini elde etmek için EnergyPlus termal simülasyon motorunu kullanır. DesignBuilder ile yapılan simülasyonlarda, gerçek iklim verileri kullanılarak, detaylı bina enerji performansı üretilebilir. İklim verilerinin saatlik iklim verilerinden türetilmesi, farklı sıcaklıklardaki zonlar arasındaki iletim ve yayılımı içermesi, pencerelerden kazanılan güneş enerjisinin hesaba katılması, seçeneğe göre HVAC ekipmanlarının simülasyonunun gözlemlenebilmesi, binanın termal kütledeki doğru ısı dağılımını elde etmek için bir ya da daha fazla ısınma günlerinin hesaba katılması, EnergyPlus aracılığıyla elde edilen simülasyonun başlıca özelliklerindedir. Her bir mekânda ısıl denge elde edilene kadar ısıtma devam eder. Denge meydana gelmezse, simülasyon hesaplama seçeneklerinde belirtilen maksimum gün sayısına kadar devam eder (Tıkrır 2009; DesignBuilder Software 2016).

Bu çalışmada  $12.950 m^2$  inşaat alanına sahip zemin ve asma kattan oluşan Erzurum Havalimanı terminal binasının enerji performansı analizi yapılmıştır. Bu amaçla bina öncelikle DesignBuilder v4.5 programında üç boyutlu olarak modellenmiş ve tanıtılmıştır. Daha sonra EnergyPlus v8.3 ile bina enerji simülasyonu yapılmıştır.

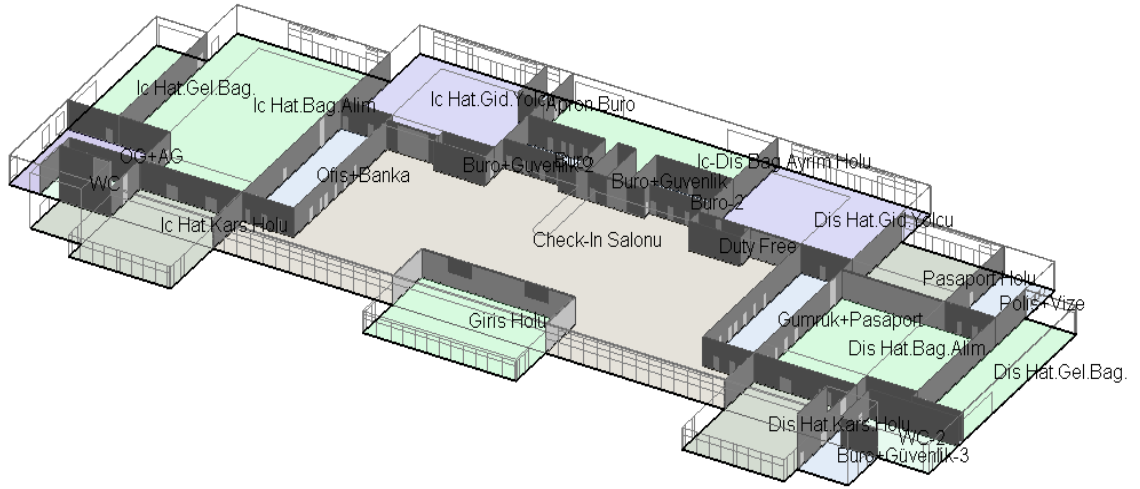
Bina zemin katta 25 adet, asma katta ise 21 adet olmak üzere toplam 46 zona ayrılmıştır. Bu zon ayrımı yapılırken benzer mahaller birleştirilmiştir (örneğin yan yana olan bürolar tek mahal gibi düşünülmüştür). DesignBuilder programı kullanılarak elde edilen binanın 3 boyutlu görünüşü Şekil 3.7’de, zemin ve asma kattaki zonların 3 boyutlu görünüşü ise Şekil 3.8 ve Şekil 3.9’da gösterilmiştir.

Çalışma mevcut bir bina için yapıldığından binaya ait tüm mimari ve mekanik tesisat projeleri temin edilmiş, binanın DesignBuilder’da tanıtılmasında bu projelerden faydalanılmıştır. Ayrıca binada ve binanın bulunduğu alanda bir saha çalışması yapılarak binanın tüm mahalleri ziyaret edilmiştir. Bina enerji yöneticisi ile görüşülerek projesinden farklı olan sistemlerdeki değişiklikler not edilerek modelleme ve bina tanıtımında kullanılmıştır.

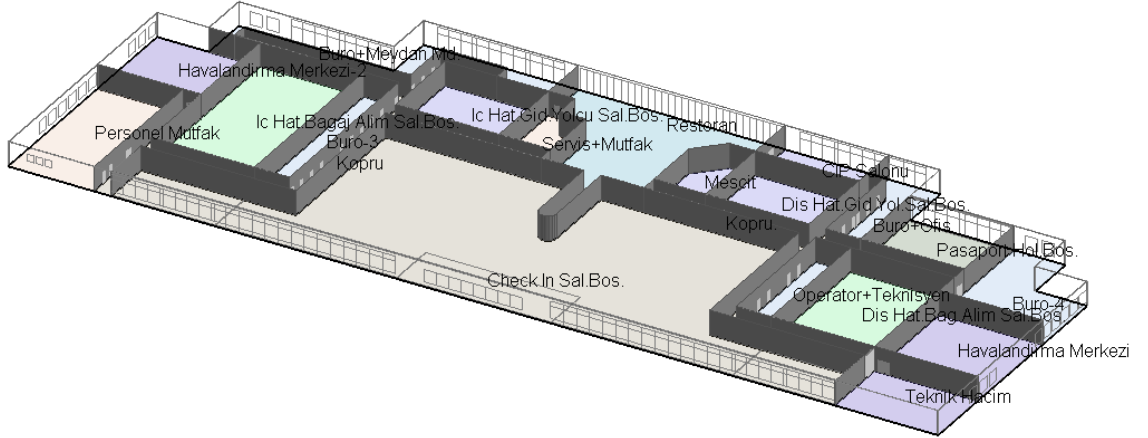
Binanın modellemesi ve tanıtımı yapılırken binaya ait bina geometrisi, binanın yönü, HVAC ve aydınlatma sistemlerinin özellikleri, yapı bileşenlerinin tanımı, zonların kullanım amacı, iç ısı kazançlar, konfor şartları ve binanın bulunduğu yere ait saatlik gerçek meteorolojik veriler programa girilmiştir. Programın “Activity” sekmesine girilen veriler **EK-2**’de, “Construction” sekmesine girilen veriler **EK-3**’de, “HVAC” sekmesine girilen veriler **EK-4**’de, “Lighting” sekmesine girilen veriler ise **EK-5**’de görülmektedir.



Şekil 3.7. Erzurum Havalimanı terminal binasının 3 boyutlu görünüşü



Şekil 3.8. Zemin kat zonlarının 3 boyutlu görünüşü



**Şekil 3.9.** Asma kat zonlarının 3 boyutlu görünüşü

### 3.2.2. EnergyPlus ile simülasyon

EnergyPlus köklerini BLAST ve DOE-2'den alan bir enerji analiz ve termal yük simülasyon programıdır. Binanın fiziksel yapısının ve mekanik sisteminin tanımlanmasıyla, ısıtma ve soğutma yüklerini hesaplar. EnergyPlus birleşmiş eş zamanlıdır. Binanın birincil ve ikincil sistemlerinin sıkıca bağlandığı ve binanın da yanıt verdiği bir yapıya sahiptir. Termal zonlar ve çevre arasındaki etkileşimde saatlik değişimler, termal zonlar ve HVAC sistemi arasındaki etkileşim için değişken zaman aralıkları mevcuttur. EnergyPlus, binanın termal yükleri için ısı denge tabanlı çözümler sunarak her bir zaman aralığı için hem içerideki hem dışarıdaki yüzeylerde ışıma ve iletim etkilerinin aynı anda hesaplanmasına izin verir. Bina bileşenleri arasındaki geçici ısı geçişini hesaba katar. Geliştirilmiş zemin ısı geçirimi modellenmesine sahiptir. Isı ve kütle transferi birleştirilmiştir. Termal konfor modelleri, anizotropik gökyüzü modelleri, aydınlatma kontrolleri, döngü merkezli yapılandırılmış HVAC sistemleri, atmosferik kirlenme hesaplamaları gibi opsiyonlara sahiptir ve Window 5, DELight, Spark gibi diğer simülasyon programlarıyla bağlanabilir. Bütün bunlarla birlikte EnergyPlus bir kullanıcı ara yüzü değildir. EnergyPlus, üçüncü bir ara yüzün kullanılabileceği bir simülasyon motorudur. Girdiler ve çıktılar anlaşılabilir ASCII (*American Standard Code for Information Interchange*) Text dosyalarıdır ama grafiksel kullanıcı arayüzlerine bırakılması daha iyi olabilir. Sonuç olarak; EnergyPlus binaları, ısıtma, havalandırma, iklimlendirme ekipmanlarıyla ilişkili olarak modellemek için tasarlanmış bir simülasyon

programıdır. Grafikselle kullanıcı arayüzü olan bir programın içinde bir eleman olarak kullanılması için tasarlanmış bir simülasyon ara motorudur. Ancak böyle bir arayüz program kullanılmadan da kendi kendine çalışabilir. EnergyPlus'ın sıkça kullanılan arayüzlerinden biri DesignBuilder adlı görsel bina modelleri üretilebilen ve bunların şekillendirilebildiği kullanım kolaylığı sunan bir modelleme programıdır. DesignBuilder, EnergyPlus'ın çevresinde geliştirilmiştir. Onun pek çok girdi verilerine izin verir. Yapı malzemesi, üretim tipi, cam tipi veri tabanına sahiptir (Tıkır 2009).

EnergyPlus, hesaplamalarında saatlik iklim verilerini kullanmakta, ısıtma ve soğutma yüklerini bütünleşik biçimde geri beslenimi göz önünde bulundurarak hesaplamaktadır. Hesaplama sonuçları tercihe göre saatlik, aylık veya yıllık elde edilebilmektedir. Bu EnergyPlus'dan detaylı hesap sonuçları alınmasını olanaklı kılmaktadır.

Binanın DesignBuilder v4.5'te modellemesi yapılarak yapı ve sistem karakteristikleri modele girilmiştir. DesignBuilder ile modelleme yapıldıktan sonra, DesignBuilder ile entegre hale getirilmiş olan EnergyPlus v8.3 ile binanın enerji simülasyonu yapılmıştır.

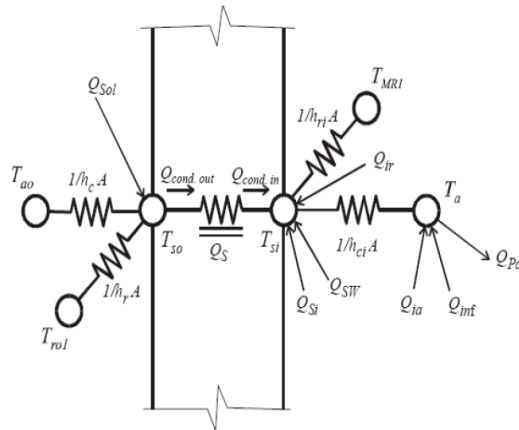
Simülasyon sonucu bina yükleri, CO<sub>2</sub> üretimi ve HVAC sistem tasarımlarının enerji tüketimleri yıllık, aylık ve saatlik olarak hesaplanmıştır. Simülasyon sonucu elde edilen enerji tüketimleri ile ölçülen gerçek enerji tüketimleri karşılaştırılmıştır. Daha sonra enerji tüketen tüm sistemlerde enerji talebi makul yatırımlarla minimize edilmiş, geri kalan enerji talebi ise yenilenebilir enerji kaynaklarıyla karşılanarak bina net sıfır enerjili bina veya neredeyse net sıfır enerjili bina formuna dönüştürülmüştür. Bu dönüştürmeyi yaparken dönüşüm maliyetinin ekonomik analizi göz önünde bulundurulmuştur. Ayrıca binaya ait CO<sub>2</sub> üretimi de incelenmiştir. Doğalgaz tüketimi sonucu oluşan CO<sub>2</sub> üretimi, binanın ısıtma ve sıhhi sıcak su ihtiyacı için kullanılan toplam doğalgaz tüketimi üzerinden hesaplanmaktadır. Elektrik tüketimi sonucu oluşan CO<sub>2</sub> üretimi ise EnergyPlus'ın hesaplama algoritmasında bulunan ve binanın bulunduğu konuma ait olan karbon emisyon faktörü ile toplam elektrik tüketiminin çarpılmasıyla elde edilmektedir.

### 3.2.3. Enerji hesaplama yöntemi

20 yılı aşkın bir süredir, ABD hükümeti DOE-2 ve BLAST bina enerji simülasyon programlarının geliştirilmesine destek vermiştir. BLAST, ABD Savunma Bakanlığı (DOD) tarafından desteklenmekteyken DOE-2 ABD Enerji Bakanlığı (DOE) tarafından desteklenmektedir. Bu iki program arasındaki temel fark yük hesaplama yöntemleridir. DOE-2 "weighting factor" yaklaşımını kullanırken, BLAST "heat balance" yaklaşımını kullanmaktadır. Her iki programda EnergyPlus'tan önce dünyada yaygın olarak kullanılmaktaydı (Strand *et al.* 2001).

ASHRAE (Amerikan Isıtma, Soğutma ve İklimlendirme Mühendisleri Odası), enerji hesaplamaları ile ilgili tüm yöntemleri ve ayrıntıları tanımlamıştır. EnergyPlus hesaplamalarında ASHRAE ısı denge (heat balance) yöntemini kullanmaktadır.

ASHRAE ısı denge (heat balance) metodu; saatlik-dinamik bir metot olup güneş kazançları ve iç kazançların detaylı hesaplanması, iç yüzey sıcaklıklarının her yüzey için ayrı ayrı tanımlanması, doğal havalandırma, gölgeleme, HVAC ekipmanları ve ısı kütlenin dâhil edilmesi ile fiziksel duruma en yakın ve kabullerin en aza indirildiği, dolayısı ile de gerçeğe en yakın sonuçları vermektedir. Metoda ait direnç şeması Şekil 3.10'da, verilen metodun kullandığı dört ısı denge denklemini ise Eşitlik 3.2, 3.3, 3.4 ve 3.5'de verilmiştir (Rees *et al.* 2000; Yaman ve Gökçen 2009).



**Şekil 3.10.** ASHRAE Isıl Denge Metodu direnç şeması (Rees *et al.* 2000)

Duvar-dış yüzey için ısıl denge denklemi;

$$Q_{sol} + Q_{olw} + Q_{co} - Q_{cond,out} = 0 \quad (3.2)$$

Eşitlik 3.2'de görüldüğü gibi ASHRAE ısıl denge metodu dış duvar için güneş kazançları ile uzun dalga radyasyonunu ayrı ayrı ele almaktadır.

Duvar için ısıl denge denklemi;

$$Q_{cond,out} - Q_S - Q_{cond,in} = 0 \quad (3.3)$$

Eşitlik 3.3,  $Q_S$  bileşeni ile duvarda depolanan ısı miktarının bulunmasına imkân sağlamaktadır.

Duvar-iç yüzey için ısıl denge denklemi;

$$Q_{si} + Q_{ir} + Q_{SW} + Q_{ilw} - Q_{ci} + Q_{cond,in} = 0 \quad (3.4)$$

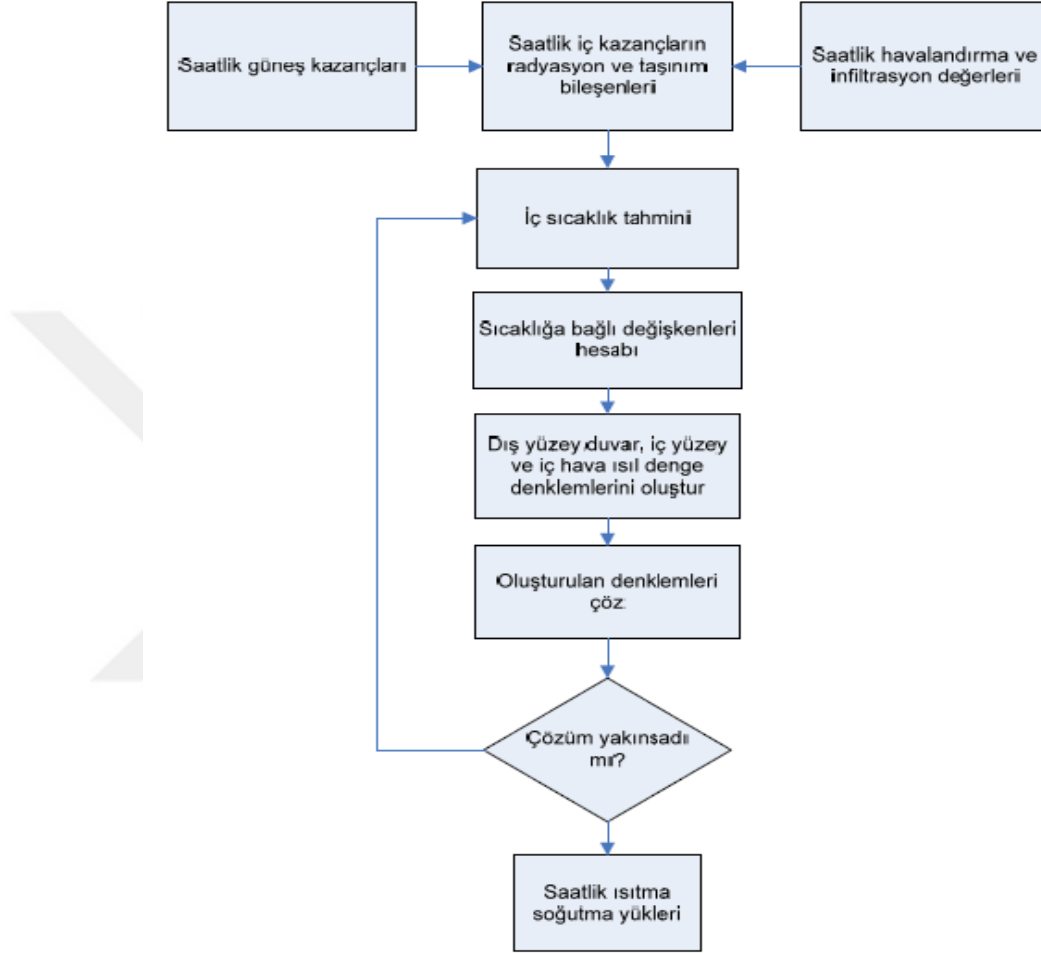
İç yüzeyin ısıl dengesi oluşturulurken; aydınlatma, iç bileşenlerin radyasyon kazancı, yansıma sonucu gerçekleşen güneş kazancı, taşınım ve radyasyon dirençleri göz önüne alınmaktadır.

İç ortamda hava için ısıl denge denklemi ( $Q_{pa}$  HVAC sistem yükü dâhil):

$$Q_{ci} + Q_{ia} + Q_{inf} + Q_{Pa} = 0 \quad (3.5)$$

ASHRAE Isıl Denge Metodu'nda kullanılan dört denklem birbirine iletim ve taşınım parametreleri bakımından bağlıdır, bu nedenle denklem seti eşzamanlı olarak çözülmelidir. Hem saatlik hesaplama hem de denklemlerin eşzamanlı çözümü

gerekliliği, bu metodun uygulanabilmesi için yazılım kullanmayı zorunlu kılmaktadır. Metodun akış şeması ise Şekil 3.11’de verilmiştir.



Şekil 3.11. ASHRAE Isıl Denge Metodu akış şeması (Yaman ve Gökçen 2009)

### 3.2.4. Dikey toprak kaynaklı ısı pompası tasarımı

Dikey tip toprak serpantinli ısı pompalarının tasarımında toprak ısı değiştiricisinin uzunluğu büyük önem arz etmektedir. Isıtma modu için gerekli toprak ısı değiştiricisi uzunluğu (3.6)’daki eşitlik kullanılarak hesaplanabilir (Hepbaşlı ve Hancıoğlu 2001; Günerhan 2008).



$$L_{\text{ısıtma}} = \frac{572 \frac{COP_1 - 1}{COP_1} [R_b + (R_t \times F_1)]}{(T_d - T_{\min}) (^{\circ}C)} \quad m / kW \quad (3.6)$$

$L_{\text{ısıtma}}$  : Toprak ısı değiştiricisinin uzunluğu, (m/kW)

$COP_1$  : Isı pompasının ısıtma etkinlik katsayısı

$R_b$  : Boru direnci, (m<sup>°</sup>C/W)

$R_t$  : Toprak direnci, (m<sup>°</sup>C/W)

$F_1$  : Isıtma alışma faktörü

$T_d$  : Yılın en dūřuk toprak sıcaklığı, (°C)

$T_{\min}$  : Üniteye girecek en dūřuk su tasarım sıcaklıęı, (°C)

**COP Deęeri:** Bir ısı pompası sisteminin verimliliği veya etkinlik katsayısı (COP) EN 14511'e göre tayin edilir. Tesir katsayısı ısıtma kapasitesi ile harcanan enerji arasındaki ilişki olarak tanımlanır ve (Eřitlik 3.7) ile bulunur. Isıtma suyu ile enerji kaynağı arasındaki sıcaklık farkı ne kadar dūřuk olursa, tesir katsayısı ve dolayısıyla verim o kadar yüksek olur. Bu yüzden yerden ısıtma gibi dūřuk sistem sıcaklıklarının kullanıldığı ısıtma sistemleri ısı pompası için daha uygundur. Tesir katsayısı ısı pompasının belirli işletme ve uygulama şartlarında ölçülmüş laboratuvar değeridir (Viessmann 2010):

$$\text{Tesir Katsayısı (COP)} = \frac{\text{Sisteme Verilen Isı Enerjisi}}{\text{Kullanılan Elektrik Gücü}} \quad (3.7)$$

**Boru Direnci:** Toprak ısı değiştiricisi olarak kullanılacak olan borunun malzeme cinsi, çapı ve uzunluğu borunun boru direncinde ( $R_b$ : ısı transfer direnci) önemli rol oynar. Plastik boruların hem ömürlerinin uzun olması hem de toprağın korozif etkisinden daha az etkilenmesi nedeniyle toprak kaynaklı ısı pompalarında toprak ısı değiştiricisi olarak kullanılmaları daha uygundur. Çizelge 3.7'de toprak ısı değiştirici olarak kullanılacak borunun malzeme cinsine, çapına ve toprağa yerleştirilme biçimine göre boru dirençleri

gösterilmektedir. Bu çizelgeden elde edilecek değer toprak ısı değiştiricisi uzunluğu hesabında kullanılır.

**Çizelge 3.7.** Boru çapına bağlı olarak boru dirençleri (Ekinci 2007)

R <sub>b</sub> (yatay)/ R <sub>b</sub> (düşey)				
Boru çapı	PE SCH-40	PE SDR-11	PE SDR-17	PE SDR-13.5
3/4"	0.17/0.116	0.144/0.096	0.16/0.11	0.20/0.14
1"	0.159/0.109	0.144/0.096	0.16/0.11	0.20/0.14
1-1/4"	0.130/0.089	0.144/0.096	0.16/0.11	0.20/0.14
1-1/2"	0.117/0.080	0.144/0.096	0.16/0.11	0.20/0.14
2"	0.098/0.068	0.144/0.096	0.16/0.11	0.20/0.14




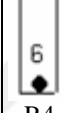

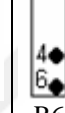



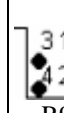

**Toprak Direnci:** Toprak direnci, ısı akışının toprakta ilerleme hızını ifade eder, ısı geçişine karşı koyan güç toprak ısı direncidir. Hafif kuru bir toprağın taşıdığı ısı enerjisi, yoğun nemli bir toprağa nazaran daha az hızlıdır. Yani nemli toprağın ısı direnci kuru toprağa göre daha düşüktür. Bunun dışında, toprağın yüzeyden itibaren derinliği, boruların birbirleri arasındaki mesafeleri, boru çapı ve adedi toprak direncini etkileyen faktörlerdir (Miles 1994; Ekinci 2007). Çizelge 3.8’de toprağın cinsine göre (yoğun nemli, ağır kuru ve hafif nemli) 3/4" ila 2" arası boruların, yatay ve düşey, tekli ve çoklu olma durumları göz önüne alınarak toprak dirençleri verilmiştir. Bu çizelgeden elde edilecek değer toprak ısı değiştiricisi uzunluğu hesabında kullanılır.

**Isıtma Çalışma Faktörü:** Bir sistemin çalışma faktörü, o sistemin en soğuk aydaki ısıtma yükünü ve en sıcak aydaki soğutma yükünü karşılayabilecek sürenin yüzde olarak gösterimidir. Her iki mod için de çalışma faktörlerinin bulunması gerekir. Çalışma faktörleri kullanılarak ısıtma ve soğutma modları için gerekli olan boru boyları saptanır ve büyük olan boru boyu seçilir. Çalışma faktörünü bulabilmek için iklimlendirilecek olan yerin saatlik ortalama ısı kazancı ve kayıpları bulunmalıdır. Daha sonra bulunan bu değerler sistemin kapasitesine oranlanarak çalışma faktörü bulunmalıdır, [Çalışma faktörü = (Saatlik ortalama ısı kazancı veya kaybı) / (Sistem kapasitesi)] (Miles 1994; Günerhan 2008):

$$Isitma\ Calisma\ Faktörü\ (F_1) = \frac{Ocak\ Ayı\ Ortalama\ Isı\ Kaybı}{Sistem\ Kapasitesi} \quad (3.8)$$

**Sıcaklık Bilgileri:** Erzurum ili için TID boyutlandırması hesaplamalarında kullanılacak sıcaklık bilgileri Çizelge 3.9'da verilmiştir.

**Çizelge 3.8.** Toprak direncinin toprak şartları ve boru çapına bağlı değişimi (Miles 1994; Babacan 2007)

		$R_t$ (AĞIR TOPRAK-NEMLİ)										$R_t$ (KAYA)
		$R_t$ (AĞIR TOPRAK-KURU VEYA HAFİF TOPRAK-NEMLİ)										$R_t$ (AT-NEMLİ)
												
		R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	
BORU ÇAPINDA	3/4"	<u>1.02</u>	<u>1.06</u>	<u>1.09</u>	<u>1.11</u>	<u>1.31</u>	<u>1.37</u>	<u>2.05</u>	<u>2.15</u>	<u>2.11</u>	<u>1.88</u>	<u>0.6</u>
		1.38	1.44	1.47	1.49	1.77	1.84	2.75	2.86	2.85	2.53	1.06
	1"	<u>0.97</u>	<u>1.02</u>	<u>1.04</u>	<u>1.06</u>	<u>1.26</u>	<u>1.32</u>	<u>2</u>	<u>2.1</u>	<u>2.07</u>	<u>1.84</u>	<u>0.57</u>
		1.32	1.37	1.4	1.42	1.7	1.77	2.88	2.79	2.78	2.47	1.01
	1 1/4"	<u>0.92</u>	<u>0.97</u>	<u>0.99</u>	<u>1.01</u>	<u>1.22</u>	<u>1.27</u>	<u>1.96</u>	<u>2.05</u>	<u>2.02</u>	<u>1.79</u>	<u>0.54</u>
		1.25	1.31	1.34	1.36	1.63	1.7	2.61	2.72	2.71	2.4	0.96
	1 1/2"	<u>0.89</u>	<u>0.94</u>	<u>0.97</u>	<u>0.98</u>	<u>1.19</u>	<u>1.25</u>	<u>1.92</u>	<u>2.02</u>	<u>1.99</u>	<u>1.76</u>	<u>0.53</u>
		1.21	1.27	1.3	1.32	1.59	1.66	2.57	2.68	2.67	2.36	0.94
	2"	<u>0.85</u>	<u>0.89</u>	<u>0.92</u>	<u>0.94</u>	<u>1.14</u>	<u>1.2</u>	<u>1.88</u>	<u>1.98</u>	<u>1.94</u>	<u>1.71</u>	<u>0.5</u>
		1.15	1.2	1.24	1.26	1.53	1.6	2.51	2.62	2.61	2.29	0.89

**Çizelge 3.9.** Erzurum ili için TID boyutlandırması hesaplamalarında kullanılacak sıcaklık bilgileri

Tanım	Sıcaklık	Kaynak
T - Yıllık ortalama hava sıcaklığı	5,9°C	Gül 2006; Bakırcı vd 2006
T <sub>m</sub> - Yıllık ortalama toprak sıcaklığı	T + 1.1°C = 5,9 + 1,1 = 7°C	Miles 1994; Babacan 2007
T <sub>d</sub> - Yılın en düşük toprak sıcaklık değeri	T <sub>m</sub> - 5 = 7 - 5 = 2°C	Miles 1994; Kural 2012
T <sub>min</sub> - Üniteye girecek en düşük su sıcaklığı	10°C	Miles 1994; Kural 2012

### 3.2.5. Fotovoltaik (PV) sistem tasarımı

Seçilen panelin günlük ortalama üretebileceği elektrik enerjisi miktarı ve terminal binasında kullanılacak toplam güneş paneli sayısı (Köroğlu vd 2010) :

$$\text{Bir Panelin Ürettiği Elektrik} = \text{Günlük Radyasyon} \times \text{Panel Alan} \times \text{Panel Verimi} \quad (3.9)$$

$$\text{Panel Sayısı} = \frac{\text{Elektrik İhtiyacı}}{\text{Bir Panelin Ürettiği Elektrik}} \quad (3.10)$$

eşitlikleri ile bulunmuştur.

### 3.2.6. Güneş enerjili sıcak su sistemi tasarımı

Eğik konumdaki toplayıcıya gelen toplam güneş ışınımı (Kılıçaslan ve Kılıçaslan 1997);

$$Q_{egik} = Q_{yatay} \times R (kWh/m^2 - gün) \quad (3.11)$$

formülü ile hesaplanmaktadır. Burada R dönüşüm faktörüdür ve 39°57' (yaklaşık 40°) enlem bölgesinde bulunan Erzurum ili için mevsime ve S toplayıcı eğim açısına bağlı olarak Çizelge 3.10'da gösterilmektedir.

**Çizelge 3.10.** Enleme, Mevsime ve Toplayıcı eğim açısına göre R faktörü (Kılıçaslan ve Kılıçaslan 1997).

Enlem	Mevsim	S Top. Açısı 15°	S Top. Açısı 30°	S Top. Açısı 45°	S Top. Açısı 60°
40°	Haz. Ağus.	1.075	1.077	1.005	0.865
40°	Ekim-Mart	1.315	1.540	1.661	1.668
40°	Bütün Yıl	1.183	1.286	1.301	1.227

Güneş enerjisinin toplam faydalı ısı miktarı (Kılıçaslan ve Kılıçaslan 1997);

$$Q_{faydal} = Q_{egik} \times \mu_{kollektör} \times \mu_{tesisat} \quad (3.12)$$

olarak hesaplanır. Faydalı kollektör alanı ise (Kılıçaslan ve Kılıçaslan 1997);

$$F = \frac{Q_{gerçek}}{Q_{faydal}} \quad (3.13)$$

olarak hesaplanır. Burada  $Q_{gerçek}$  sıhhi sıcak su ihtiyacı için gerekli olan günlük ısı miktarıdır.

#### 4. ARAŞTIRMA BULGULARI

Erzurum Havalimanı terminal binası zemin ve asma kat olmak üzere iki kattan oluşmaktadır. Toplam kullanılan alan yaklaşık 12.950 m<sup>2</sup> dir. Terminal binası içinde apron büro, check-in salonu, iç-dış hatlar bagaj alım salonları, iç-dış hatlar gelen bagaj salonu, iç-dış hatlar gelen yolcu, iç-dış hatlar giden yolcu ve karşılayıcılar holleri, bürolar, WC'ler, CIP salonu, kafeterya, restoran, personel mutfağı vb. zonlar bulunmaktadır.

Bu çalışmada incelenen binanın simülasyonu EnergyPlus v8.3 ile yapılarak binanın enerji tüketimi, iç ısı kazançları, ısı kayıpları, ısıtma yükü ve CO<sub>2</sub> üretimi hesaplanmıştır. Simülasyon sonucu elde edilen enerji tüketimleri (doğalgaz ve elektrik) ile gerçek enerji tüketimleri cihazların verimleri de dikkate alınarak karşılaştırılmıştır.

##### 4.1. Yıllık Gerçek Enerji Tüketim Değerleri

Erzurum Havalimanı terminal binasının gerçek enerji tüketim değerleri olarak 2014 ve 2015 yılına ait tüketim değerleri kullanılmıştır. Örneğin Ocak ayına ait tüketim değeri 2014 Ocak ayı ile 2015 Ocak ayının ortalamasını yansıtmaktadır. Erzurum Havalimanı terminal binasının 2014-2015 yılı aylık ortalama gerçek doğalgaz tüketimleri Çizelge 4.1'de gösterilmektedir. 2014-2015 yılı aylık ortalama gerçek elektrik tüketimleri ise Çizelge 4.2'de verilmiştir. Erzurum Havalimanı terminal binasının 2014-2015 yılı gerçek ısı tüketimi, binanın enerji tüketimini azaltma yönünde yapılacak çalışmalar kapsamında bina enerji yöneticisi tarafından bina ısı girişlerine monte edilen ısı sayacı kullanılarak doğrudan ölçülmüştür. Elektrik tüketim değerleri ise yine bina enerji yöneticisi tarafından ölçülen elektrik sayacı değerleridir. Bu sonuçlara göre terminal binasının yıllık toplam enerji tüketimi 7.015.081 kWh'dir. Bu tüketimin %56'sını doğalgaz, %44'ünü elektrik oluşturmaktadır. Bina yıllık m<sup>2</sup> başına toplam enerji tüketimi 542 kWh/m<sup>2</sup> değerindedir.

**Çizelge 4.1.** Terminal binasının 2014-2015 yılı aylık ortalama doğalgaz tüketimi

	Doğalgaz Tüketimi (m <sup>3</sup> )	Doğalgaz Tüketimi (kWh)
<b>Ocak</b>	102.400	982.323
<b>Şubat</b>	75.053	719.988
<b>Mart</b>	49.692	476.697
<b>Nisan</b>	34.322	329.247
<b>Mayıs</b>	12.380	118.757
<b>Haziran</b>	1.614	15.480
<b>Temmuz</b>	0	0
<b>Ağustos</b>	0	0
<b>Eylül</b>	320	3.069
<b>Ekim</b>	24.168	231.848
<b>Kasım</b>	46.294	444.097
<b>Aralık</b>	66.123	634.319
<b>Toplam</b>	412.365	3.955.823

**Çizelge 4.2.** Terminal binasının 2014-2015 yılı aylık ortalama gerçek enerji tüketimi

	Doğalgaz Tüketimi (kWh)	Elektrik Tüketimi (kWh)	Toplam Tüketim (kWh)
<b>Ocak</b>	982.323	412.019	1.394.342
<b>Şubat</b>	719.988	335.368	1.055.355
<b>Mart</b>	476.697	242.259	718.956
<b>Nisan</b>	329.247	270.660	599.907
<b>Mayıs</b>	118.757	190.353	309.110
<b>Haziran</b>	15.480	145.245	160.725
<b>Temmuz</b>	0	206.957	206.957
<b>Ağustos</b>	0	298.206	298.206
<b>Eylül</b>	3.069	197.035	200.103
<b>Ekim</b>	231.848	206.371	438.219
<b>Kasım</b>	444.097	253.785	697.882
<b>Aralık</b>	634.319	300.999	935.318
<b>Toplam</b>	3.955.823	3.059.258	7.015.081

## 4.2. Simülasyon Sonuçları

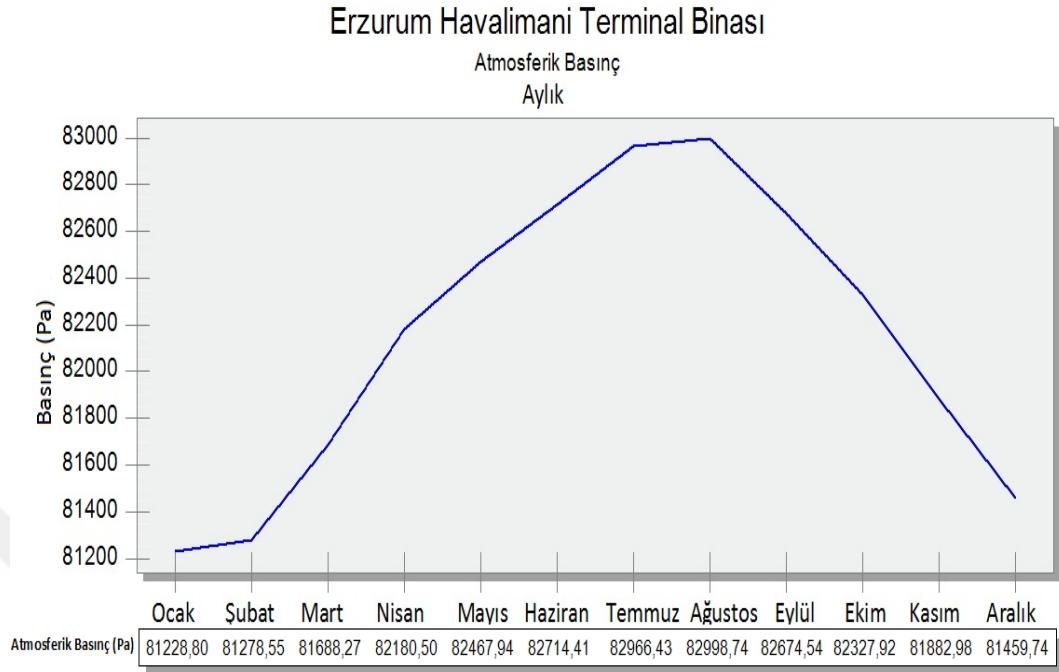
EnergyPlus'dan yapı tasarımının ısıtma dizaynı, soğutma dizaynı, simülasyonu, sıcaklık, hız ve basınç dağılımları ve güneşliği simülasyonu gibi çıktılar elde edilmektedir. Isıtma ve soğutma dizaynı, karşılaştırılması muhtemel en düşük ve en yüksek hava koşulları için gerekli ısıtma ve soğutma ekipmanlarının boyutlarını belirlemek amacıyla yapılmaktadır. DesignBuilder'da Erzurum için bu tasarım hesabı yapılırken en düşük sıcaklık  $-29,1^{\circ}\text{C}$ , en yüksek sıcaklık ise  $30^{\circ}\text{C}$  alınmakta ve HVAC ekipmanlarının boyutlandırması bu sıcaklıklara göre yapılmaktadır. Terminal binasının bulunduğu  $39^{\circ}57'19''\text{N}$ ,  $41^{\circ}10'09''\text{E}$  coğrafi koordinatları için atmosferik basınç, ortalama dış hava kuru termometre sıcaklığı, rüzgâr hızı ve rüzgâr yönünün değişimi sırasıyla Şekil 4.1, Şekil 4.2, Şekil 4.3 ve Şekil 4.4'de gösterilmiştir. Bu veriler EnergyPlus'dan Erzurum için ortalama iklimsel verilerin tamamının kayıtlı olduğu .epw uzantılı *weather data* dosyasının girilmesiyle elde edilmiştir.

Şekil 4.1'de atmosferik basınç değerinin aylara göre değişimi görülmektedir. Şekilden de anlaşılacağı üzere atmosferik basınç, en düşük değerine 81.228,80 Pa ile Ocak ayında sahip olurken en yüksek değerine 82.998,74 Pa ile Ağustos ayında ulaşmaktadır.

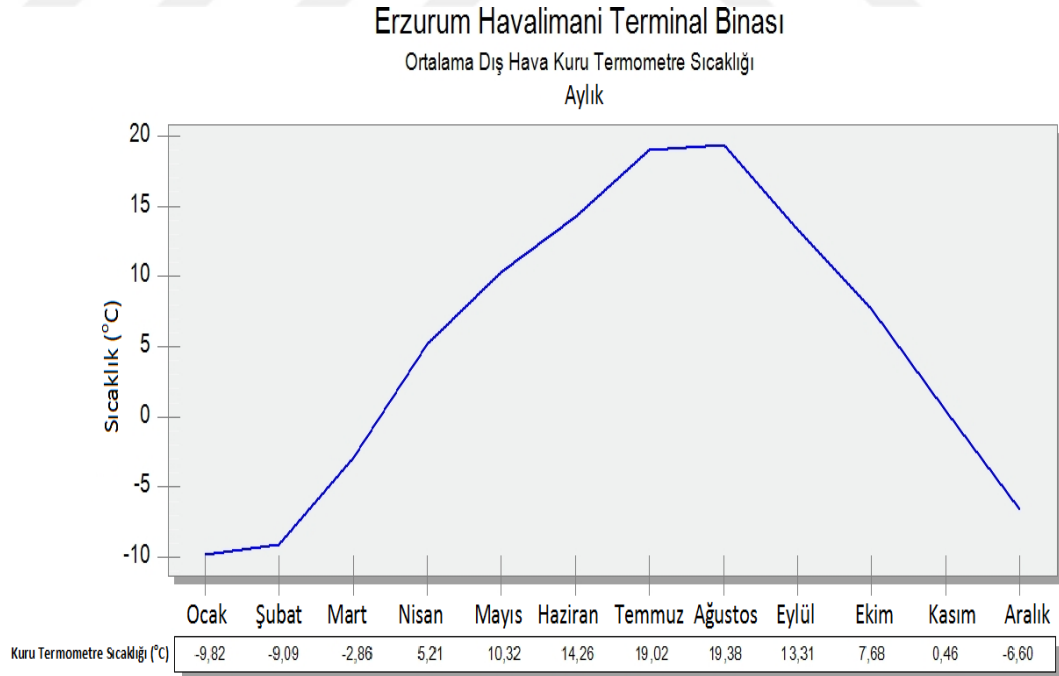
Dış hava kuru termometre sıcaklığı Şekil 4.2'de verilmiştir. En düşük ortalama kuru termometre sıcaklığı yaklaşık  $-9,82^{\circ}\text{C}$  ile Ocak ayında, en yüksek ortalama kuru termometre sıcaklığı ise yaklaşık  $19,38^{\circ}\text{C}$  ile Ağustos ayında elde edilmektedir.

Erzurum Havalimanı terminal binasının bulunduğu konumun rüzgâr hızı değişimi Şekil 4.3'de görülmektedir. Konumun aldığı rüzgârın hızı 2,5 m/s ile 3,8 m/s arasında değişiklik göstermektedir. Rüzgâr hızı kış aylarında düşükken bahar ve yaz aylarında nispeten daha yüksektir.

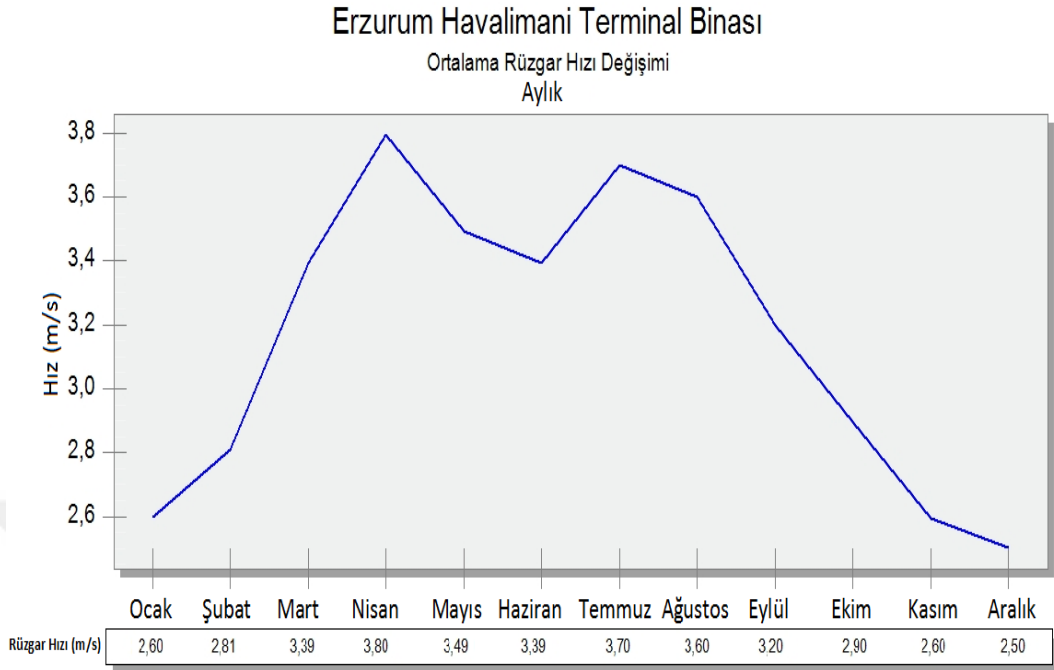




**Şekil 4.1.** Erzurum Havalimanı terminal binasının bulunduğu konumun aylara göre atmosferik basınç değişimi

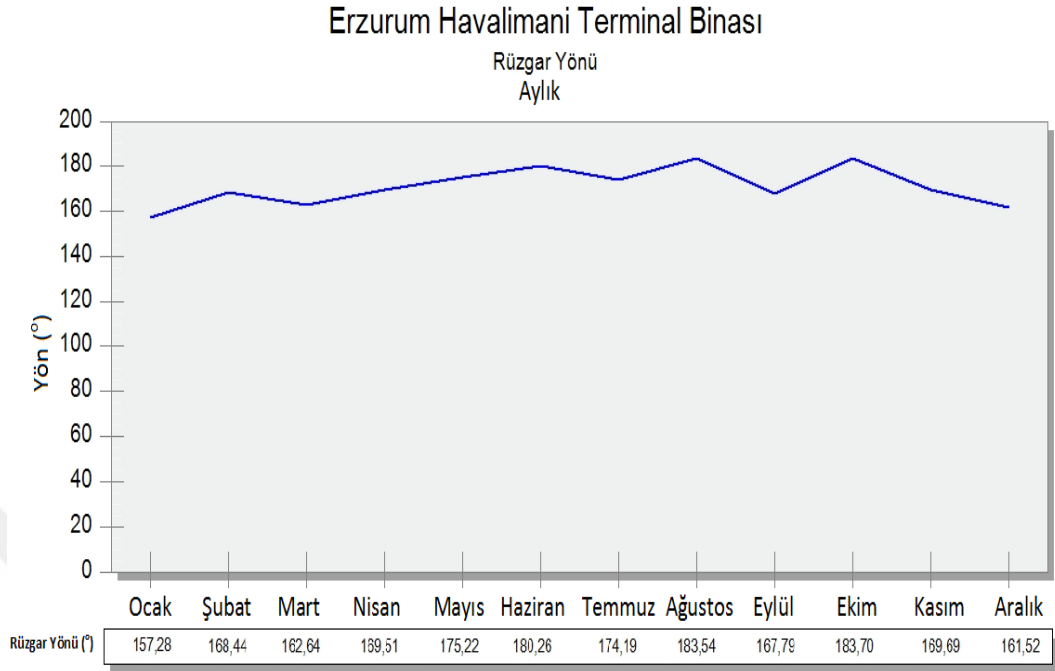


**Şekil 4.2.** Erzurum Havalimanı terminal binasının bulunduğu konumun ortalama dış hava kuru termometre sıcaklığının değişimi



**Şekil 4.3.** Erzurum Havalimanı terminal binasının bulunduğu konumun rüzgâr hızı değişimi

Şekil 4.4’de rüzgâr yönünün değişimi görülmektedir. Rüzgâr yönü aylara göre çok fazla değişiklik göstermemektedir. Rüzgâr yönü genel olarak  $157^{\circ}$  ile  $183^{\circ}$  arasında değişmekte olduğundan terminal binasının aldığı rüzgâr genel olarak kible keşişlemez. Burada  $180^{\circ}$  güney yönden esen rüzgârı göstermektedir.



**Şekil 4.4.** Erzurum Havalimanı terminal binasının bulunduğu konumun rüzgâr yönü değişimi

Şekil 4.5’de Erzurum Havalimanı terminal binasına gelen güneş enerjisi miktarının aylara göre değişimi gösterilmektedir. Söz konusu güneş enerjisi miktarı doğrudan normal güneş enerjisi ve difüz yatay güneş enerjisi olmak üzere iki çeşittir. Doğrudan normal güneş enerjisi yaz aylarında artarak ağustos ayında maksimum  $211,44 \text{ kWh/m}^2$  seviyesine ulaşmıştır. Difüz yatay güneş enerjisi ise yine yaz aylarında artış göstermiş haziran ayında  $85,21 \text{ kWh/m}^2$  ile maksimum seviyesine ulaşmış ve daha sonra düşüşe geçmiştir.

Şekil 4.6’da Havalimanı Terminal binasının iç ısı kazançlarının, zon duyulur ısıtma ve zon duyulur soğutma yüklerinin aylara göre değişimi görülmektedir. En fazla iç ısı kazancı aydınlatmadan oluşmaktadır. Bu iç ısı kazancını sırasıyla dış pencere güneş kazancı, insanlar, bilgisayar+cihazlar ve pişirmeden kaynaklı kazançlar takip etmektedir. En yüksek zon duyulur ısıtma yüküne ise  $90,50 \text{ MWh}$  ile Ocak ayında ulaşılmaktadır. Zon duyulur ısıtma yükü kış aylarında artarken yaz aylarında neredeyse sıfır olmaktadır. Ancak zon duyulur ısıtma yükünün sıfır olduğu hiçbir ay yoktur.

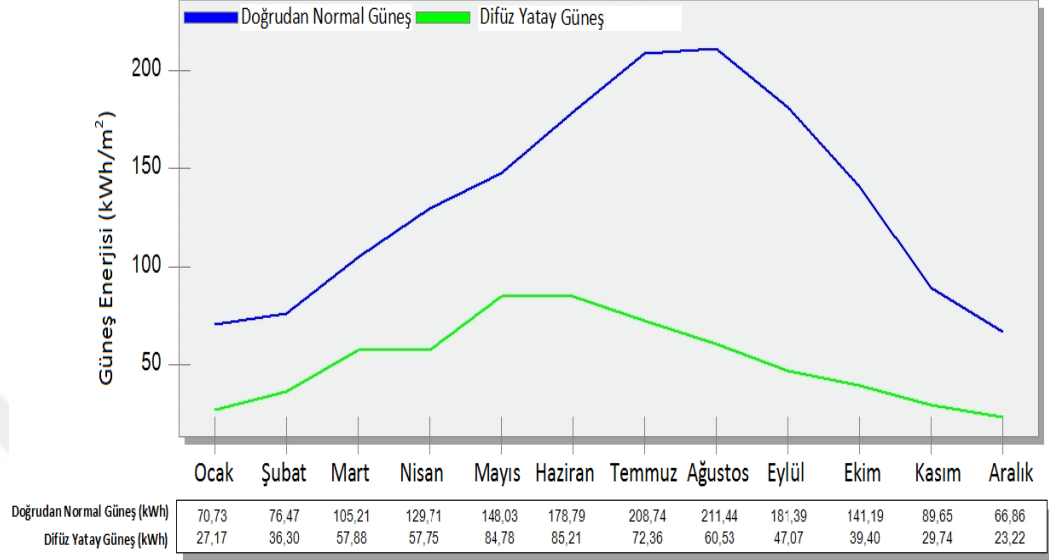
Bunun nedeni tüm aylarda, bazı mahal sıcaklıklarının konfor şartları sıcaklığının altına düştüğü günlerin olmasıdır. Bu da söz konusu mahallerde ısıtma yükü olduğu anlamına gelmektedir. Zon duyulur soğutma yükünün en yüksek olduğu ay ise 101,96 MWh ile Temmuz ayıdır.

Şekil 4.7’de dizayn günü için terminal binasından gerçekleşen ısı kaybı ve toplam zon duyulur ısıtma yükü görülmektedir. Dizayn günü, dış hava kuru termometre sıcaklığının en düşük seviyede olduğu gündür. DesignBuilder programında Erzurum için bu sıcaklık  $-29,1^{\circ}\text{C}$  olarak alınmaktadır. Binada en fazla ısı kaybı havalandırma ile gerçekleşmektedir. Bu ısı kaybını pencereler, çatı, dış duvarlar ve infiltrasyon izlemektedir. Zon duyulur ısıtma yükü ise tüm ısı kayıplarının toplamıdır. Binanın toplam ısıtma yükü 1962,81 kW olarak bulunmuştur. Zon duyulur ısıtma yükünün dizayn ısı yükü olmadığına dikkat edilmelidir. Dizayn ısıtma yükü EnegyPlus'ta zon duyulur ısıtma yükünün 1,2 katı olmakla birlikte bu değer tasarımcı tarafından değiştirilebilmektedir.

Şekil 4.8 enerji tüketiminin gerçekleştiği sistemler ile bu sistemlerdeki enerji tüketim miktarlarının aylara göre değişimini göstermektedir. En çok enerji tüketimi ısıtma yükünü karşılamak için kullanılmakta olup 810,11 MWh ile Ocak ayında en yüksek değerine ulaşmaktadır. Bu tüketimi sırasıyla aydınlatma, pompa ve fanlar, sıhhi sıcak su, soğutma sistemi ve mahal elektriği sistemleri takip etmektedir. Isıtma yükünü karşılamada kullanılan doğalgaz tüketimi kış aylarında artarken soğutma grubu elektrik tüketimi sıfır olmaktadır. Yaz aylarında ise ısı üretiminde kullanılan doğalgaz tüketimi azalmakta soğutma grubunun elektrik tüketimi ise artmaktadır. Diğer değişkenlerin enerji tüketimleri ise yıl boyunca neredeyse sabit olmaktadır.

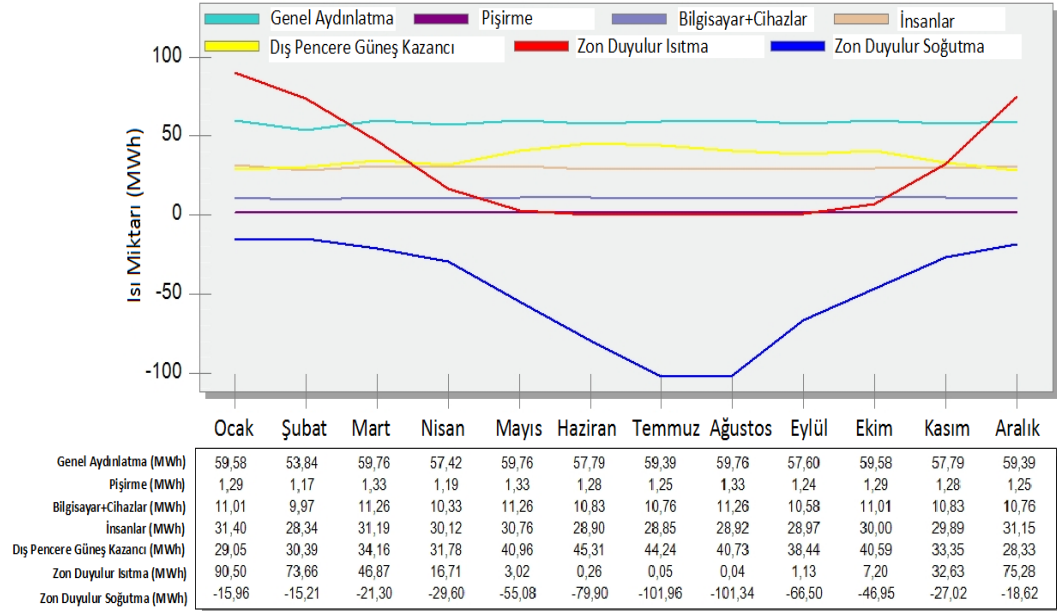
Şekil 4.9’da Erzurum Havalimanı terminal binasının terminal binasının sistemlere göre yıllık enerji tüketimi değerleri gösterilmektedir. Terminal binasında tüketimin en fazla olduğu sistemler ısıtma ve aydınlatma sistemleridir. Isıtma için tüketilen enerji 4.410.033 kWh iken aydınlatma için tüketilen enerji 745.806,7 kWh değerindedir. En az enerji tüketimi ise dış aydınlatma sisteminde olup 1.314 kWh değerindedir.

## Erzurum Havalimanı Terminal Binası

Güneş Enerjisi Miktarı  
Aylık

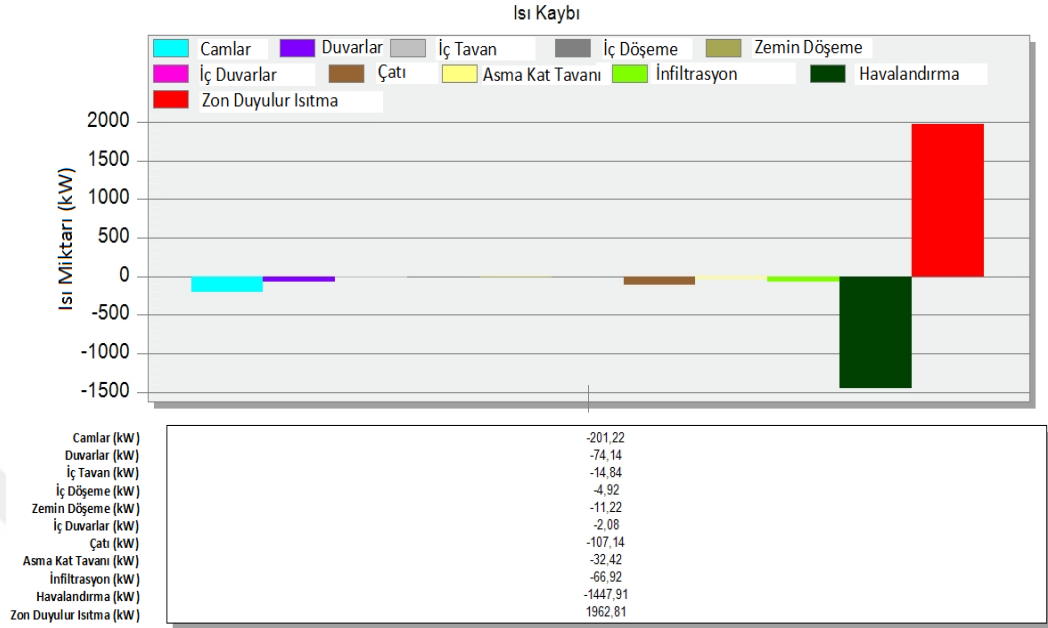
Şekil 4.5. Erzurum Havalimanı terminal binasına gelen güneş enerjisi miktarı

## Erzurum Havalimanı Terminal Binası

İç ve Güneş Enerjisi Kazancı  
Aylık

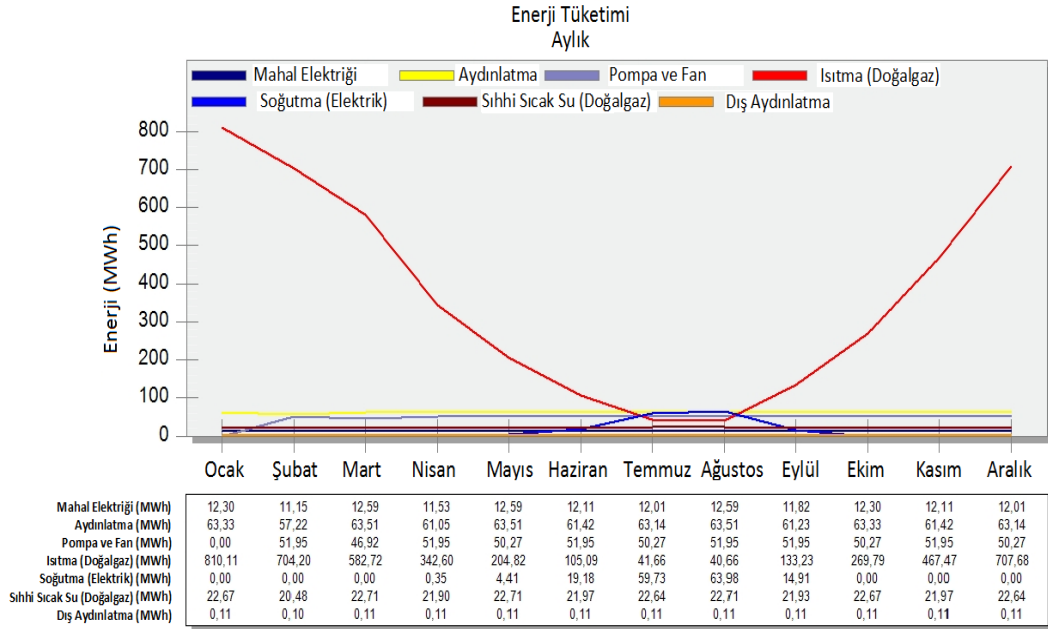
Şekil 4.6. Erzurum Havalimanı terminal binasının iç ısı kazançlarının, zon duyulur ısıtma ve zon duyulur soğutma yüklerinin aylara göre değişimi

## Erzurum Havalimanı Terminal Binası

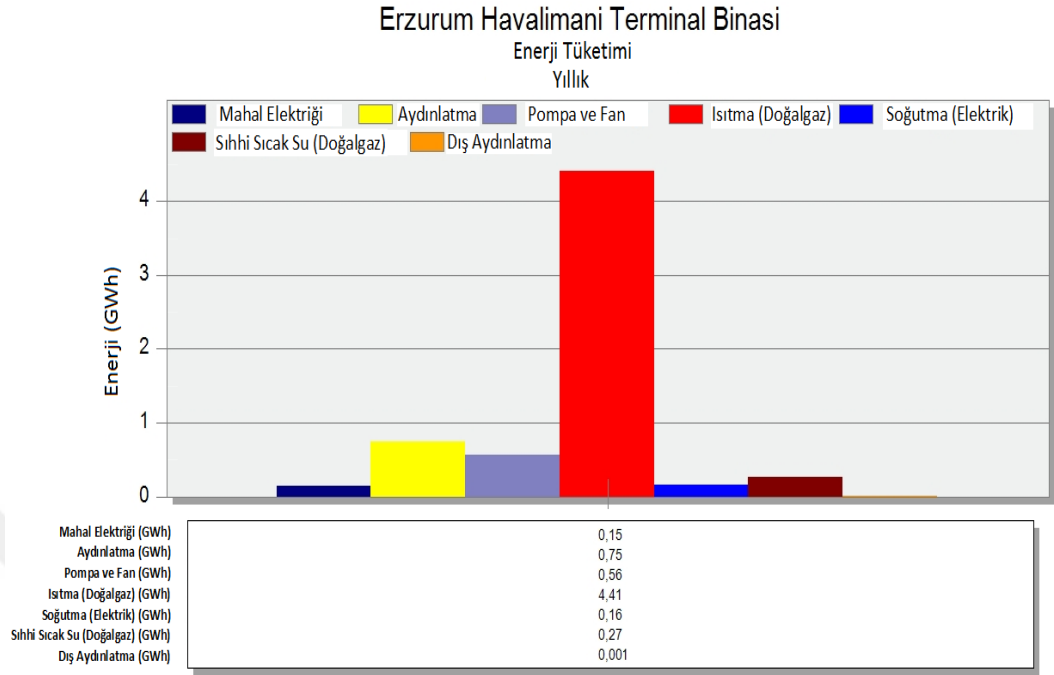


Şekil 4.7. Erzurum Havalimanı terminal binasının dizayn günü için ısı kayıpları ve zon duyulur ısıtma yükü

## Erzurum Havalimanı Terminal Binası



Şekil 4.8. Erzurum Havalimanı terminal binasının sistemlere göre enerji tüketiminin aylık değişimi



**Şekil 4.9.** Erzurum Havalimanı terminal binasının sistemlere göre yıllık enerji tüketimi

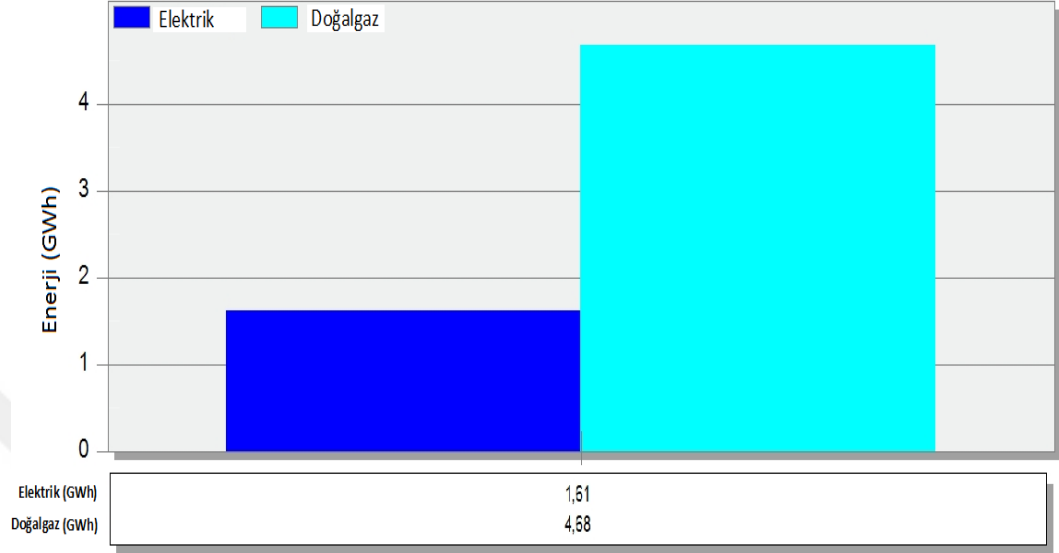
Şekil 4.10'da Erzurum Havalimanı terminal binasının bir yıllık toplam enerji tüketimi görülmektedir. Binanın elektrik tüketimi 1.614.464 kWh, doğalgaz tüketimi 4.677.043 kWh, toplam enerji tüketimi ise 6.291.507 kWh olarak bulunmuştur. Binanın toplam bir yıllık doğalgaz enerjisi tüketimi elektrik enerjisi tüketiminin yaklaşık 2,9 katı kadardır.

Şekil 4.11'de Erzurum Havalimanı terminal binasının terminal binasının aylık CO<sub>2</sub> üretimi görülmektedir. CO<sub>2</sub> üretimi binanın doğalgaz ve elektrik tüketimleri sonucu oluşmaktadır. Şekilden de anlaşılacağı gibi CO<sub>2</sub> üretimi kış aylarında artarken yaz aylarında azalmakta ve yıllık toplam CO<sub>2</sub> üretimi 1.855.590 kg değerine ulaşmaktadır.

## Erzurum Havalimani Terminal Binası

Toplam Enerji Tüketimi

Yıllık

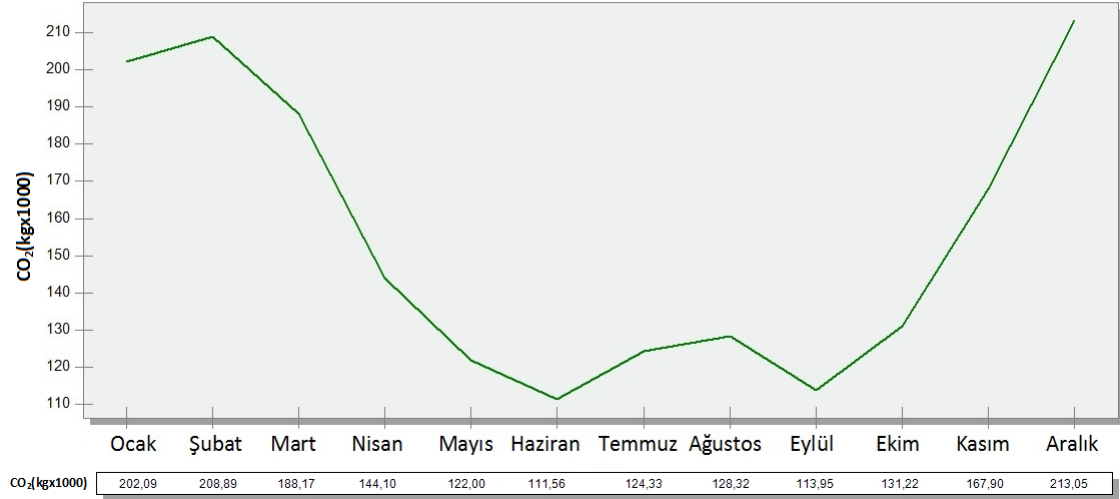


Şekil 4.10. Erzurum Havalimani terminal binasının yıllık enerji tüketimi

## Erzurum Havalimani Terminal Binası

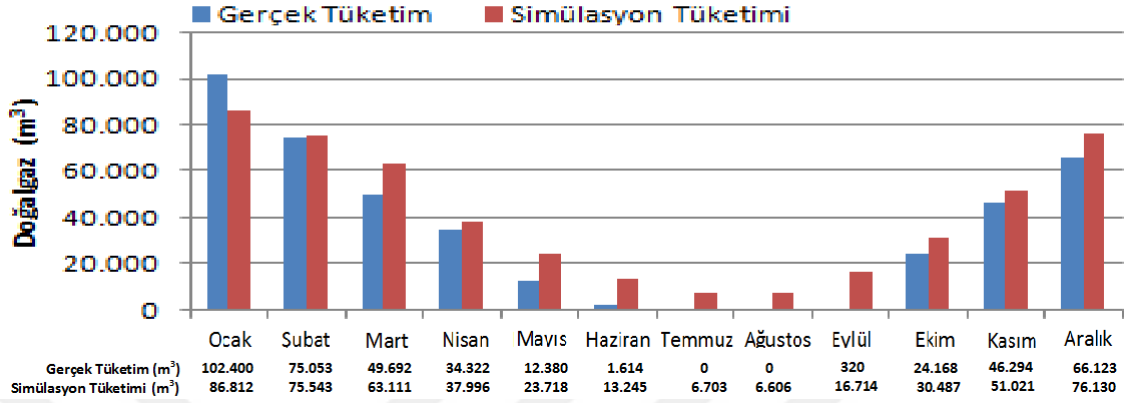
CO<sub>2</sub> Üretimi

Aylık

Şekil 4.11. Erzurum Havalimani terminal binasının aylık CO<sub>2</sub> üretimi

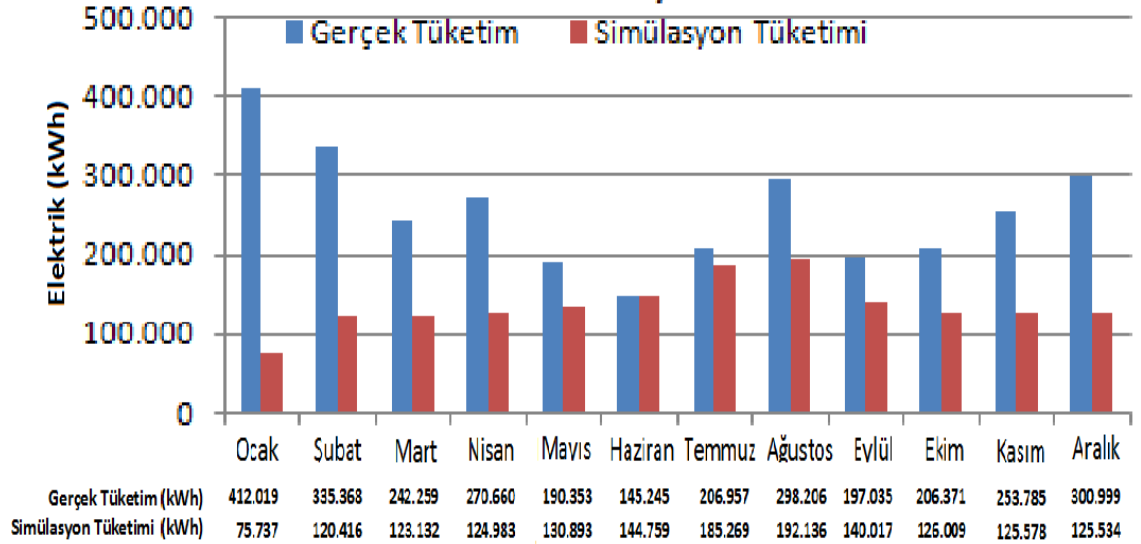


**Erzurum Havalimanı Terminal Binası**  
**Doğalgaz Tüketimleri**  
**Aylık**



**Şekil 4.12.** Erzurum Havalimanı terminal binasının gerçek doğalgaz tüketimi ile simülasyon sonucu elde edilen doğalgaz tüketimleri

**Erzurum Havalimanı Terminal Binası**  
**Elektrik Tüketimleri**  
**Aylık**

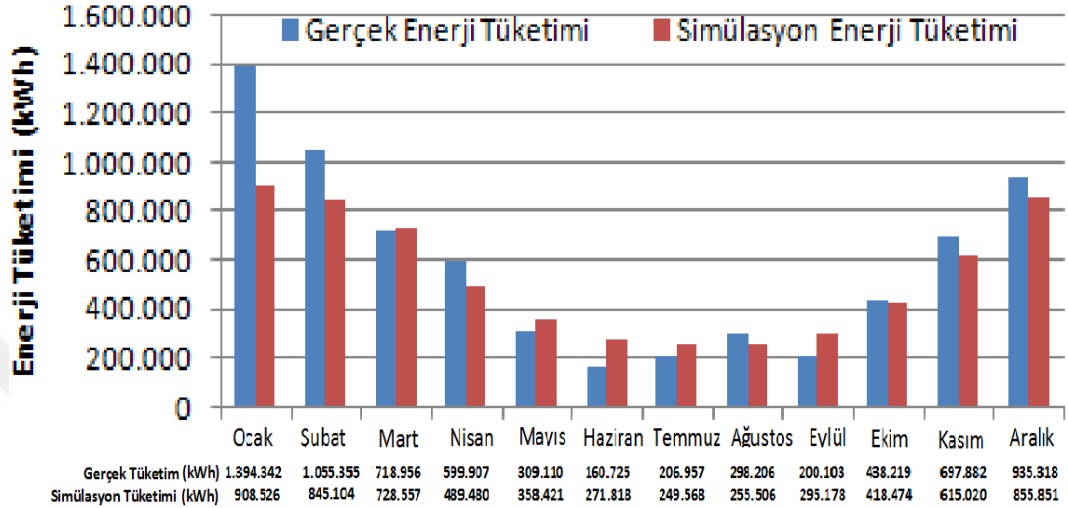


**Şekil 4.13.** Erzurum Havalimanı terminal binasının gerçek elektrik tüketimi ile simülasyon sonucu elde edilen elektrik tüketimleri

Şekil 4.12'de Erzurum Havalimanı terminal binasının gerçek doğalgaz tüketimleri ile simülasyon sonucu elde edilen doğalgaz tüketim değerlerinin karşılaştırılması, Şekil 4.13'de ise gerçek elektrik tüketimleri ile simülasyon sonucu elde edilen elektrik

tüketim değerlerinin karşılaştırılması görülmektedir. Terminal binasının yıllık gerçek ve simülasyon doğalgaz tüketimleri sırasıyla 412.365 m<sup>3</sup> ve 487.546 m<sup>3</sup> iken, yıllık gerçek ve simülasyon elektrik tüketimleri sırasıyla 3.059.258 kWh ve 1.614.463 kWh değerindedir. Şekil 4.12'den de anlaşılacağı gibi gerçek doğalgaz tüketimleri ile simülasyon sonucu elde edilen doğalgaz tüketimleri 2. ayda birbirine çok yakınken, 1. ayda gerçek doğalgaz tüketimi daha fazla, diğer tüm aylarda ise simülasyon sonucu elde edilen tüketimler daha fazladır. Şekil 4.13'te ise 6. ayda gerçek ve simülasyon elektrik tüketimleri birbirine çok yakınken diğer aylarda gerçek elektrik tüketimi simülasyon sonucu elde edilen elektrik tüketimlerinden daha fazladır. Bu farklılıkların nedeni, terminal binasının modellenmesi yapılırken bina geometrisi, yapı detayları, HVAC ekipmanları, aydınlatma ekipmanları gibi yapı ve sistem karakteristikleri doğru bir şekilde tespit edilip modellemeye girilirken; HVAC ve aydınlatma sistemlerinin gerçek çalışma koşullarının, sıhhi sıcak su kullanımının gerçek oranlarının, bilgisayarlardan, mahallerde kullanılan elektrikli cihazlardan ve insanlardan olan iç enerji kazanımının net bir şekilde tespit edilememesidir. Bu nedenle modelleme girdileriyle gerçek değerler birebir örtüşmemektedir. Örneğin terminal binasındaki birçok zonun kış şartları için konfor sıcaklığı bu zonların tasarım sıcaklığı olan 22°C olarak modellemeye girilmiştir. Ayrıca elektrikli aydınlatma armatürlerinin metrekare başına aydınlatma yoğunluğu tüm armatürlerin belirli saatlerde tamamının açık olması durumu dikkate alınarak modelleme yapılmıştır. Ancak gerçek çalışma koşulları modelleme girdileriyle tamamen aynı olmayabilir. Bu nedenle 7. ve 8. aylarda gerçekte doğalgaz tüketimi sıfırken simülasyon sonucuna göre bu aylardaki toplam doğalgaz tüketim miktarı 13.309 m<sup>3</sup> dür. Bunun nedeni, gerçekte bu aylarda belirli mahallerde ortam sıcaklığı konfor şartlarının altına düşmesine ve ısıtma yükü oluşmasına rağmen HVAC ekipmanları ile sıhhi sıcak su sisteminin manüel olarak çalıştırılmamış ve doğalgaz tüketiminin gerçekleşmemiş olmasıdır. Sonuç olarak mahallerin ısıtma sisteminin konfor sıcaklıklarından ve çalışma saatlerinden (modelleme girdilerinden) uzak bir şekilde manüel olarak kapatıldığı ya da açıldığı bunun sonucu olarak ay bazında gerçek ve simüle tüketimler arasında farklılıklar olduğu görülmektedir. Tüm bu nedenlerden dolayı terminal binasının simülasyon doğalgaz tüketim değeri gerçek doğalgaz tüketim değerinden %18 daha yüksek, gerçek elektrik tüketim değeri ise simülasyon elektrik tüketim değerinden %89 daha yüksek bulunmuştur.

**Erzurum Havalimanı Terminal Binası**  
**Toplam Enerji Tüketimleri**  
**Aylık**



**Şekil 4.14.** Erzurum Havalimanı terminal binasının gerçek enerji tüketimi ile simülasyon sonucu elde edilen enerji tüketimleri

Toplam enerji tüketimi değerlerine bakıldığında (Şekil 4.14) terminal binasının gerçek enerji tüketiminin 7.015.081 kWh, simülasyon enerji tüketiminin ise 6.291.507 kWh olduğu görülmektedir. Gerçek ve simülasyon enerji tüketimleri arasındaki fark %11 olarak bulunmuştur.

Wasilowski and Reinhart (2009) yaptıkları çalışmada Cambridge-ABD'de bulunan mevcut bir eğitim binasının DesignBuilder ile modellemesini oluşturmuş, farklı meteorolojik veriler kullanarak EnergyPlus'ta simülasyonlar gerçekleştirmiş ve sonuçları gerçek tüketim değerleriyle karşılaştırmıştır. Binanın ısıtılması için harcanan enerjinin bazı aylarda simülasyon sonuçlarının bazı aylarda ise gerçek tüketimlerin fazla olduğu görülmüştür.

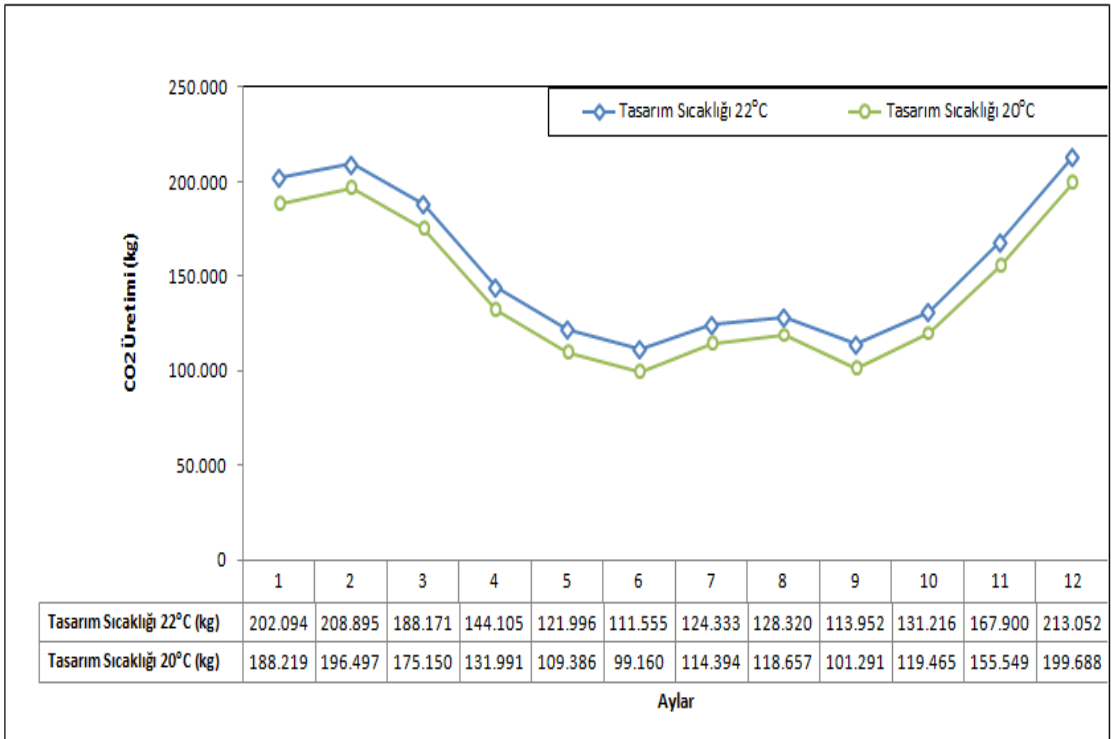
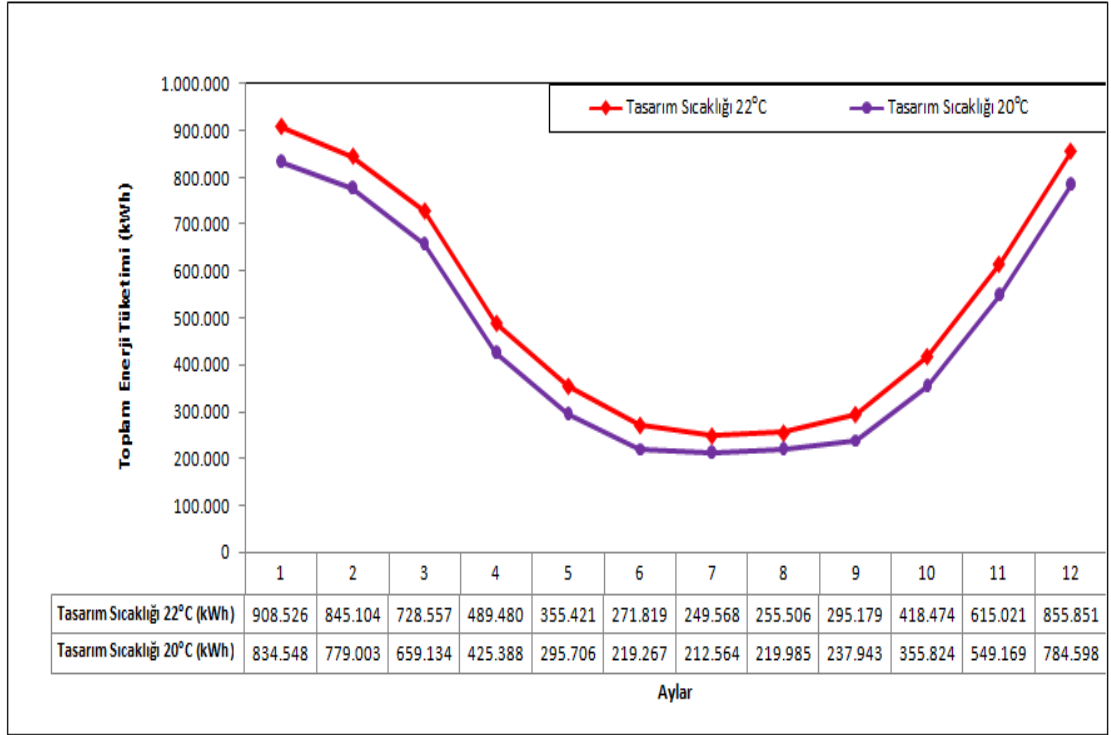
Rahman *et al.* (2010) yaptıkları çalışmada Avustralya'da 4 katlı bir binayı EnergyPlus programı kullanılarak simüle etmişlerdir. Simülasyon sonucu elde edilen aylık toplam

enerji tüketimi değerleri ile ölçülen aylık toplam enerji tüketimi değerleri karşılaştırılmış ve aradaki farkın %9 aralığında kaldığı belirlenmiştir.

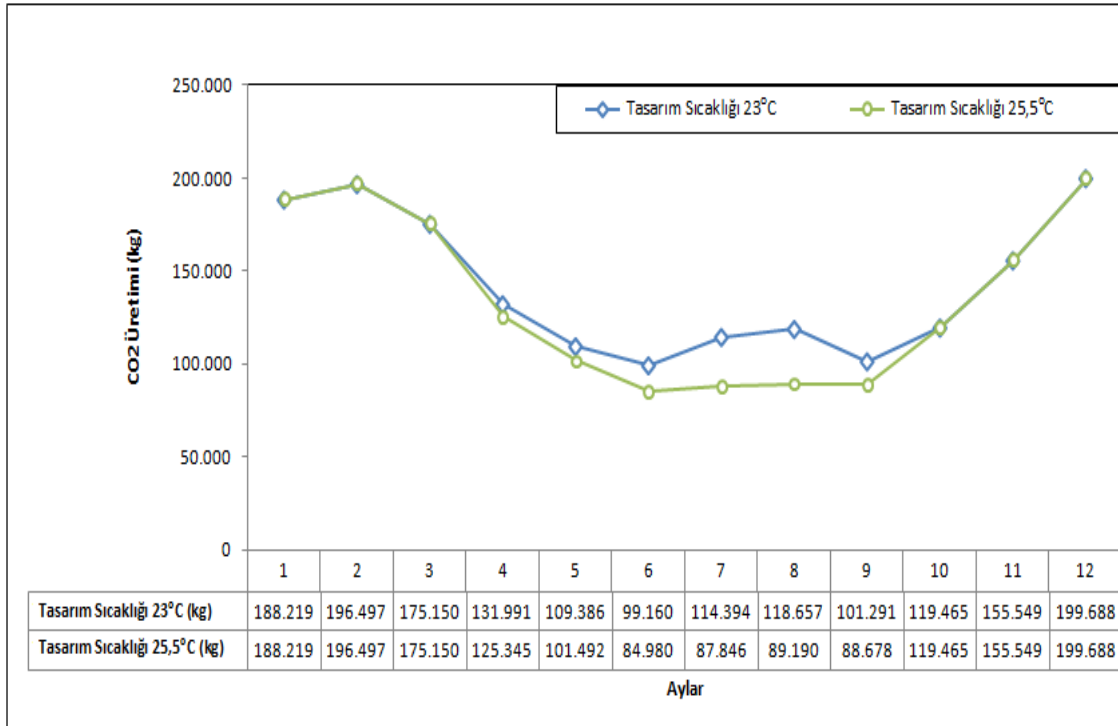
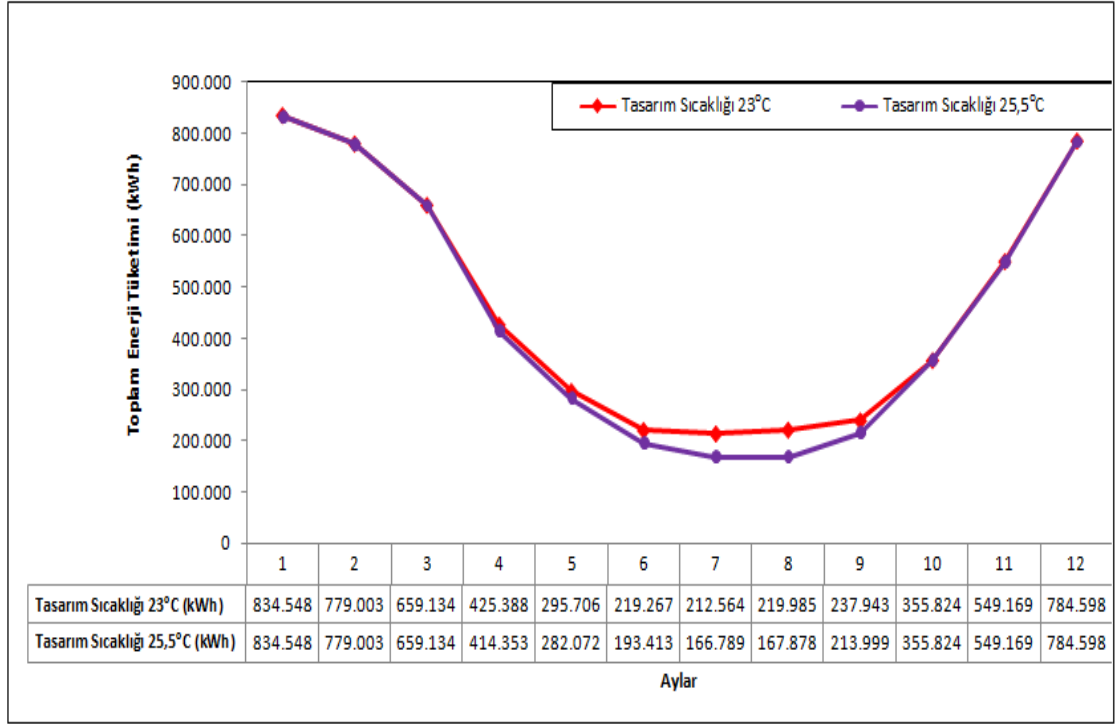
Zeren (2010) tarafından yapılan çalışmada İzmir'de bulunan Adnan Menderes Havalimanı (ADM) dış hatlar terminali EnergyPlus programı kullanılarak simüle edilmiştir. Ölçülen enerji tüketimleri ile simülasyon sonucu elde edilen enerji tüketimleri arasında %70'den fazla fark bulunduğu belirlenmiştir.

Şekil 4.15'de ısıtma tasarım sıcaklığı 22°C'den 20°C'ye düşürüldüğünde bina toplam enerji tüketimi ile toplam CO<sub>2</sub> üretiminin aylara göre değişimi gösterilmektedir. Mahal sıcaklığı 20°C'ye düşürüldüğünde tüm aylardaki toplam enerji tüketimi azalmakta ve en düşük enerji tüketimi temmuz ayında 212.564 kWh olarak gerçekleşmektedir. CO<sub>2</sub> üretimi ise enerji tüketimine paralel olarak azalmaktadır. Temmuz ayında her iki tasarım sıcaklığında da toplam enerji tüketimi azalmasına rağmen CO<sub>2</sub> üretimi artış göstermektedir. Bu artış elektrik enerjisinin karbon emisyon faktörünün, doğalgazın karbon emisyon faktöründen daha büyük olmasından ve bu ayda toplam enerji tüketimi azalmasına rağmen elektrik tüketim oranının artmasından kaynaklanmaktadır.

Şekil 4.16'da soğutma tasarım sıcaklığı 23°C'den 25,5°C'ye yükseltildiğinde bina toplam enerji tüketimi ile bina toplam CO<sub>2</sub> üretiminin aylara göre değişimi gösterilmektedir. Tasarım sıcaklığı 25,5°C'ye yükseltildiğinde soğutmanın yapılmadığı aylarda bina toplam enerji tüketimi ile bina toplam CO<sub>2</sub> üretimi değişmemektedir. Soğutma sisteminin çalıştırıldığı aylarda ise toplam enerji tüketimi ağustos ayında yaklaşık %24 azalarak 167.878 kWh değerine düşmektedir. Bina toplam CO<sub>2</sub> üretimi de soğutmanın yapılmadığı aylarda değişmemekte, soğutma sisteminin çalıştırıldığı haziran ayında ise 84.980 kg ile en düşük değerine ulaşmaktadır.



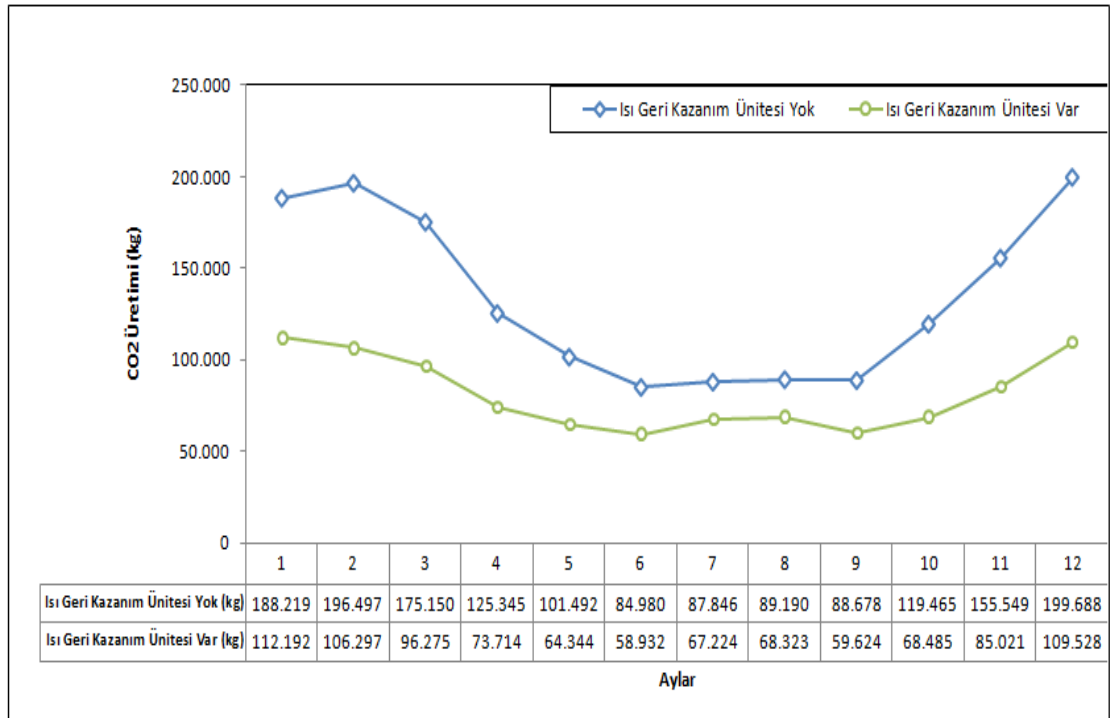
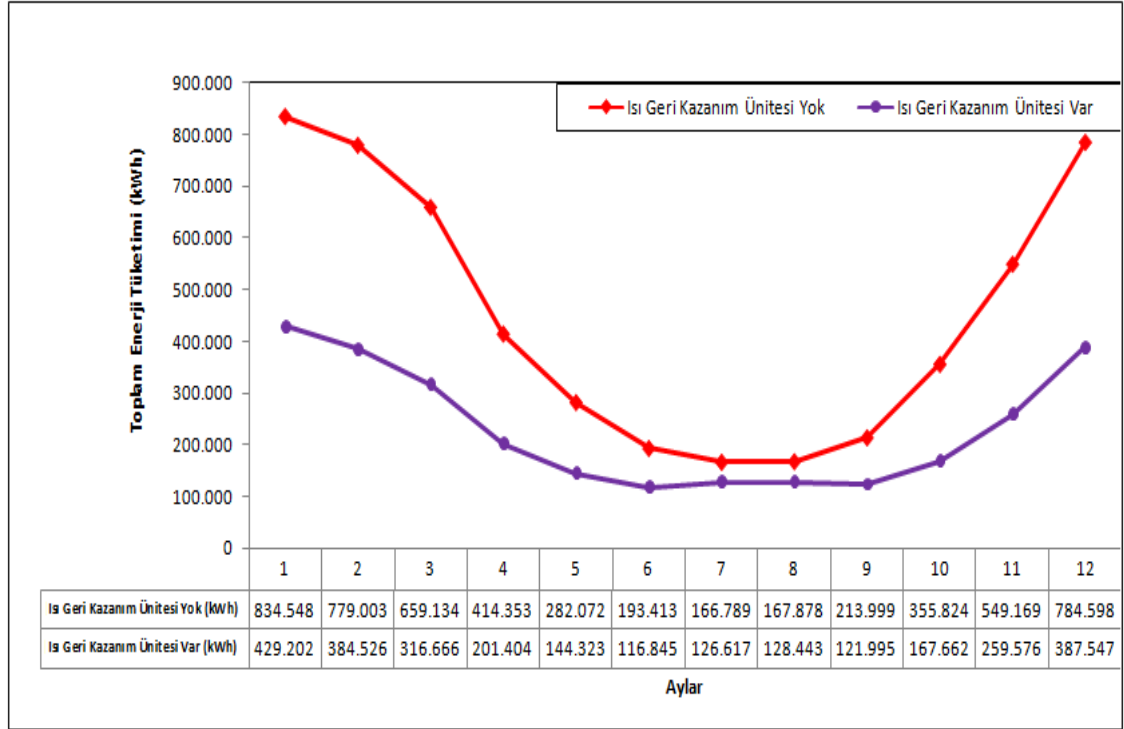
**Şekil 4.15.** Isıtma tasarım sıcaklığı 22°C'den 20°C'ye düşürüldüğünde bina toplam enerji tüketimi ve CO<sub>2</sub> değişimi



**Şekil 4.16.** Soğutma tasarım sıcaklığı 23°C'den 25,5°C'ye yükseltildiğinde bina toplam enerji tüketimi ve CO<sub>2</sub> değişimi

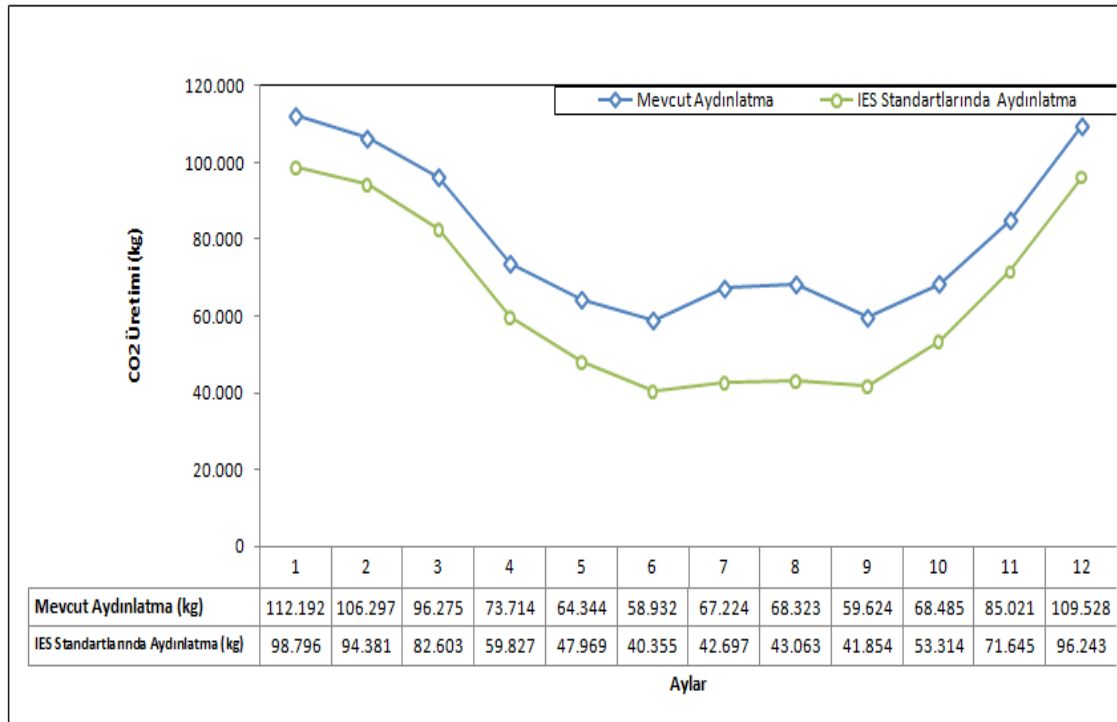
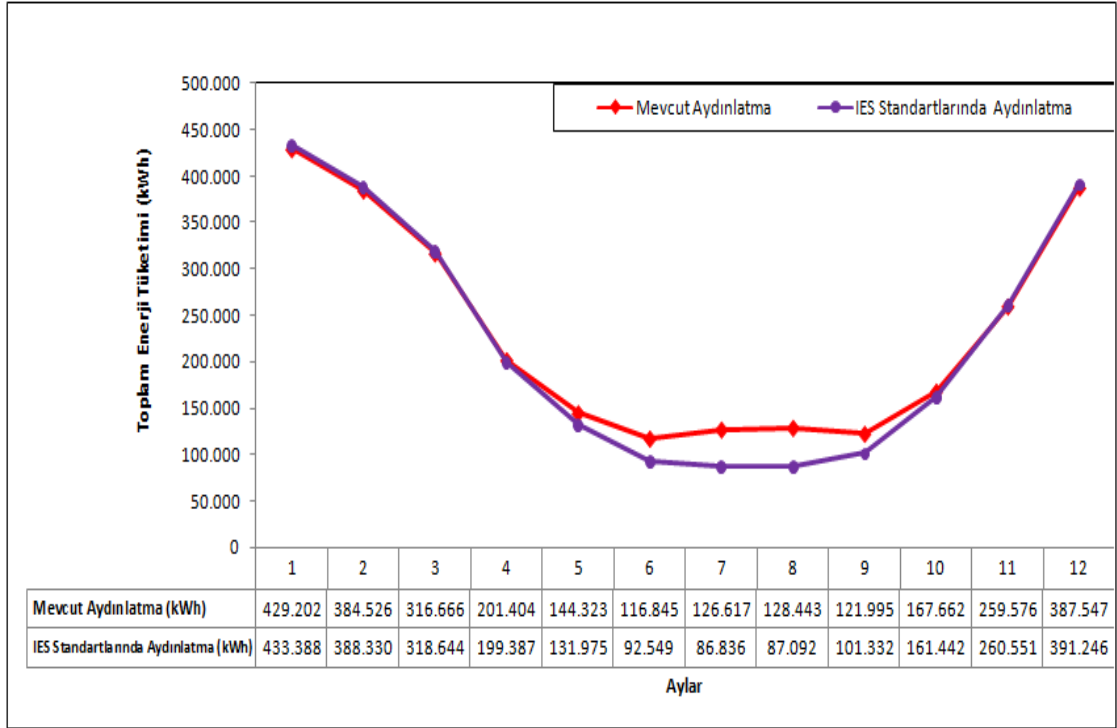
Klima santrallerine ısı geri kazanım ünitesi eklenmesi durumunda bina toplam enerji tüketimi ile toplam CO<sub>2</sub> üretiminin aylara göre değişimi Şekil 4.17'de gösterilmektedir. Klima santrallerine ısı geri kazanım ünitesi eklenmesi tüm aylarda toplam enerji tüketimini azaltmaktadır. Bu azalış özellikle ısıtma mevsiminde oldukça fazladır. Örneğin; Ocak ayında toplam enerji tüketimi 834.548 kWh iken ısı geri kazanım ünitelerinin kullanılmasıyla toplam enerji tüketimi yaklaşık %49 azalarak 429.202 kWh değerine düşmektedir. Toplam CO<sub>2</sub> üretimi ise enerji tüketimine paralel olarak azalmakta ve elektrik tüketiminin toplam enerji tüketimi içindeki payının arttığı yaz aylarında bir miktar artış göstermektedir. Bu artış daha önce de bahsedildiği gibi elektrik enerjisinin karbon emisyon faktörünün, doğalgazın karbon emisyon faktöründen daha büyük olmasından kaynaklanmaktadır.

Şekil 4.18'de binadaki tüm mahallerin aydınlatma şiddetlerinin, IES standartlarında belirtilen aydınlatma şiddeti seviyelerine düşürülmesi durumunda bina toplam enerji tüketimi ile bina toplam CO<sub>2</sub> üretiminin aylara göre değişimi gösterilmektedir. Aydınlatma şiddetlerinin düşürülmesi sonucunda 1., 2., 3., 11. ve 12. aylarda toplam enerji tüketimi artarken diğer aylarda azalmaktadır. Aydınlatma şiddetlerinin düşürülmesi sonucunda bina toplam elektrik enerjisi tüketimi azalmasına rağmen elektrik armatürlerinden kaynaklanan iç enerji kazancı azaldığı için ısıtmanın gerçekleştiği 1., 2., 3., 11. ve 12 aylarda doğalgaz tüketimi artmakta ve toplam enerji tüketimi artış göstermektedir. Diğer aylarda ise bina toplam enerji tüketimi azalmıştır. Bina toplam CO<sub>2</sub> üretimi ise tüm aylarda azalarak haziran ayında 40.355 kg seviyesine düşmüştür.



Şekil 4.17. Isı geri kazanım ünitesi kullanıldığında bina toplam enerji tüketimi ve CO<sub>2</sub> değişimi

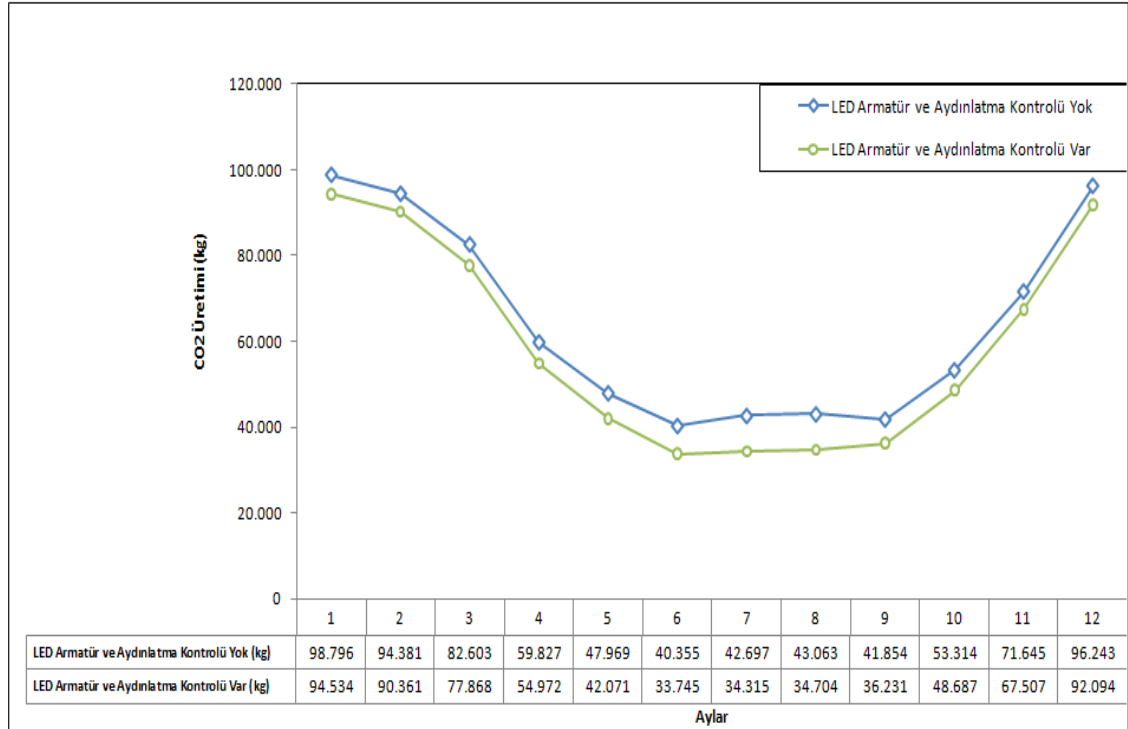
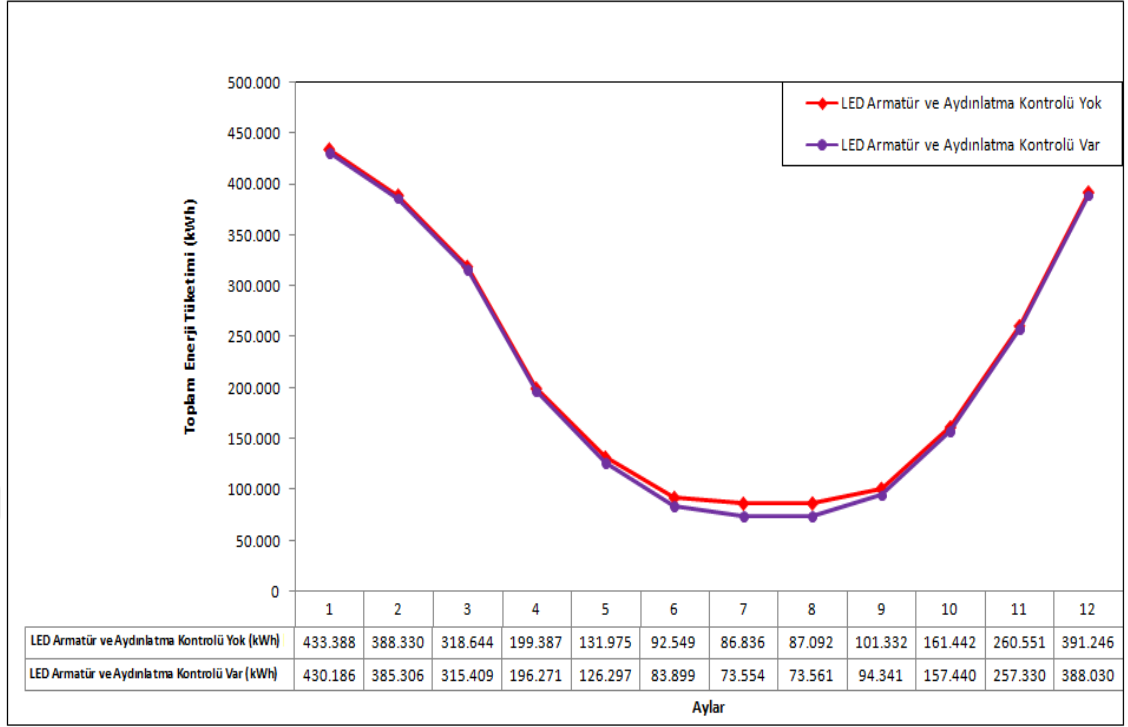




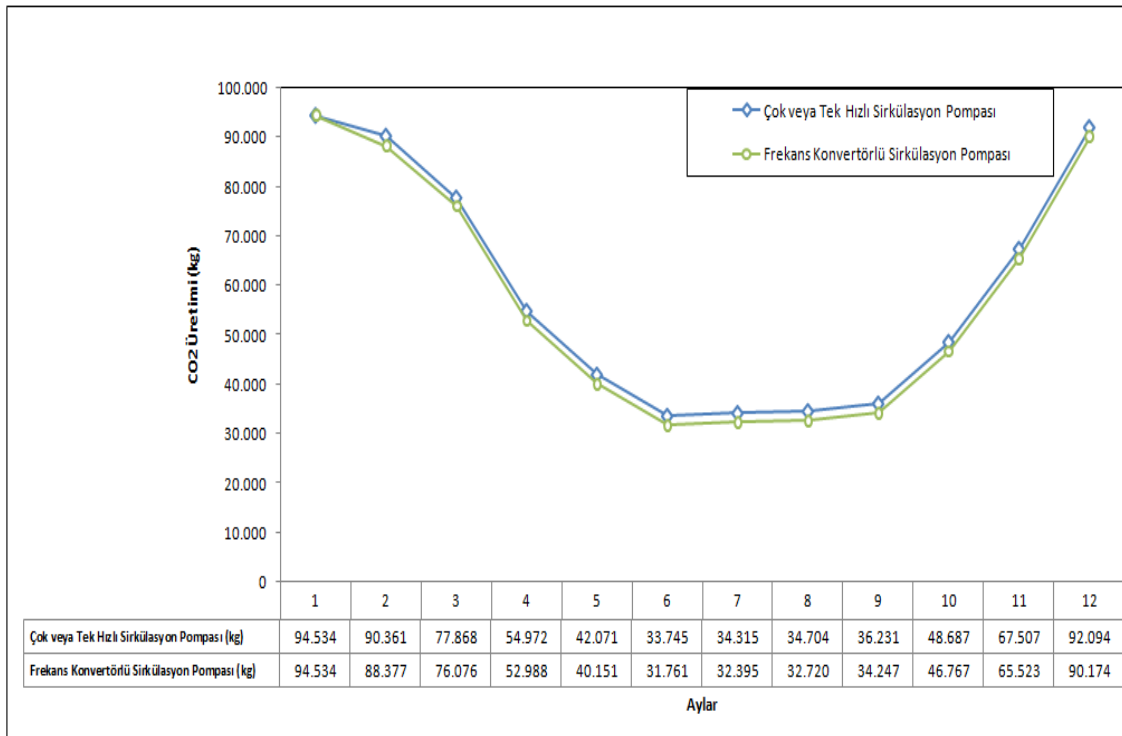
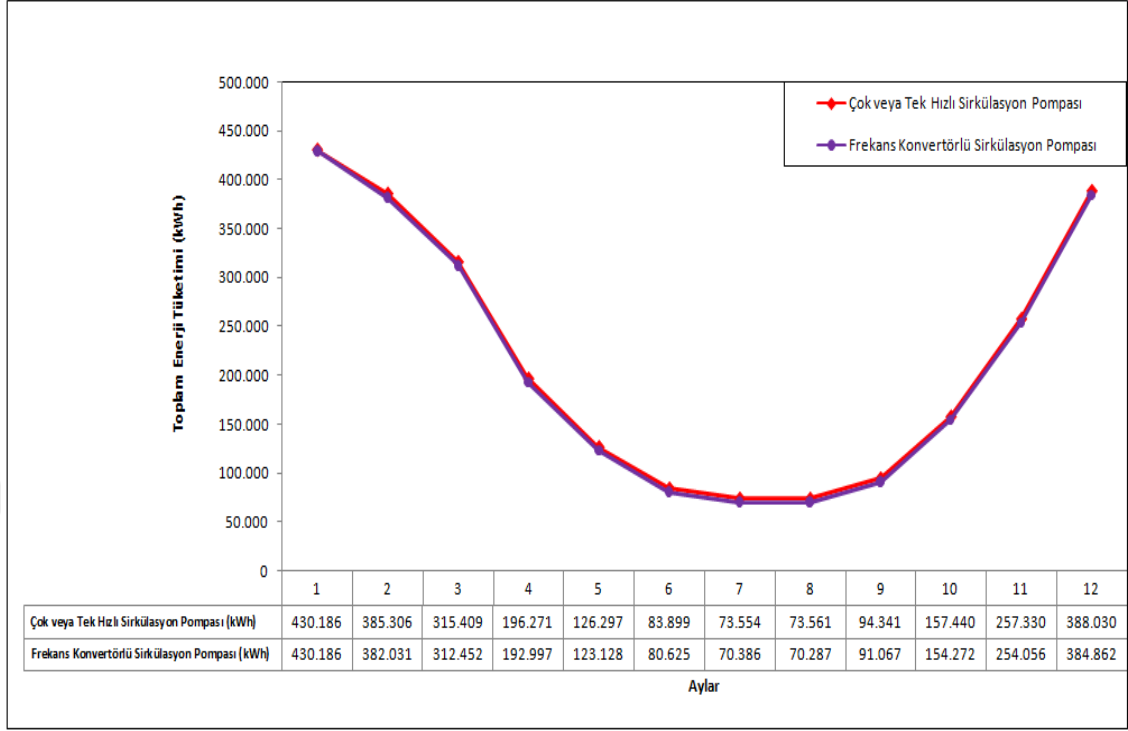
Şekil 4.18. Aydınlatma şiddetleri IES standartlarına getirildiğinde bina toplam enerji tüketimi ve CO<sub>2</sub> değişimi

Binadaki tüm mahallerde LED armatürler ve aydınlatma kontrolü kullanılması durumunda bina toplam enerji tüketimi ile bina toplam CO<sub>2</sub> üretiminin aylara göre değişimi Şekil 4.19'da gösterilmektedir. Aydınlatma sisteminde LED armatürler ve aydınlatma kontrolü kullanılması durumunda tüm aylarda hem bina toplam enerji tüketimi hem de bina toplam CO<sub>2</sub> üretimi azalmaktadır. Aydınlatma armatürlerinin LED armatür olarak yenilenmesi ve aydınlatma kontrolü kullanılması sonucunda bina toplam elektrik enerjisi tüketimindeki azalış ısıtma mevsimlerinde elektrik armatürlerinden kaynaklanan iç enerji kazancı azaldığı için diğer aylara göre daha az gerçekleşmektedir. CO<sub>2</sub> üretimi ise en büyük azalışı temmuz ayında gerçekleştirmiştir. Temmuz ayında CO<sub>2</sub> üretimi 8.382 kg azalarak 34.315 kg seviyesine düşmüştür.

Şekil 4.20'de terminal binası sirkülasyon pompalarının frekans konvertörlü olarak değiştirilmesi durumunda bina toplam enerji tüketimi ile bina toplam CO<sub>2</sub> üretiminin aylara göre değişimi gösterilmektedir. Bina toplam enerji tüketimi ve bina toplam CO<sub>2</sub> üretimi Ocak ayında değişmezken diğer tüm aylarda azalmaktadır. Bina toplam enerji tüketimi en düşük değerine 70.287 kWh ile ağustos ayında ulaşırken CO<sub>2</sub> üretimi en düşük değerine 31.761 kg ile haziran ayında ulaşmaktadır. Yıllık toplam CO<sub>2</sub> üretimi ise yaklaşık %3 azalmaktadır.



**Şekil 4.19.** LED armatürler ve aydınlatma kontrolü kullanıldığında bina toplam enerji tüketimi ve CO<sub>2</sub> değişimi



**Şekil 4.20.** Frekans konvertörlü sirkülasyon pompaları kullanıldığında bina toplam enerji tüketimi ve CO<sub>2</sub> değişimi

## 5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Binaların sıfır enerji seviyesi konusunda üç temel yaklaşım söz konusudur (WBCSD 2007):

- 1) *Bina Enerji Talebinin Azaltılması*: Bu yaklaşımın amacı binada enerjinin tüketildiği tüm sistemlerde enerji tüketiminin kabul edilebilir düzeyde bir yatırım ile minimize edilerek binanın enerji talebini azaltmaktır. İzolasyon yapılması ve enerji verimliliği daha yüksek ekipmanların kullanılması buna örnek olarak verilebilir.
- 2) *Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Kullanılması*: Bu yaklaşımda ise yenilenebilir ve mevcut durumda boşa giden enerji kaynaklarını kullanarak enerjinin yerel olarak üretimi amaçlanır.
- 3) *Pozitif Enerji Üreten Binaların Yapılması*: Bu yaklaşımda temel amaç fazla enerji üreten binalar yapmak ve bu enerjinin akıllı bir şebeke sistemine beslenmesi yoluyla enerji paylaşımını gerçekleştirmektir.

Bu tez kapsamında Erzurum Havalimanı terminal binasının enerji analizi yapılmış ve yukarıda belirtilen birinci ve ikinci yaklaşım kapsamında gerçekleştirilebilecek iyileştirmeler incelenmiştir. Bu nedenle iyileştirme çözümleri sadece mevcut bir binada yapılabilecek iyileştirmeleri kapsamaktadır. Bina kütlelerinin ısı depo olarak kullanılması, binanın yeri, binanın konumu, binanın yönü, binanın formu, hacimlerin yerleştirilmesi vb. bina sıfırdan yapılırken yapılması gereken çözümleri kapsamamaktadır. Terminal binasının nZEB/nnZEB binaya dönüştürülebilmesi için önerilen değişiklikler Çizelge 5.1’de verilmiştir.

**Çizelge 5.1.** Terminal binasının nZEB/nnZEB binaya dönüştürülebilmesi için önerilen değişiklikler

<b>Bina Enerji Talebinin Azaltılması</b>		<b>Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Kullanılması</b>	
1	Bina Dış Kabağında	1	Toprak Kaynaklı Isı Pompalarının Kullanılması
2	İklimlendirme Sisteminde	2	PV Panellerin Kullanılması
3	Aydınlatma Sisteminde	3	Rüzgâr Türbini Kullanılması
4	Sistem Pompaları ve Fanlarında	4	Güneş Enerjili Sıcak Su Sisteminin Kullanılması

## 5.1. Bina Enerji Talebinin Azaltılması

Binalarda enerji talebinin minimize edilebilmesi için enerji kullanan sistemler ile ısı kayıp ve kazançlarının yaşandığı yerlerde kabul edilebilir düzeyde bir yatırım ile iyileştirme yapılması gerekmektedir. Bu çalışmada Erzurum Havalimanı terminal binasının enerji talebinin minimize edilebilmesi için aşağıdaki sistemler üzerinde değişiklikler yapılabileceği göz önüne alınmış ve önerilen değişiklikleri içeren senaryoların simülasyonları yapılarak enerji ve ekonomik açıdan değerlendirilmiştir:

- 1) Bina Dış Kabuğu
- 2) İklimlendirme Sistemi
- 3) Aydınlatma Sistemi
- 4) Sistem Pompaları ve Fanları

### 5.1.1. Bina dış kabuğunda yapılması önerilen değişiklikler

Bu tezin temel amaçlarından birisi analizi yapılan Erzurum Havalimanı terminal binasının net sıfır enerjili bina/neredeyse net sıfır enerjili binaya dönüştürülmesidir. Bu amaç doğrultusunda atılacak ilk adım binanın enerji talebinin minimize edilmesidir. Bina soğuk iklim bölgesinde bulunduğundan bina dış kabuğundan oluşan ısı kayıplarının minimize edilmesi ve güneş ışınım kazanımının en yüksek seviyeye çekilmesi gerekmektedir. Çizelge 5.2’de binanın mevcut durumunun dizayn günü için ısı kayıp miktarları gösterilmektedir. Bu sonuçlar ayrıca Şekil 4.7’den de görülebilir. Görüldüğü gibi ısı kaybının en büyük sebebi havalandırmadır. Havalandırmadan sonra en büyük ısı kaybı pencereler, çatı ve duvarlardan oluşmaktadır. Pencereler, duvarlar ve çatıdan olan ısı kaybının toplam ısı kaybı içerisindeki payı yaklaşık %19’dur.

**Çizelge 5.2.** Terminal binası mevcut durumunun dizayn günü için ısı kayıp çizelgesi

Isı Kaybının Gerçekleştiği Yer	Isı Kayıpları (kW)	Isı Yüğü (kW)
<b>Pencereler</b>	-201,22	-
<b>Duvarlar</b>	-74,14	-
<b>İç Tavan</b>	-14,84	-
<b>İç Döşeme</b>	-4,92	-
<b>Zemin Döşemesi</b>	-11,22	-
<b>İç Duvarlar</b>	-2,08	-
<b>Çatı</b>	-107,14	-
<b>Asma Kat Tavanı</b>	-32,42	-
<b>İnfiltrasyon</b>	-66,92	-
<b>Havalandırma</b>	-	-1447,91
<b>Toplam</b>	-514,9	-1962,81

Çizelge 5.2 bina dış kabuğu toplam ısı geçirgenlik katsayısının (U) düşürülmesi gerektiğini vurgulamaktadır. Ancak ülkemizde yürürlükte bulunan *TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları* standardında tavsiye edilen U değerleri net sıfır enerjili bina yapımı için çok yetersizdir. Bu nedenle bina dış kabuğunda 1991 yılında Almanya'da geliştirilen, dünya genelinde 50.000'i aşkın örneği bulunan ve enerji etkin tasarım standartlarının en önde gelenlerinden biri olan pasif ev standartları kullanılacaktır (Çizelge 2.4). Pasif ev standartlarına sahip bir yapıda ısıtma ve soğutma yükü için harcanan enerji, ülkemizdeki tipik bir binanın enerji ihtiyacının onda biri kadardır. Bu yapılar Almanya'daki Pasif Ev Enstitüsü'nün belirlemiş olduğu standartlar doğrultusunda tasarlanarak inşa edilir. Daha sonra enstitünün vermiş olduğu standartlara uygunluklarına bağlı olarak yapılan testlerin ardından sertifikalandırılır (İZODER 2013). Pencereler, çatı ve duvarlar için pasif ev standartlarında belirtilen U değerleri, dış duvar ve çatı için  $U \leq 0,15 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ , pencereler için  $U \leq 0,8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  değerlerindedir.

Binanın mevcut dış duvarları alüminyum panel kaplama ve granit kaplama olmak üzere iki çeşittir. Bu duvarların ve pencerelerin yapı detayları Çizelge 3.1'de gösterilmektedir. DesignBuilder programına duvarların ve pencerelerin yapı detayları girilerek mevcut alüminyum panel kaplama dış duvarın U değeri  $0,313 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$ , granit kaplama dış duvarın U değeri  $0,312 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$ , pencerelerin U değeri ise  $2,665 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$  olarak

hesaplanmıştır. Bu değerlerin pasif ev standartlarında belirtilen U değerlerinden oldukça uzak olduğu görülmektedir.

Bina dış kabuğu toplam ısı geçirgenlik katsayısının pasif ev standartlarına ulaştırılması için iki değişiklik önerilerek analiz edilmiştir:

- 1) Bina dış kabuğu ısı yalıtım malzemesi kalınlıklarının arttırılması,
- 2) Strüktürel silikon cam cephe yerine düşük ısı yayımlı Low-e kaplamalı üç camlı giydirme cephe sisteminin kullanılması.

Gaziantep Sanayi Odası tarafından tahsis edilen ve GAP-BKI ile UNDP işbirliğinde geliştirilen GAP Enerji Verimliliği Danışmanlık ve Kuluçka Merkezi Binası, Alman Pasif Ev Enstitüsü'nün EnerPHit kriterine göre tasarlanmış ve tadilatı yapılmıştır. Yalıtım amacıyla çatıda 240 mm kalınlıkta, 0,035 W/mK ısı iletkenliğinde camyünü şilte; duvarlarda içten 60 mm ve dıştan ise 160 mm kalınlıkta, 0,033 W/mK ısı iletkenliğinde camyünü levha; zemin ve toprakaltı dış duvarda 200 mm kalınlıkta, 0,035 W/mK ısı iletkenliğinde XPS levha kullanılmıştır. Böylelikle yapı elemanlarının toplam ısı geçiş katsayıları sırasıyla çatıda 0,13 W/m<sup>2</sup>K, duvarda 0,14 W/m<sup>2</sup>K ve zeminde 0,14 W/m<sup>2</sup>K olarak sağlanmıştır (İZOCAM 2015).

Erzurum Havalimanı terminal binasında ise pasif ev standartlarında belirtilen U değerlerine ulaşabilmek için mevcut 10 cm XPS'e ek olarak dış duvarlara 12 cm XPS, çatıda ise mevcut 12 cm taş yününe ek olarak 7 cm taş yünü daha yapılması gerekmektedir. Bu değişim dış duvarda yapılacağından dış cepheye yeniden iskele kurulması, mevcut giydirme cephelerin (granit ve alüminyum) sökülmesi, mevcut izolasyon kalınlıklarının arttırılması ve yeniden giydirme cephe yapılması gerekmektedir. 2,665 W/m<sup>2</sup>K U değerine sahip temperli çift camlı mevcut pencereler ise 0,79 W/m<sup>2</sup>K U değerine sahip Trp Low-E (e2=e5=0.1) Clr 3 mm/13 mm Arg pencereler ile değiştirilebilir. Bu pencereler üç camlı düşük ısı yayımlı olup ısının iç mekanda muhafazasını sağlamaktadır. Bahsi geçen imalat değişiklikleri yapıldığında



binanın enerji tüketimi ve enerji giderine olan etkisi Çizelge 5.3'de gösterilmektedir. Söz konusu imalat değişikliklerinin yaklaşık maliyeti ise Çizelge 5.4'de verilmektedir.

**Çizelge 5.3.** Isı yalıtım malzemesi kalınlıklarının artırılmasının binanın enerji tüketimine ve enerji giderine etkisi

	Doğalgaz Tüketimi (kWh)	Elektrik Tüketimi (kWh)	Doğalgaz Tüketimi (TL)	Elektrik Tüketimi (TL)	Toplam Enerji Tüketimi (TL)
<b>Mevcut Durum</b>	4.677.043	1.614.464	536.300	565.062	1.101.362
<b>U Değerleri Pasif Ev Standartlarına Eriştiğinde</b>	4.450.479	1.591.710	510.321	557.098	1.067.419
<b>Not: Vergiler dâhil doğalgazın m<sup>3</sup> birim fiyatı 1,1TL elektriğin kWh birim fiyatı 0,35TL alınmıştır. Ayrıca 1m<sup>3</sup> doğalgaz =8250kcal olarak kabul edilmiştir.</b>					

**Çizelge 5.4.** Isı yalıtım malzemesi kalınlıklarının artırılmasının yaklaşık maliyeti

	Birimi	Birim Fiyatı (TL)	Metraji	Maliyet Tutarı (TL)
<b>Dış Duvara XPS (12cm) Yapılması</b>	m <sup>2</sup>	55,50	3.400	188.700
<b>Çatıya Taş Yünü (7cm) Serilmesi</b>	m <sup>2</sup>	8	8.000	64.000
<b>İskele Kurulması</b>	m <sup>2</sup>	4,83	3.400	16.422
<b>Alüminyum Granit vb. Cephe Sistemi Sökümü</b>	m <sup>2</sup>	6	3.400	20.400
<b>Granit Cephe Yapılması</b>	m <sup>2</sup>	120	2.300	276.000
<b>Alüminyum Cephe Yapılması</b>	m <sup>2</sup>	100	1.100	110.000
<b>Alüminyum Çatı Örtüsü Demontaj ve Montajı</b>	m <sup>2</sup>	13,7	8.000	109.600
<b>Trp LoE (e2=e5=0.1) Clr 3mm/13mm Arg</b>	m <sup>2</sup>	250	1.200	300.000
<b>TOPLAM</b>				<b>1.085.122 TL</b>
<b>Not: Yaklaşık maliyet hesaplanırken birim fiyatlar Çevre ve Şehircilik Bakanlığı 2015 Yılı Birim Fiyat Kitabından alınmıştır. Bu kitapta bulunmayan imalatların fiyatları piyasa araştırması sonucu elde edilmiştir.</b>				

Görüldüğü gibi bina dış kabuğunun tamamı pasif ev standartlarında belirtilen U değerlerine eriştirildiğinde binanın yıllık enerji gideri 33.943 TL azalmaktadır. Bu araştırma mevcut bir bina üzerinde yapıldığından sadece enerji giderlerindeki tasarruf

miktarı göz önünde bulundurulmuştur. Eğer yeni yapılan bir bina üzerinde yapılıyorsa bina dış kabuğundaki iyileştirmeler sonucu enerji tasarrufunun yanı sıra HVAC ekipmanlarının boyutları da düşecek bu durumda hem ilk yatırım hem de işletme maliyetleri azalacaktı. İmalat değişiklikleri, ilk yatırım maliyetlerini yaklaşık 32 yılda amorti etmektedir. Binanın yaklaşık 10 yıldır hizmet vermesi ve yapı malzemelerinin ömrü göz önünde bulundurulduğunda bu değişikliklerin yapılmasının ekonomik ve akılcı olmayacağı sonucuna ulaşılmıştır.

### 5.1.2. İklimlendirme sisteminde yapılması önerilen değişiklikler

Binanın mevcut durumunun dizayn günü için ısı kayıp miktarlarını gösteren Şekil 4.7 ve Çizelge 5.2'den de görüldüğü en büyük ısı kaybı havalandırma nedeniyle oluşmaktadır. Bu nedenle iklimlendirme sisteminde yapılabilecek iyileştirmeler büyük önem taşımaktadır. İklimlendirme sisteminde enerji tasarrufu bağlamında yapılması önerilebilecek temel değişiklikler Çizelge 5.5'de verilmiştir.

**Çizelge 5.5.** İklimlendirme sisteminde yapılabilecek değişiklikler

Değişiklikler/Öneriler	Açıklama
1 Tasarım Sıcaklıklarının Seçimi	Mahal iç sıcaklıkları ASHRAE standartlarında belirtilen sıcaklık seviyelerine getirilerek enerji tasarrufu sağlanabilir.
2 Gece Soğutması	Gece saatlerinde düşük sıcaklıktaki çevre havası binaya verilerek soğutma enerji giderinde tasarruf sağlanabilir.
3 Serbest Soğutma Bataryası	Dış hava sıcaklığı set edilen dönüş suyu sıcaklığının altına düştüğünde akışkan serbest soğutma bataryasına yönlendirilerek soğutma enerji giderinde tasarruf sağlanabilir.
4 Isı Geri Kazanım Ünitesi Kullanımı	Mevcut klima santrallerine ısı geri kazanım ünitesi eklenerek enerji tasarrufu sağlanabilir.
5 Sistemin CAV'dan VAV'a Dönüştürülmesi	Sabit hava debili iklimlendirme sistemi, değişken hava debili iklimlendirme sistemine dönüştürülerek enerji tasarrufu sağlanabilir.
6 Kazan	Kazanların verimli çalışması sağlanarak enerji tasarrufu sağlanabilir.

### 5.1.2.a. Isıtma tasarım sıcaklığı

Isıtma sisteminde yapılabilecek önemli değişikliklerden birisi ortam sıcaklığını binaların ısıtma sistemlerinin tasarımında kullanılan ASHRAE 55-2010 standardında belirtilen sıcaklıklar seviyesine çekmektir. Terminal binasında ofis, büro, check-in salonu vb. mahallerin kış tasarım sıcaklığı 22°C olarak alınmıştır. Bu sıcaklıklar ASHRAE 55-2010 standartlarında belirtilen 20°C sıcaklığına düşürülebilir. Bu değişiklik yapıldığında bina doğalgaz enerji tüketim değerlerinin değişimi Çizelge 5.6'da gösterilmektedir.

Çizelge 5.6'dan görüldüğü gibi mahal sıcaklığı 22°C'den 20°C'ye düşürüldüğünde ısıtma doğalgaz tüketimi yaklaşık %16 azalmaktadır. Söz konusu sıcaklık değişimi yapıldığında bina m<sup>2</sup> başına toplam enerji tüketimi %12 azalarak 430,36 kWh/m<sup>2</sup> değerine düşmüştür. İnceleme, mevcut bir bina üzerinde yapıldığından enerji tüketimlerinin azalması sonucu HVAC ekipmanlarının daha küçük boyutlandırılarak daha düşük ilk yatırım ve işletme maliyeti elde edilmesi gibi tasarruflar göz önüne alınmayıp sadece enerji giderlerindeki tasarruf miktarı göz önünde bulundurulmuştur.

**Çizelge 5.6.** Isıtma sıcaklığı 22°C'den 20°C'ye düşürüldüğünde doğalgaz tüketimlerindeki değişim

	Isıtma Doğalgaz Tüketimi (kWh)	Doğalgaz Tüketimi (TL)
Isıtma Sıcaklığı 22°C	4.410.033	505.684
Isıtma Sıcaklığı 20°C	3.718.905	387.668

**Not:** Vergiler dâhil doğalgazın m<sup>3</sup> birim fiyatı 1,1TL alınmıştır. Ayrıca 1m<sup>3</sup> doğalgaz =8250kcal olarak kabul edilmiştir.

### 5.1.2.b. Soğutma tasarım sıcaklığı

Isıtma sıcaklıklarının ASHRAE 55-2010 standartlarında belirtilen sıcaklık seviyesine çekilmesinin ardından soğutma sıcaklığı 23°C olarak tasarlanan mahallerin soğutma

sıcaklıkları da bu standartlarda belirtilen 25,5°C seviyesine yükseltilebilir. Çizelge 5.7'de bu değişiklik yapılması durumunda bina soğutma enerjisi tüketim değerinin değişimi gösterilmektedir. Görüldüğü gibi mahal sıcaklıkları yükseltildiğinde bina soğutma enerjisi tüketimi %68, bina m<sup>2</sup> başına toplam enerji tüketimi ise %4 azalmaktadır.

**Çizelge 5.7.** Soğutma sıcaklığı 23°C'den 25,5°C'ye yükseltildiğinde enerji tüketimlerindeki değişim

	Soğutma Elektrik Tüketimi (kWh)	Elektrik Tüketimi (TL)
Soğutma Sıcaklığı 23°C	135.318	47.361
Soğutma Sıcaklığı 25,5°C	44.051	15.418
<b>Not: Vergiler dâhil elektriğin kWh birim fiyatı 0,35TL alınmıştır.</b>		

### 5.1.2.c. Gece soğutması yapılması

Soğutma sisteminde yapılabilecek değişikliklerden biri gece soğutması yapmaktır. Özellikle yaz ayları için uygulanan bu pasif yöntem büyük hacimli binalar için oldukça önemli bir alternatiftir. Yaz mevsiminde gün içi sıcaklık farklarının yeterli olduğu coğrafyalarda uygulanan bu yöntem ile gündüz mekanik olarak yapılan soğutma işlemi binanın kullanılmadığı gece saatlerinde durdurulur ve bu soğutma yerine gündüz saatlerine göre sıcaklığı düşen gece saatlerindeki çevre havası binaya gönderilir. Dış ortam havasının gündüze göre nispeten soğuk olması gece boyunca binayı soğuk tutacaktır. Böylece ısıl bir hacim olan binanın yapısal (kabuk) sıcaklığı düşük olacak ve bu durumda gün boyu daha az bir mekanik soğutmaya ihtiyaç duyulmasına sebebiyet verecektir (Ören 2010).

Ofis mahalleri hariç 24 saat kullanılan check-in salonu ve yolcu departmanları (iç hatlar giden yolcu, dış hatlar gelen yolcu vb.) gibi mahaller 24 saat boyunca havalandırılmaktadır. Mevcut durumda 08:00-17:00 arasında çalışan ofis mahallerinde gece soğutması yapılmamaktadır. Bu mahallerin 01:00 ile 08:00 saatleri arası gece

soğutmasına tabi tutulması durumunda binanın enerji simülasyonu yapılmıştır. Bu simülasyonda herhangi bir şartlandırmaya tabii tutulmamış dış çevre havası tasarımda belirlenen minimum taze hava miktarı kadar mahalle verilmiştir.

Çizelge 5.8 gece soğutması yapılması durumunda enerji tüketimlerinin değişimini göstermektedir. Soğutma için harcanan enerji yaklaşık %10 azalmaktadır. Gece soğutması ile bina gece boyunca soğuk tutulmuş ve bu sayede daha az mekanik soğutmaya ihtiyaç duyularak bina soğutma enerjisi azalmıştır. Ancak bu durum verimi %70 olan sistem fanlarının elektrik enerjisi tüketimini arttırmaktadır. Bu nedenle enerji tüketimlerinin ayrı ayrı irdelenmesi yerine her ikisi de elektrik enerjisi tükettiği için bina m<sup>2</sup> başına toplam enerji tüketimi incelenmiş ve bu değer arttığı görülmüştür. Bu nedenlerle bina için gece soğutması yapmanın akılcı ve ekonomik bir çözüm olmadığı değerlendirilmiştir.

**Çizelge 5.8.** Binanın gece soğutmasına tabi tutulması sonucu enerji tüketimlerinin değişimi

	Soğutma Enerjisi (Elektrik) (kWh)	Bina m <sup>2</sup> Başına Toplam Enerji Tüketimi (kWh/m <sup>2</sup> )
Gece Soğutması Yok	44.051	413
Gece Soğutması Var	39.842	421,57

#### 5.1.2.d. Serbest soğutma (Free Cooling) bataryası kullanılması

Soğutma sisteminde verimliliği artıracak bir diğer değişiklik ise serbest soğutma (free cooling) bataryasının kullanılmasıdır. Standart soğutma gruplarında bulunmayan ve aynı gövdeye yerleştirilen serbest soğutma bataryası sayesinde dış hava sıcaklığı set edilen su dönüş sıcaklığının altına indiği takdirde dönüş suyu serbest soğutma bataryasına yönlendirilir. İhtiyaç duyulan soğutma bu bataryada elde edilir, kompresör oransal olarak gücünü azaltır ve mekanik soğutma yerini serbest soğutmaya bırakır (ÜNTES 2013). Prensip olarak soğutma yapılması için değil, kapalı hacimlerdeki

sıcaklığın, içerideki ısı yüklerinin etkisi ile giderek yükselmesini önlemek üzere geliştirilmişlerdir.

Terminal binasında serbest soğutma bataryasının kullanıldığı saatler dış hava sıcaklığının, soğutma tesisatında set edilen dönüş suyu sıcaklığının (11°C) altına indiği saatlerdir. Dış hava sıcaklığının 11°C'nin altına indiği saatlerde terminal binasının neredeyse tüm mahallerinde soğutmaya ihtiyaç yokken bazı mahallerin sıcaklıkları iç kazançların etkisiyle konfor sıcaklığı değerinin (25,5°C) üzerine anlık olarak çok küçük miktarlarda çıkabilmektedir. Bu sıcaklık değişimi EnergyPlus tarafından soğutma yükü olarak algılanmakta ve toplam soğutma yükü için harcanan enerji çok küçük bir miktarda (2,9 kW) olmaktadır. Dolayısıyla serbest soğutma bataryası kullanımını akılcı bir çözüm değildir.

Aktacir (2007) yaptığı çalışmada Türkiye'nin farklı iklim bölgelerinden seçilen İstanbul, Ankara, İzmir, Diyarbakır, Erzurum, Samsun ve Adana illerinin serbest soğutma potansiyellerini belirlemiştir. Analizde, illerin BIN sayıları kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre Diyarbakır ve soğuk iklime sahip Erzurum illerinin serbest soğutma potansiyellerinin diğer illere göre daha sınırlı olduğunu ve bu durumun bu illerde gözlemlenen ekstrem sıcaklık değerlerinden kaynaklandığını belirtmiştir. Bu sonuç simülasyon sonucuyla uyum halindedir.

#### **5.1.2.e. Isı geri kazanım ünitelerinin kullanılması**

Binaların iklimlendirme sistemlerinde atılan ısının geri kazanılması mantığıyla çalışan ısı geri kazanımlı havalandırma cihazlarının kullanılması özellikle sabit veya değişken hacimli iklimlendirme ile ısıtma ve soğutmanın yapıldığı binalarda büyük önem arz etmektedir. İklimlendirme sisteminde yapılacak en önemli değişiklik klima santrallerine ısı geri kazanım ünitesi eklenmesi olacaktır. Isı geri kazanım miktarının enaz ne olması gerektiği ile ilgili pasif ev standartları bulunmaktadır. Pasif ev; yüksek verimli, ısı geri kazanımlı mekanik havalandırma sistemi veriminin ( $\geq 75$  verimlilik) olması gerektiğini belirtmektedir. Optimum çözümlü uygulamalarda ise ısı geri kazanımlı klima

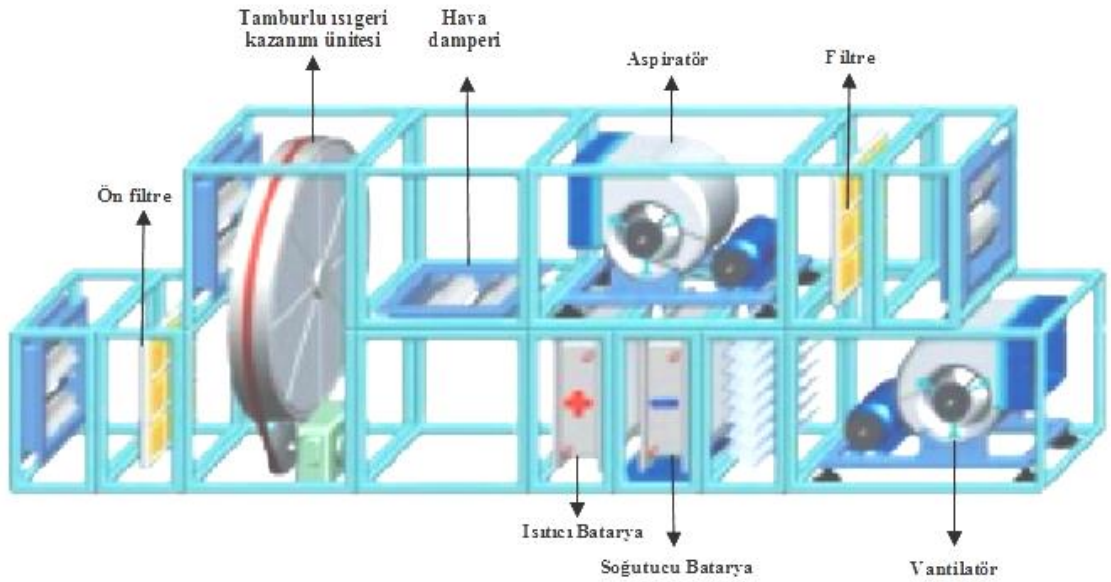
santrallerinin verimi %80'e ulaşabilir. Mevcut klima santrallerine ısı geri kazanım ünitesinin eklenmesi, enerji tüketimlerini ve bina yıllık enerji giderlerini azaltmaktadır. Bu azalış ısıtma tesisatı doğalgaz tüketimi ile soğutma, sistem fanları ve sistem pompaları elektrik tüketimindeki azalıştan kaynaklanmaktadır. Erzurum Havalimanı terminal binasında bulunan toplam on adet mevcut klima santrallerinin sekizi karışım havası ile ısı geri kazanımını gerçekleştirmektedir (Çizelge 3.2). Ancak bu ısı geri kazanım miktarları pasif ev standartlarını ( $\geq 75$  verimlilik) karşılamadığından tüm klima santrallerine pasif ev standartlarını sağlayacak verimlilikte ısı geri kazanım üniteleri eklenebilir.

Havalandırma ünitelerinde; ısı geri kazanım yapılması için çoğunlukla ısı tekerleği, zıt akışlı ve çapraz akışlı tiplerinde ısı değiştiriciler kullanılmaktadır. Daha yüksek verimler elde edilebildiği için günümüzde daha çok ısı tekerleği ve zıt akışlı tip ısı değiştiricili ısı geri kazanım üniteleri tercih edilmektedir. Zıt akışlı ısı değiştiriciler; alüminyum plakalı ısı geri kazanım sistemleridir. Sistem, zıt akış mantığı ile çalışır. Taze hava ve egzoz havası iki ayrı tabakadan geçer. Plakalar, maksimum ısı transferini sağlamak üzere tasarlanmıştır. Isı tekerleği (rotor) ısı değiştiricileri ise havanın geçebilmesi için gözeneklere sahip dairesel bir alüminyum kütleden oluşur. Isı geri kazanımı, rotorun dönüşü ile sağlanır. Isı değiştirici rotorun dönüş hareketi ile egzoz havasının ısısını ve nemini rotorun kanatlarına aktarır. Aktarılan bu nem ve ısı enerjisi dönme hareketinin devamı sayesinde taze havaya yüklenir. Rotorlu ısı geri kazanım sistemlerde, ısı geri kazanım oranı genellikle yüzde 70-85 arasında değişmektedir (Heperkan 2014).

Bu çalışmada ısı geri kazanım ünitesi olarak plakalı tip ısı geri kazanım ünitelerinden daha verimli ve don riski çok daha düşük olduğu için soğuk iklim bölgelerinde daha kullanışlı olan ancak ilk yatırım maliyeti daha yüksek olan tamburlu (rotor) tip ısı geri kazanım ünitesi kullanıldığı düşünülmüştür. Erzurum Havalimanı terminal binasında kullanılması düşünülen tamburlu (rotor) tip ısı geri kazanım ünitesinin resmi Şekil 5.1'de, bu ısı geri kazanım ünitesinin monte edilmesiyle elde edilecek olan karışım havalı - tamburlu (rotor) tip ısı geri kazanım üniteli klima santralinin şekli ise Şekil 5.2'de gösterilmektedir.



**Şekil 5.1.** Tamburlu (rotor) tip ısı geri kazanım ünitesi (VENTAS 2012)



**Şekil 5.2.** Karışım havalı - tamburlu (rotor) tip ısı geri kazanım üniteli klima santrali (ÜNTES 2013)

Bu ısı geri kazanım ünitelerinin eklenmesinin toplam doğalgaz ve elektrik enerjisi tüketimi ile bina yıllık enerji giderine etkisi Çizelge 5.9'da gösterilmiştir. Çizelgeden de görüleceği gibi ısı geri kazanım ünitelerinin eklenmesi ile yıllık enerji giderinde 366.842TL tasarruf oluşmaktadır. Bu dönüşümün maliyeti ise Çizelge 5.10'da gösterilmektedir. Çizelgelerden de anlaşılacağı üzere klima santrallerine ısı geri kazanım üniteleri eklenmesinin ilk yatırım maliyeti, enerji giderlerinde oluşacak tasarruf



ile kendini yaklaşık 1 yıldan daha kısa bir sürede amorti edebildiğinden bu değişikliğin yapılması akılcı ve ekonomik bir çözüm olacaktır.

Şahan (1999) yaptığı çalışmada HVAC sistemlerinde plakalı ısı geri kazanım eşanjörü ile yapılabilecek uygulamaları incelemiştir. Havadan havaya plakalı eşanjörler ile yapılacak ısı geri kazanımının, HVAC uygulamasında ilk yatırımı %100 taze havalı uygulama için %10 seviyesinde, %50 taze havalı uygulama için ise %25 seviyesinde arttırdığını, bu ilk yatırım maliyeti artışlarına rağmen, yatırım geri dönüşlerinin;

- ✓ %100 taze havalı uygulamalar için 1 yıl,
- ✓ %50 taze havalı uygulamalar için ise 3 yıl,

civarında olduğunu belirtmiştir. Isı geri kazanımına yalnızca enerji tasarrufu açısından bakıldığında ise taze hava oranının % kaç olduğuna bakılmaksızın, her 10.000m<sup>3</sup>/h egzoz havası için;

- ✓ 7 kWh elektrik enerjisi,
- ✓ 3,5 m<sup>3</sup>/h doğalgaz,

tasarruf edilebileceğini vurgulamıştır.

**Çizelge 5.9.** Klima santrallerine ısı geri kazanım ünitesi eklenmesi durumunda ısıtma ve soğutma enerji tüketimlerinin değişimi

	Doğalgaz Tüketimi (kWh)	Elektrik Tüketimi (kWh)	Doğalgaz Tüketimi (TL)	Elektrik Tüketimi (TL)	Toplam Enerji Tüketimi (TL)
<b>Isı Geri Kazanım Ünitesiz Klima Santralleri</b>	3.968.760	1.379.540	455.084	482.839	937.923
<b>Isı Geri Kazanım Üniteli Klima Santralleri</b>	1.715.017	1.069.790	196.655	374.426	571.081
<b>Not: Vergiler dâhil doğalgazın m<sup>3</sup> birim fiyatı 1,1TL elektriğin kWh birim fiyatı 0,35TL alınmıştır. Ayrıca 1m<sup>3</sup> doğalgaz =8250kcal olarak kabul edilmiştir.</b>					

**Çizelge 5.10.** Klima santrallerine ısı geri kazanım ünitesi eklenmesi durumunun ilk yatırım maliyeti

	Birimi	Birim Fiyatı (TL)	Metrajı	Maliyet Tutarı (TL)
<b>Tamburlu (Rotor) Tip Isı Geri Kazanım Ünitesi 5001-7500 m<sup>3</sup>/h</b>	Ad	10.820	1	10.820
<b>Tamburlu (Rotor) Tip Isı Geri Kazanım Ünitesi 7501-10000 m<sup>3</sup>/h</b>	Ad	13.750	2	27.500
<b>Tamburlu (Rotor) Tip Isı Geri Kazanım Ünitesi 15000-20000 m<sup>3</sup>/h</b>	Ad	20.500	3	61.500
<b>Tamburlu (Rotor) Tip Isı Geri Kazanım Ünitesi 20000-30000 m<sup>3</sup>/h</b>	Ad	31.250	2	62.500
<b>Tamburlu (Rotor) Tip Isı Geri Kazanım Ünitesi 40000-50000 m<sup>3</sup>/h</b>	Ad	63.750	2	127.500
<b>TOPLAM</b>				289.820 TL
<b>Not: Yaklaşık maliyet hesaplanırken birim fiyatlar Çevre ve Şehircilik Bakanlığı 2016 Yılı Birim Fiyat Kitabından alınmıştır. Bu kitapta bulunmayan imalatların fiyatları piyasa araştırması sonucu elde edilmiştir.</b>				

#### 5.1.2.f. İklimlendirme sisteminin CAV'dan VAV'a dönüştürülmesi

İklimlendirme sisteminde yapılabilecek değişikliklerden bir diğeri sabit hava debili iklimlendirme sisteminin (CAV-Constant Air Volume) bu sistemden daha enerji tasarruflu olan değişken hava debili iklimlendirme sistemine (VAV-Variable Air Volume) dönüştürülmesidir. Bu dönüşüm her zonda VAV kutusu kullanılarak ve mevcut havalandırma santrallerinin motorlarına frekans konvertörü takılarak sağlanabilir. CAV sistemler küçük sıcaklık değişimlerinde sabit debide besleme yaparken, VAV sistemler ısı yüküne bağlı olarak hava hacmini hassas olarak ölçer ve kontrol eder. Bu sayede enerji tasarrufu sağlanır.

İklimlendirme sistemi sabit hava debili sistemden (CAV) daha enerji tasarruflu olan değişken hava debili sisteme (VAV) dönüştürüldüğünde bina yıllık enerji giderine olan etkisi Çizelge 5.11'de gösterilmektedir. Görüldüğü gibi bu sistem değişikliği yapıldığında bina yıllık enerji giderinde 7.527 TL tasarruf sağlanmaktadır. CAV sisteminden VAV sistemine dönüşüm maliyeti ise Çizelge 5.12'de gösterilmektedir.

İklimlendirme sistemi dönüşümü ilk yatırım maliyetini yaklaşık 14 yılda amorti etmektedir. İklimlendirme tesisatının faydalı ömrünün 20 yıl olduğu ve mevcut sistemin yaklaşık 10 yıldır kullanıldığı da göz önüne alındığında bu dönüşümün yapılması ekonomik olmayacaktır.

**Çizelge 5.11.** İklimlendirme sisteminin CAV'dan VAV'a dönüştürülmesi durumunda bina yıllık enerji tüketimlerinin ve bina yıllık enerji giderinin değişimi

	Doğalgaz Tüketimi (kWh)	Elektrik Tüketimi (kWh)	Doğalgaz Tüketimi (TL)	Elektrik Tüketimi (TL)	Toplam Enerji Tüketimi (TL)
<b>CAV</b>	1.715.017	1.069.790	196.655	374.426	571.081
<b>VAV</b>	1.675.663	1.061.173	192.143	371.411	563.554

**Not: Vergiler dâhil doğalgazın m<sup>3</sup> birim fiyatı 1,1TL elektriğin kWh birim fiyatı 0,35TL alınmıştır. Ayrıca 1m<sup>3</sup> doğalgaz =8250kcal olarak kabul edilmiştir.**

**Çizelge 5.12.** İklimlendirme sisteminin CAV'dan VAV'a dönüşüm maliyeti

	Birimi	Birim Fiyatı (TL)	Metraji	Maliyet Tutarı (TL)
<b>VAV Kutusu</b>	<b>Ad</b>	<b>1.500</b>	<b>18</b>	<b>27.000</b>
<b>Motorlara Frekans Konvertörü İlavesi</b>	<b>Ad</b>	<b>6.000</b>	<b>10</b>	<b>60.000</b>
<b>VAV Kutusu Termostat Bağlantısı</b>	<b>Ad</b>	<b>400</b>	<b>18</b>	<b>7.200</b>
<b>Asma Tavan Onarımı</b>	<b>m<sup>2</sup></b>	<b>57</b>	<b>180</b>	<b>10.260</b>
			<b>TOPLAM</b>	<b>104.460 TL</b>

**Not: Yaklaşık maliyet hesaplanırken birim fiyatlar Çevre ve Şehircilik Bakanlığı 2015 Yılı Birim Fiyat Kitabından alınmıştır. Bu kitapta bulunmayan imalatların fiyatları piyasa araştırması sonucu elde edilmiştir.**

### 5.1.2.g. Kazanlar

Isıtma sisteminin verimini etkileyen en önemli elemanlardan biri kazanlardır. Kazan verimi ise, eksik yanma, baca gazı sıcaklığı, baca gazından kaynaklanan ısı kaybı, hava fazlalığı, yakıt cinsi, brülörler, kazan yükü, kazan yüzeyinden olan ısı kayıpları, blöf nedeniyle olan ısı kaybı, besli suyu sıcaklığı, yanma havası sıcaklığı gibi parametrelere bağlıdır. Kazan verimini arttırmak amacıyla bu parametrelerin en optimum şekilde

çalışması için, kazan ayarlarının düzenli olarak yapılması ve kontrol edilmesi gerekmektedir (HBSDTT 2008).

Isıtılacak hacimler iyi hesaplanarak sistem kapasitesi doğru seçilmelidir. Gereğinden küçük kapasiteli sistemler istenilen sıcaklık değerlerini sağlayamazken, büyük kapasiteli sistemler ise tam yükte olmadıkları için düşük verimle çalışıp daha fazla yakıt tüketirler. Yeni sistem seçerken, dış hava sıcaklığına bağlı kontrol düzenekleri içeren sistemler tercih edilmelidir. Kazanlarda öncelikli olarak dikkat edilmesi gereken parametreler arasında kazanın ısı verimi, brülörün tipi ve baca bağlantısı yer almaktadır. Yüksek ısı verimli olan kazanlar tercih edilmelidir. Brülör seçerken ise güvenlik, kazana uyum, bakım ve servis kolaylığı, ömür, anma verimi ve işletme verimi faktörlerine dikkat edilmelidir. Yakıt yakma kapasitesi, yakıt basıncı, yakma havası miktarı, fan basıncı, yanma odası geometrisi, meme açısı ve tipi bilinmesi gereken değerlerdir. Doğalgaza geçilecek alanda ısı gereksinimi, cihaz seçimi, havalandırma ve baca sistemi gibi teknik incelemeler yapılmalıdır. Mevcut kömür, fuel-oil gibi yakıtlar kullanan kazanlar doğalgaza dönüştürülebileceği gibi, sistem tamamen de yenilenebilir. Bu karar verilirken, ısı kapasitesi ve mevcut radyatörler dikkatle incelenmelidir. Doğalgazda baca dar, diğer yakıtlarda geniştir. Mevcut sistem doğalgaza dönüştürülürken baca kesitinin azaltılması gerekebilir (HBSDTT 2008).

Yerinde yapılan incelemede ısıtma kazanlarıyla ilgili yukarıdaki belirtilen kriterlere uyulduğu, üç adet 1.500.000 kcal/h kapasiteli doğalgaz kazanlarının kullanıldığı, kazanların yaklaşık %85 verimli tam silindirik çelik doğalgaz kazanları olduğu ve kazan verimini arttırıcı herhangi bir uygulamaya gerek kalmadığı belirlenmiştir.

### **5.1.3. Aydınlatma sisteminde yapılması önerilen değişiklikler**

Aydınlatma sisteminde enerji talebini azaltmak, görsel konfordan ödün vermeden gerekli en az aydınlatma şiddetlerinin sağlanması ile mümkün olur. Aydınlatma sisteminde yapılması önerilen değişiklikler Çizelge 5.13'de özetlenmiştir.

**Çizelge 5.13.** Aydınlatma sisteminde yapılması önerilen değişiklikler

	Değişiklikler/Öneriler	Açıklama
1	Aydınlatma Şiddetinin Seçimi	Mahal aydınlatma şiddetleri IES standartlarında belirtilen seviyelere düşürülerek enerji tasarrufu sağlanabilir.
2	Aydınlatma Armatürünün Seçimi	İlgili mahalle uygun aydınlatma otomasyonu yapılabilen LED armatürler kullanılarak enerji tasarrufu sağlanabilir.

### 5.1.3.a. Aydınlatma şiddeti

Aydınlatma şiddeti, IES (Illuminating Engineering Society of North America-Kuzey Amerika Aydınlatma Mühendisleri Odası) standartlarının üzerinde olan mahallerin aydınlatma şiddetleri IES standartlarında belirtilen seviyelere düşürülmelidir. IES standartlarında aydınlatma şiddetleri ofisler ve check-in salonu için 500 lux, bagaj salonları için 300 lux, teknik hacimler için 150 lux, WC'ler için 100 lux olarak verilmektedir.

Terminal binası zonlarında kullanılan armatürler ve aydınlatma detayları Çizelge 3.6'da ayrıntılı olarak verilmiştir. Aydınlatma yoğunlukları ve aydınlatma şiddetleri hesaplanırken her zonda tüm armatürlerin açık olduğu kabulü yapılmıştır. Mevcut aydınlatma şiddetleri IES standartlarında belirtilen seviyelere düşürüldüğünde doğalgaz ve elektrik enerjisi tüketiminde gerçekleşen değişim ve bu değişimin bina yıllık enerji giderlerine etkisi Çizelge 5.14'de gösterilmektedir.

**Çizelge 5.14.** Aydınlatma şiddeti IES standartlarına düşürüldüğünde bina enerji tüketimine ve enerji giderine etkisi

	Doğalgaz Tüketimi (kWh)	Elektrik Tüketimi (kWh)	Doğalgaz Tüketimi (TL)	Elektrik Tüketimi (TL)	Toplam Enerji Tüketimi (TL)
<b>Mevcut Aydınlatma</b>	1.715.017	1.069.790	196.655	374.426	571.081
<b>IES Standartlarında Aydınlatma</b>	1.995.106	657.667	228.772	230.183	458.955
<b>Not: Vergiler dâhil doğalgazın m<sup>3</sup> birim fiyatı 1,1TL elektriğin kWh birim fiyatı 0,35TL alınmıştır. Ayrıca 1m<sup>3</sup> doğalgaz =8250kcal olarak kabul edilmiştir.</b>					

Çizelge 5.14'den görüleceği üzere aydınlatma şiddetleri IES standartları seviyesine düşürüldüğünde terminal binasının yıllık toplam elektrik tüketimi yaklaşık %38 azalarak 657.667 kWh değerine gerilerken, toplam doğalgaz tüketimi %16 artarak 1.995.106 kWh değerine ulaşmaktadır. Aydınlatma şiddetinin IES standartlarında belirtilen seviyelere çekilmesi aydınlatma enerji giderlerini azaltırken aydınlatmadan kaynaklı iç enerji kazançlarını azalttığından ısıtma yükünü arttıracak, soğutma yükünü ise azaltacaktır. Isıtma ve soğutma yükünün değişmesinden sistem pompaları ve sistem fanları elektrik tüketimi de etkilenecektir. Bu nedenle aydınlatma şiddetlerinde yapılan değişikliklerin etkisini incelemek için terminal binasının toplam enerji giderlerine bakmak daha doğru bir yaklaşım olacaktır. Aydınlatma şiddetleri IES standartlarında belirtilen seviyelere çekildiğinde bina yıllık enerji giderinde 112.126 TL tasarruf sağlanabilir.

#### **5.1.3.b. Aydınlatma armatürleri**

Terminal binasında aydınlatma; ofis ve benzeri asma tavan bulunan mahallerde ATY floresanlarla, bagaj ve karşılayıcılar holleri ile teknik hacimlerde sarkık floresanlarla, tavanı uzay kafes olan mahallerde ise (check-in salonu, yolcu salonları vb) metal halide ve halojen spot armatürlerle yapılmaktadır. Bu armatürlerin yerine ofislerde asma tavan ile uyumlu dim edilebilir özelliği bulunan (yani ışık şiddetine göre aydınlatma otomasyonu yapılarak mahallerin farklı noktalarında pencerelerden ve çatı fenerinden gelen ışığa bağlı olarak armatürleri kısıp açarak mahallerin her noktasında eşit aydınlatmanın sağlanması ve gün ışığının maksimum kullanılması) 60x60 34W LED armatürler; bagaj, karşılayıcılar holleri ve teknik hacimlerde 120cm 28W sarkık lineer dim edilebilir özellikli LED armatürler; uzay kafes tavan olan mahallerde ise 120W dim edilebilir özellikli endüstriyel LED armatürler kullanılabilir. Dış penceresi olmayan mahallerde dim edilebilir özelliğe gerek olmadığından bu mahallerde aynı armatürün dim edilebilir özelliği olmayana kullanılmıştır. Çizelge 5.15'de bu armatür değişiklikleri yapıldıktan sonra doğalgaz ve elektrik enerjisi tüketiminde gerçekleşen değişim ve bu değişimin bina yıllık enerji giderlerine etkisi gösterilmektedir.

**Çizelge 5.15.** Aydınlatma armatürlerinin değiştirilmesinin bina enerji tüketimine ve enerji giderine etkisi

	Doğalgaz Tüketimi (kWh)	Elektrik Tüketimi (kWh)	Doğalgaz Tüketimi (TL)	Elektrik Tüketimi (TL)	Toplam Enerji Tüketimi (TL)
<b>LED Armatürler ve Aydınlatma Kontrolü Yok</b>	1.995.106	657.667	228.772	230.183	458.955
<b>LED Armatürler ve Aydınlatma Kontrolü Var</b>	2.048.976	532.648	234.949	186.427	421.376
<b>Not: Vergiler dâhil doğalgazın m<sup>3</sup> birim fiyatı 1,1TL elektriğin kWh birim fiyatı 0,35TL alınmıştır. Ayrıca 1m<sup>3</sup> doğalgaz =8250kcal olarak kabul edilmiştir.</b>					

Çizelge 5.15'den de görüleceği gibi LED armatürler ve aydınlatma kontrolü terminal binasının yıllık toplam elektrik tüketimini yaklaşık %19 azaltarak 532.648 kWh değerine düşürürken, toplam doğalgaz tüketimini %2,7 arttırarak 2.048.976 kWh değerine yükseltmektedir. Doğalgaz tüketimindeki bu artış aydınlatmadan kaynaklı iç enerji kazançlarının azalmasından kaynaklanmaktadır. LED armatürler ve aydınlatma kontrolü ile bina yıllık enerji giderinde 37.579 TL tasarruf oluşmaktadır. Terminal binası aydınlatma sisteminde yapılacak bu değişikliğin maliyet tablosu ise Çizelge 5.16'da gösterilmiştir.

**Çizelge 5.16.** Aydınlatma sisteminde LED armatür ve otomatik kontrol kullanılması durumunda sistem kurulum maliyeti

	Birimi	Birim Fiyatı (TL)	Metraji	Maliyet Tutarı (TL)
<b>60x60 34W 100lm/W Asma Tavan Uyumlu LED Armatür (Dimmable)</b>	Ad	240	214	51.360
<b>60x60 34W 100lm/W Asma Tavan Uyumlu LED Armatür</b>	Ad	190	199	37.810
<b>28W 120cm 100lm/W Sarkıt Lineer LED Armatür (Dimmable)</b>	Ad	130	135	17.550
<b>28W 120cm 100lm/W Sarkıt Lineer LED Armatür</b>	Ad	80	174	13.920
<b>120W 105lm/W Endüstriyel LED Armatür (Dimmable)</b>	Ad	520	187	97.240

**Çizelge 5.16.** (devam)

<b>120W 105lm/W Endüstriyel LED Armatür</b>	Ad	470	14	6.580
<b>Kablolama Tesisatı</b>	Ad	1	10.000	10.000
			<b>TOPLAM</b>	234.460 TL
<b>Not: Yaklaşık maliyet hesaplanırken birim fiyatlar Çevre ve Şehircilik Bakanlığı 2015 Yılı Birim Fiyat Kitabından alınmıştır. Bu kitapta bulunmayan imalatların fiyatları piyasa araştırması sonucu elde edilmiştir.</b>				

Terminal binasındaki tüm armatürler LED armatür olarak yenilediği takdirde bu yenilemenin ilk yatırım maliyeti kendini yaklaşık 6 yılda amorti etmektedir. LED armatürlerin ekonomik ömürleri ise 35.000-50.000 saat arasındadır (Çelebi ve Karatekin 2014). Terminal binasında bulunan kullanılan aydınlatma armatürlerinin günlük ortalama 10 saat çalıştığı kabul edilirse bu armatürlerin ömürleri 9,5 yıl ile 13,5 yıl arasında değişmekte olup bu süre amorti süresinin üstündedir. Bu nedenle armatür değişikliklerinin yapılması ekonomik olacaktır. Terminal binasında bulunan aydınlatma armatürleri LED armatürlere dönüştürülmediği takdirde mevcut ATY, metal halide ve halojen spot armatürler kullanılmaya devam edilecektir. Mevcut armatürlerin ömürleri LED armatürlerin ömürlerinden daha kısa olduğu için bu armatürlerin LED armatürlere kıyasla daha kısa sürede yenilenmesi gerekecektir. Dönüştürme gerçekleştiği takdirde bu durumdan da tasarruf edilecek ve amorti süresi daha da kısılacaktır.

#### **5.1.4. Sistem pompaları ve fanlarında yapılması önerilen değişiklikler**

Terminal binasında bulunan sistem fanları ve pompalarının kapasite ve adetleri Çizelge 3.2 ve Çizelge 3.5'de detaylı olarak verilmiştir. Terminal binasında kullanılan klima santrallerinin ve havalandırma cihazlarının fan verimleri %70 dolaylarındadır ve simülasyonlar gerçekleştirilirken fan verimleri %70 alınmıştır. Klima santrallerinin ve havalandırma cihazlarının fan verim değerleri günümüzde de bu seviyelerde olduğundan fanlarda önemli bir iyileşme olmayacağı düşünülmüştür. Ancak terminal binası teknik hacim odalarında bulunan çeşitli kapasitelerdeki sirkülasyon pompaları yeni ısıtma ve soğutma yüklerine göre değişken devirli olarak yenilenebilir. Terminal binası sirkülasyon pompaları yeni ısıtma ve soğutma yüklerine göre değişken devirli



olarak yenilendiğinde sistem pompaları birim enerji tüketiminin %30 azaldığı kabulü yapılmıştır. Bu değişiklik yapıldığı takdirde sistem pompaları ve fanları elektrik tüketimindeki değişim ile bu değişimin bina yıllık enerji giderine katkısı Çizelge 5.17'de gösterilmektedir.

**Çizelge 5.17.** Sirkülasyon pompalarının değişken devirli olarak yenilenmesi sonucu bina enerji tüketimine ve enerji giderine etkisi

	Toplam Elektrik Tüketimi (kWh)	Toplam Elektrik Tüketimi (TL)
<b>Çok veya Tek Hızlı Sirkülasyon Pompası</b>	532.648	186.427
<b>Değişken Devirli Sirkülasyon Pompası</b>	497.374	174.081
<b>Not: Vergiler dahil elektriğin kWh birim fiyatı 0,35TL alınmıştır.</b>		

Isıtma ve soğutma sisteminde kullanılan çeşitli debi ve basınç değerlerine sahip çok veya tek hızlı sirkülasyon pompalarının değişken devirli olarak yenilenmesi sonucu bina yıllık enerji giderine katkısı 12.346 TL olmaktadır. Bu değişikliğin maliyeti ise Çizelge 5.18'de gösterilmektedir. Değişikliğin maliyeti hesaplanırken sirkülasyon pompalarının debi ve basınç değerleri, sirkülasyon pompalarının kullanıldığı tüm sistemlerdeki son yüklerle göre belirlenmiştir. Görüldüğü gibi sistem pompaları değişken devirli olarak yenilendiğinde yıllık enerji tasarrufuyla ilk yatırım maliyeti kendini yaklaşık 6,5 yılda amorti etmektedir. Bu değişiklik sistem için ekonomik ve akılcı bir çözüm olacaktır.

Bu çalışmada elde edilen sirkülasyon pompalarının frekans konvertörlü pompalarla değiştirilmesi sonucu tasarruf elde edileceği bulgusu literatürdeki bulgularla uyum içerisindedir. TAV Atatürk Havalimanı İşletmesinde bulunan 18 adet sirkülasyon pompası 165.000TL yatırım ile frekans konvertörlü pompalarla değiştirilmiş ve yılda 154.469TL elektrik tasarrufu (%37) sağlanarak sistem yatırımı 1,05 yılda amorti edilmiştir (Uzuner 2015). Yumurtacı ve Sarıgül (2011) yaptıkları çalışmada bir hastanenin ısıtma sirkülasyon pompaları ile ilaç endüstrisi soğutma sistemi sirkülasyon pompalarının direk olarak bağlanması ve frekans kontrolü kullanılması durumunda yapılacak tasarrufları incelerken 15 yıl üzerinden enerji tüketimi hesabını %30 enerji

tasarrufu gerçekleşeceği kabulü ile yapmışlardır. Pompaj sistemi verim iyileştirmelerinin pompaların uygun seçimi ve kullanımı, borulardaki basınç kayıplarının optimuma getirilmesi, değişken debili sistemlerin ve otomasyonda kullanılan dizayn sistemlerinin iyileştirilmesi yolu ile elde edilecek enerji tasarrufunun %30 civarında olacağı ifade edilmektedir (Ertöz 2006; Yumurtacı ve Sarıgül 2011).

**Çizelge 5.18.** Sirkülasyon pompalarının değişken devirli olarak yenilenmesi durumunda sistem kurulum maliyeti

	Birimi	Birim Fiyatı (TL)	Metraji	Maliyet Tutarı (TL)
Değişken Devirli Fan-Coil Isıtma Sirkülasyon Pompası 5m <sup>3</sup> /h 4,5mSS	Ad	4.630	2	9.260
Değişken Devirli Sıcak Su Hazırlama Sirkülasyon Pompası 7m <sup>3</sup> /h 4,5mSS	Ad	4.630	2	9.260
Değişken Devirli Kullanma Sıcak Suyu Sirkülasyon Pompası 2m <sup>3</sup> /h 4mSS	Ad	4.630	2	9.260
Değişken Devirli Santral Isıtma Serpantinleri Sirkülasyon Pompası 18m <sup>3</sup> /h 7mSS	Ad	5.160	2	10.320
Değişken Devirli Fan-Coil Soğutma Sirkülasyon Pompası 20m <sup>3</sup> /h 8,5mSS	Ad	5.160	2	10.320
Değişken Devirli Santral Soğutma Serpantinleri Sirkülasyon Pompası 40m <sup>3</sup> /h 10mSS	Ad	5.710	4	22.840
Değişken Devirli Santral Isıtma Serpantinleri Sirkülasyon Pompası 20m <sup>3</sup> /h 7mSS	Ad	5.160	2	10.320
<b>TOPLAM</b>				81.580 TL
<b>Not: Yaklaşık maliyet hesaplanırken birim fiyatlar Çevre ve Şehircilik Bakanlığı 2015 Yılı Birim Fiyat Kitabından alınmıştır. Bu kitapta bulunmayan imalatların fiyatları piyasa araştırması sonucu elde edilmiştir.</b>				

## 5.2. Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Kullanılması

Terminal binasında “Bina Enerji Talebinin Azaltılması” kapsamında önerilen değişikliklerin irdelenmesi sonucunda bazı iyileştirmelerin enerji tüketimini azalttığı görülmüştür (Çizelge 5.19). İyileştirmelerin ekonomik analizi de yapılmış, enerji

tüketimini azalttığı halde ekonomik olmayan dönüşümler olumsuz olarak değerlendirilmiştir. Olumlu olarak değerlendirilen iyileştirmelerin tümünün gerçekleştirilmesi durumunda bina toplam enerji tüketimi 485,83 kWh/m<sup>2</sup>'den 196,63 kWh/m<sup>2</sup> ye azalmıştır. Bu bölümde binanın gereksinimi olan 196,63 kWh/m<sup>2</sup> değerindeki enerji tüketiminin yenilenebilir enerji kaynaklarıyla karşılanarak binanın nZEB/nnZEB bina formuna dönüştürülmesi incelenmektedir.

**Çizelge 5.19.** Terminal binasında “Bina Enerji Talebinin Azaltılması” kapsamında önerilen değişikliklerin irdelenmesi

Bina Enerji Talebinin Azaltılması	Azalma Miktarı (kWh/m <sup>2</sup> )	Değerlendirme
<b>1</b> Bina Dış Kabuğunda	-	Olumsuz
<b>2</b> İklimlendirme Sisteminde		
Isıtma Tasarım Sıcaklığı	55,47	Olumlu
Soğutma Tasarım Sıcaklığı	17,36	Olumlu
Gece Soğutması Yapılması	-	Olumsuz
Serbest Soğutma Bataryası Kullanılması	-	Olumsuz
Isı Geri Kazanım Ünitelerinin Kullanılması	197,96	Olumlu
İklimlendirme Sisteminin CAV'dan VAV'a Dönüştürülmesi	-	Olumsuz
Kazanlar	-	Verimli
<b>3</b> Aydınlatma Sisteminde		
Aydınlatma Şiddeti	10,19	Olumlu
Aydınlatma Armatürleri	5,5	Olumlu
<b>4</b> Sistem Pompaları ve Fanlarında	2,72	Olumlu
<b>Toplam</b>	<b>289,2</b>	

### 5.2.1. Toprak kaynaklı ısı pompalarının kullanımı

Bu bölümde soğuk iklim bölgesinde bulunan Erzurum Havalimanı Terminal Binasının nZEB/nnZEB bina formuna dönüştürülmesinde toprak kaynaklı ısı pompasının (TKIP) mahal ısıtmasında kullanılabilirliği incelenmiştir. Yukarıdaki paragrafta değinildiği gibi bina enerji talebinin azaltılması kapsamında olumlu olarak değerlendirilen iyileştirmelerin tümünün gerçekleştirilmesi durumunda bina toplam enerji tüketimi 485,83 kWh/m<sup>2</sup>'den 196,63 kWh/m<sup>2</sup>'ye azalmaktadır. Bu ise bu iyileştirmelerden sonra binanın yıllık elektrik enerjisi ihtiyacının 473.857 kWh, doğalgaz enerjisi ihtiyacının ise 2.048.976 kWh değerine inmesini sağlamaktadır.

Toprak kaynaklı ısı pompası terminal binasının ısıtılmasında kullanılacaktır. Soğutma sisteminde mevcut hava soğutmalı su soğutma grupları kullanılmaya devam edeceği tasarlanmış ve ekonomik analize dâhil edilmemiştir. Terminal binasının bulunduğu zemin toprak kaynaklı ısı pompası kullanımına uygundur. Yatay tip toprak kaynaklı ısı pompalarında yatay ısı değiştiricileri geniş arsa alanları gerektirmektedir. Ancak ısı pompasının yapımı esnasında geniş kazı alanları günlük hizmetlerin sağlanmasına engel olacağından ilk yatırım maliyeti yüksek olan, bunun yanında sistem verimi daha yüksek ve işletme giderleri daha düşük olan düşey TKIP kullanılmasının en uygun sistem olacağı değerlendirilmiştir. TKIP boyutlandırılırken ısı değiştiricisinin boyu, ısı pompası sayısı ve kuyu derinliği belirlenmiştir. Bu boyutlandırma yapılırken terminal binasının ısıtma ve sıhhi sıcak enerjisindeki saatlik pik yük olan 1082 kW esas alınmıştır. Babacan (2007) Muğla Üniversitesi Kampüsünün mevcut ısıtma sisteminin toprak kaynaklı ısı pompası sistemine dönüştürülmesini incelemiş ve TID boyunun tespitinde, en yüksek ısı enerjisi ihtiyacına (pik yük) göre hesaplama yapmıştır.

Binada ısı pompası olarak Viessmann Vitocal 300-G Pro BW190 kullanılacağı düşünülmüştür. Viessmann Vitocal 300-G Pro BW190'nın teknik föyünde 0°C antifriz giriş sıcaklığı ve 35°C ısıtma suyu çıkış sıcaklığı için ısıtma kapasitesi 93 kW, COP değeri ise 4,77 değerindedir. Terminal binasında kullanılması planlanan toprak kaynaklı ısı pompasının binanın ısıtma yükünü tek başına karşılayan ısı üreticisi olarak kullanılacağı (monovalent) planlandığından ısı pompasından elde edilen gidiş suyu sıcaklığı (55°C) olarak kabul edilmiştir. 10°C antifriz giriş sıcaklığı ve 55°C ısıtma suyu çıkış sıcaklığı için Viessmann Vitocal 300-G Pro BW190'nın teknik föyünde ısıtma kapasitesi 111 kW, COP değeri ise 3,62 değerindedir. Bu durumda terminal binası için kullanılacak toprak kaynaklı ısı pompası sayısı;

$$Isı Pompası Sayısı = \frac{Pik Isı İhtiyacı}{Isı Pompası Kapasitesi} = \frac{1082}{111} = 9,75 \approx 10 A det$$

olarak hesaplanır.

Toprak direnci değeri Çizelge 3.8'den alınmıştır. Dikey tip toprak kaynaklı ısı pompası seçildiğinden toprak nemli kabul edilmiştir. 40 mm dış çap U tipi Ağır Toprak-Nemli toprak tipi için toprak direnci  $R_t=0,94$ 'dür.

Toprak ısı değiştiricisi tasarımında kullanılacak bir diğer parametre boru direncidir. Boru direnci için ise Çizelge 3.7'deki veriler kullanılmaktadır. Bu projede kullanılmak üzere 40 mm dış çap PE SDR-11 boru tipi ve düşey ısı değiştiricisi seçilmiştir. Bu boru tipi için boru direnci  $R_b=0,096$ 'dır.

Kuyu derinliği boru direnci üzerinde etkili faktördür. Bu çalışmada, kuyu içi efektif direncin daha düşük olmasını sağlamak için kuyu derinliği 50 m olarak seçilmiştir.

Terminal binasının ısıtma çalışma faktörünün hesaplanabilmesi için öncelikle en soğuk ay olan Ocak ayı için ortalama ısı kaybı bulunmalıdır. Simülasyon sonuçlarına göre terminal binası Ocak ayı için toplam ısı kaybı 397.090 kWh olup saatlik ortalama ısı kaybı  $397.090 \text{ kWh}/744 \text{ h} = 533,72 \text{ kW}$  değerindedir. Isıtma çalışma faktörü ise (3.8) eşitliği kullanılarak hesaplanır:

$$\text{Isıtma Çalışma Faktörü } (F_1) = \frac{\text{Ocak Ayı Ortalama Isı Kaybı}}{\text{Sistem Kapasitesi}} = \frac{533,72 \text{ kW}}{1110 \text{ kW}} = 0,481$$

Tüm bu parametreler denklem (3.6)'ya yerleştirildiğinde toprak ısı değiştirici uzunluğu;

$$L_{\text{ısıtma}} = \frac{572 \frac{3,62-1}{3,62} [0,096 \text{ m}^\circ\text{C/W} + (0,94 \text{ m}^\circ\text{C/W} \times 0,481)]}{|2^\circ\text{C} - 10^\circ\text{C}|} = 28,36 \text{ m/kW}$$

olarak bulunur. Bu değer ısı pompası boyutlandırmasında kullanılacak olan ısıtma ve sıhhi sıcak su enerjisindeki saatlik pik yük olan 1082 kW ile çarpılarak toplam toprak ısı değiştiricisi uzunluğu elde edilir:

$$TIDUzunlugu = 1082 \text{ kW} \times 28,36 \text{ m/kW} = 30.685 \text{ m}$$

Kuyu derinliği 50 m olduğundan ve her kuyuda 200 m toprak ısı değiştirici kullanılacağından (çift U-borulu ısı değiştiricisi) toplam 153 adet kuyu açılması gerekmektedir. Bu kuyuların açılabilmesi için ısı merkezi binası etrafında yeterince geniş alan bulunmaktadır. Sistemde kullanılacak ısı pompası sayısı ise daha önce hesaplandığı gibi 10'dur. Sistemde ısı pompası ve ısı değiştiricisinin yanı sıra ısı pompası sayısı kadar, su-antifriz karışımı hattında kullanılacak olan sirkülasyon pompalarına da ihtiyaç duyulacaktır.

TKIP boyutlandırılırken ısı değiştiricisinin boyu, ısı pompası sayısı ve kuyu derinliği belirlenmiş olup, bu boyutlandırma yapılırken terminal binasının ısıtma ve sıhhi sıcak su enerjisindeki saatlik pik yük olan 1082 kW esas alınmıştır. Bu pik değerin sadece ısı pompası ile karşılanması tasarlandığından ısıtma gidiş suyu sıcaklığı ısı pompasından elde edilebilecek maksimum (10°C antifriz giriş sıcaklığı için) sıcaklık olan 55°C olarak seçilmiş ve bu sıcaklıklar için ısı pompasının teknik föyünde COP değerinin 3,62 olduğu görölmüştür. Toprak ısı değiştiricisi uzunluğu hesabı yapılırken bu COP değeri kullanılmıştır. Ancak terminal binasının ısı yükü yıl boyunca değişken olduğundan, ısı pompasının etkinlik katsayısı belirlenmesinde esas olan ısıtma gidiş suyu sıcaklığı ve dolayısıyla COP değeri yıl boyunca değişken olacaktır. Bu durumda ısı pompası maliyet analizinde COP değerinin 3,62 alınması hatalı olacaktır. Bu nedenle maliyet analizi yapılırken COP değeri 10°C antifriz giriş sıcaklığı, 45°C ısıtma suyu çıkış sıcaklığına karşılık gelen 4,76 değeri esas alınmıştır.

Terminal binasının yıllık toplam doğalgaz enerjisi ihtiyacı 2.048.976 kWh iken yıllık toplam elektrik enerjisi ihtiyacı 473.857 kWh'dir. Toprak kaynaklı ısı pompası kullanılması durumunda ısıtma ve sıhhi sıcak su yükü için harcanan enerjinin

tamamının toprak kaynaklı ısı pompasından karşılandığı düşünülerek maliyet analizi yapılmıştır. Bu hesaplamanın yapılabilmesi için bina ısıtma ve sıhhi sıcak su enerjisi yükünü karşılayabilmek için sisteme verilen elektrik enerjisinin (ısı pompası kompresörü + sirkülasyon pompaları) hesaplanması gerekmektedir. Sisteme verilen elektrik enerjisi (3.7) eşitliği kullanılarak bulunabilir. Tesir katsayısı 4,76 ve sisteme verilen ısı enerjisi 2.048.976 kWh olarak alındığında sisteme verilen elektrik enerjisi:

$$\text{Sisteme Verilen Elektrik Enerjisi} = \frac{2.048.976 \text{ kWh}}{4,76} = 430.457 \text{ kWh}$$

olarak hesaplanır.

Çizelge 5.20'de terminal binasında TKIP sistemi kurulması durumunda bina yıllık toplam enerji tüketimi ile enerji giderindeki değişim görülmektedir. Çizelgeden de görüleceği gibi TKIP sistemi kullanılması durumunda doğalgaz tüketimi sıfır olmakta ve yıllık toplam elektrik enerjisi tüketimi yaklaşık 1,9 kat artmaktadır. Bina yıllık toplam enerji gideri ise 84.289 TL azalmaktadır.

**Çizelge 5.20.** TKIP sisteminin kurulmasının bina enerji tüketimine ve enerji giderine etkisi

	Doğalgaz Tüketimi (kWh)	Elektrik Tüketimi (kWh)	Doğalgaz Tüketimi (TL)	Elektrik Tüketimi (TL)	Toplam Enerji Tüketimi (TL)
<b>TKIP Sistemi Yok</b>	2.048.976	473.857	234.949	165.850	400.799
<b>TKIP Sistemi Var</b>	0	904.314	0	316.510	316.510

**Not: Vergiler dâhil doğalgazın m<sup>3</sup> birim fiyatı 1,1TL elektriğin kWh birim fiyatı 0,35TL alınmıştır. Ayrıca 1m<sup>3</sup> doğalgaz =8250kcal olarak kabul edilmiştir.**

Çizelge 5.21'de ise TKIP sisteminin kurulum maliyeti görülmektedir. Ekonomik analiz yapılırken diğer sistemlerde de olduğu gibi işletme ve bakım giderleri hesaba dâhil edilmemiş ve karşılaştırmalar bugünkü değer üzerinden yapılmıştır. Çizelgeden anlaşılacağı üzere TKIP sisteminin ilk yatırım maliyeti 1.263.258 TL olup sistemin

amorti süresi 15 yıldır. Toprak kaynaklı ısı pompaları ömürlerinin 20 yıl olduğu göz önüne alındığında bu sistemin kurulumunun ekonomik ve akılcı olduğu görülmektedir.

Literatür taraması yapıldığında üniversite kampüsü (Babacan 2007), havalimanı (Fritz 2008) gibi büyük enerji gereksinimi olan yerleşkelerde toprak kaynaklı ısı pompalarının kullanılabilirliğine ilişkin bazı araştırmaların yapıldığı görülmektedir. Babacan (2007) Muğla Üniversitesi Kötekli Yerleşkesi'nde mevcut ısıtma sisteminin yerine düşey toprak kaynaklı ısı pompası sisteminin kullanılabilirliğini araştırmıştır. Üniversitenin merkezi ısıtma sisteminin yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı ortalama 8.351.712 kWh, en fazla ısıtmanın yapıldığı dönem olan aralık ve şubat ayları için ihtiyaç duyulan ısıtma enerjisi saat başına 4.659 kW olarak belirlenmiştir. Bu ısıtma enerjisini karşılayacak düşey TKIP sisteminin TID uzunluğu 85.585 m olarak bulunmuş, çiftli U-boru ve 50 m'lik kuyu tercihi yapıldığında açılacak kuyu sayısı 427 olarak belirlenmiştir. Enerji ihtiyacının büyük olması nedeniyle sistemde her birinin gücü 60 kW olan 78 ısı pompasının kullanılması gerektiği tespit edilmiştir. Göz önüne alınan TKIP sistemi için geri ödeme süresinin 11 yıl olacağı öngörülmüştür. Juneau International Airport'da ısıtma/soğutma enerji gereksiniminin bir kısmı ile kaldırımında oluşan karları eritmek için gerekli ısıyı karşılamak amacıyla her birinin derinliği 53 m olan 108 kuyu içeren düşey toprak kaynaklı ısı pompası sistemi kullanılmaktadır. Sistemde 28 adet su-hava ısı pompası ile 3 adet su-su ısı pompası bulunmaktadır. TKIP sisteminin işletme giderlerinde yılda 80.000 \$ tasarruf yapacağı öngörülmektedir (Fritz 2008).

Erzurum Havalimanı Terminal Binasında TKIP sisteminin kurulumuna karar verilmesi durumunda, yapıma geçilmeden önce sistemin kurulacağı arsada mutlaka zemin etüdü yapılmalıdır. Zemin etüdü yapılmasıyla yer altı tabakalarının jeolojik yapı türü, derinliği, kalınlığı, yoğunluğu gibi özellikleri belirlenmeli ve arsanın toprak kaynaklı ısı pompası sistemi kurulumuna elverişli olup olmadığı tespit edilmelidir.



**Çizelge 5.21.** TKIP sistemi kurulum maliyeti

	Birimi	Birim Fiyatı (TL)	Metraji	Maliyet Tutarı (TL)
<b>Viessmann Vitocal 300-G Pro BW190</b>	Ad	75.000	10	750.000
<b>Değişken Devirli Sirkülasyon Pompası 12-17m<sup>3</sup>/h 3-5 mSS</b>	Ad	3.410	10	34.100
<b>Kuyu delme ve Harç Dolgu Malzemesi</b>	m	50	7.650	382.500
<b>PE SDR-11 Dış Çap Ø40 Polietilen Boru</b>	m	3,15	30.685	96.658
			<b>TOPLAM</b>	<b>1.263.258 TL</b>
<b>Not: Yaklaşık maliyet hesaplanırken birim fiyatlar Çevre ve Şehircilik Bakanlığı 2015 Yılı Birim Fiyat Kitabından alınmıştır. Bu kitapta bulunmayan imalatların fiyatları piyasa araştırması sonucu elde edilmiştir.</b>				

### 5.2.2. Fotovoltaik (PV) panellerin kullanımı

Bu bölümde soğuk iklim bölgesinde bulunan Erzurum Havalimanı Terminal Binasının nZEB/nnZEB bina formuna dönüştürülmesinde fotovoltaik panellerin (PV) elektrik gereksinimini karşılamak amacıyla kullanılabilirliği incelenmiştir.

Terminal binasında TKIP kullanıldıktan sonra toplam yıllık elektrik enerjisi ihtiyacı 904.314 kWh olarak hesaplanmıştır (Çizelge 5.20). Alkan vd. (2014) farklı değerlerde elektrik enerjisi taleplerine göre bir evin elektrik enerjisi ihtiyacını karşılayacak PV sistem tasarımı gerçekleştirdikleri çalışmalarında, panel sayısının günlük enerji ihtiyacına ve güneşlenme süresine göre belirlenmesi gerektiğini vurgulamış ve hesaplamalarında günlük ortalama elektrik tüketimini esas almışlardır. PV panel tasarımı yapılırken terminal binası günlük ortalama elektrik enerjisi tüketimi değeri olan 2478 kWh değeri esas alınmıştır. Binada PV panel olarak Avrupa standartlarına uygun kalitede PV güneş paneli üreten, TÜV sertifikasyonuna ilaveten TSE, IQNET ve TS EN ISO 9001:2008 sertifikalarına sahip yerli 260 W gücünde polikristal “Solar Türk” marka PV güneş panelleri kullanılacağı düşünülmüştür. Seçilen güneş panelinin standart koşullardaki gücü  $P_{pv}=260$  W ( $1000$  W/m<sup>2</sup> ışınım Şiddetinde, 25°C hücre sıcaklığında), panelin alanı  $A_{pv}=1,62$  m<sup>2</sup> ve panelin verimi ise %16’dır.

Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü verilerine göre Erzurum ili için global radyasyon miktarı 3,817 kWh/m<sup>2</sup>-gün, global güneşlenme süresi ise 6,86 saattir (YEGM 2016). Buna göre saatlik ortalama radyasyon miktarı 556,41 W/m<sup>2</sup> dir. Bakırcı (2006) yaptığı çalışmada Erzurum ili için aylara göre optimum toplayıcı eğim açılarını belirlemiş ve 12 ay için ortalama toplayıcı eğim açısını 37° olarak bulmuştur. Bu çalışmada güneş panellerinin çatıya 37° eğim açısıyla yerleştirildiği düşünülmüştür.

Seçilen panelin günlük ortalama üretebileceği elektrik enerjisi miktarı ve terminal binasında kullanılacak toplam güneş paneli sayısı:

$$\begin{aligned} \text{GünlükRadyasyon} \times \text{PanelAlanı} \times \text{PanelVerimi} &= \\ &= (3,817 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{gün}) \times (1,62 \text{ m}^2) \times 0,16 \\ &= 0,989 \text{ kWh/gün} \end{aligned}$$

$$\text{PanelSayisi} = \frac{\text{Elektrikİhtiyacı}}{\text{Bir PanelinUrettiği Elektrik}} = \frac{2478}{0,989} = 2505$$

Bu durumda yılda üretilecek toplam elektrik enerjisi miktarı;

$$2.505 \times 0,989 \text{ kWh / gün} \times 365 \text{ gün} = 904.267 \text{ kWh}$$

olarak hesaplanır.

Erzurum Havalimanı terminal binasında güneş pillerinin kullanılması durumunda elde edilen sonuçlar Çizelge 5.22’de bu sistemin kurulum maliyeti ise Çizelge 5.23’de gösterilmiştir. Çizelgelerden de görüleceği gibi güneş pilleri kurulması halinde yıllık enerji giderlerinde 316.493 TL tasarruf sağlanırken bu sistemin kurulum maliyeti 2.644.278 TL’dir. Bu sonuçlar PV sisteminin kendisini yaklaşık 8,35 yılda amorti edeceğini göstermektedir. PV santralleri ömrünün 20 yıl olduğu göz önüne alındığında PV santrali kurulumunun ekonomik olduğu tespit edilmiştir. Adıgüzel ve Javani (2016) yaptıkları çalışmada Antalya’da iki katlı bir ev üzerinde sıfır enerjili bina konseptine

ulaşmaya çalışmış ve bu amaçla evin elektrik enerjisinin ve sıcak kullanım suyu ihtiyacının güneş enerjisiyle karşılanmasını incelemişlerdir. Elektrik enerjisinin karşılanmasında kullanılacak olan fotovoltaik sistem kurulumunun geri ödeme periyodunu 8,09 yıl olarak bulmuşlardır.

**Çizelge 5.22.** Çatıya PV panellerin yerleştirilmesi sonucu elde edilen üretim değerleri

<b>PV Gücü (W)</b>	<b>260</b>
<b>PV Sayısı (Adet)</b>	2505
<b>Toplam PV Kurulu Gücü (kW)</b>	651,3
<b>PV İle Yıllık Üretilen (kWh)</b>	904.267
<b>PV İle Yıllık Üretilen (TL)</b>	316.493
<b>Not: Vergiler dâhil elektriğin kWh birim fiyatı 0,35TL alınmıştır.</b>	

**Çizelge 5.23.** PV panel kurulum maliyeti (Adıgüzel and Javani 2016)

<b>PV Panel (\$/W)</b>	<b>0,7</b>
<b>Evirici (\$/W)</b>	0,71
<b>Toplam Kurulum Maliyeti: 651.300W x 1,41\$=911.820\$=2.644.278TL</b>	
<b>Not: Dolar kuru 2,9TL alınmıştır.</b>	

### 5.2.3. Rüzgâr türbini kullanımı

EnergyPlus'dan yapı tasarımının bulunduğu konum için rüzgâr yönü ve hızı gibi çıktılar elde edilebilmektedir ve bu çıktılar Şekil 4.4 ve Şekil 4.5'te verilmiştir. Şekil 4.5'te binanın bulunduğu konuma ait yıllık ortalama rüzgâr hızının yaklaşık 3,15 m/s hızında olduğu görülmektedir. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Genel Müdürlüğü tarafından belirlenen rüzgâr enerjisi teknik potansiyellerinde ekonomik RES (Rüzgâr Enerjisi Santrali) yatırımı için 7 m/s veya üzerinde rüzgâr hızı gerektiği belirtilmektedir. Dolayısıyla binanın yerinin ortalama rüzgâr hızı ve yıllık üretim potansiyeli açısından RES kurulumuna elverişli olmadığı değerlendirilmiştir.

#### 5.2.4. Güneş enerjili sıcak su sisteminin kullanımı

Bu bölümde soğuk iklim bölgesinde bulunan Erzurum Havalimanı Terminal Binasının nZEB/nnZEB bina formuna dönüştürülmesinde sıcak su gereksinimini karşılamak amacıyla güneş enerjili sıcak su sisteminin kullanılabilirliği incelenmiştir.

Binanın mevcut sıhhi sıcak su yükü 110.000 kcal/h kapasiteli plakalı eşanjör ile sağlanmaktadır. Plakalı eşanjör, ihtiyacı olan ısıtma suyunu merkezi ısı santralinden karşılamaktadır. Sıhhi sıcak su ihtiyacı güneş enerjisinin en basit kullanım alanı olan güneş kolektörleri ile sağlanabilir. Bu noktada ihtiyaç olan şey yeteri kadar güneş kolektörlerinin kurulması ve bu sisteme bağlanacak olan sirkülasyon pompası, enerji depolama tankı, genleşme tankı gibi mekanik tesisat cihazlarının temin edilerek sistemin kurulmasıdır. Bakırcı ve Yüksel (2009) yaptıkları çalışmada Erzurum ilinde güneş enerjili su ısıtma sisteminin, bilinen su ısıtma sistemlerine bir alternatif olarak kullanılabileceğini deneysel olarak gözlemlemişlerdir. Bölgenin sahip olduğu yüksek güneş enerjisi potansiyelinden dolayı, sıcak su elde etme için güneş enerjili su ısıtma sistemlerinin kullanılmasının önemli ölçüde enerji tasarrufu sağlayacağını belirtmişlerdir.

Yenilenebilir Enerji Kaynakları Genel Müdürlüğü verilerine göre Erzurum ili için global radyasyon miktarı  $Q_{yatay}=3,817 \text{ kWh/m}^2\text{gün}$ 'dür. Sistemin Nisan, Mayıs, Haziran, Temmuz, Ağustos ve Eylül aylarında kullanılabilir olduğu düşünülmüştür. Bu aylar için optimum toplayıcı eğim açısı Bakırcı (2006) tarafından  $15^\circ$  olarak belirlenmiştir.  $40^\circ$  enlem bölgesi ve  $15^\circ$  toplayıcı eğim açısı için R faktörü Çizelge 3.10'dan 1.075 olarak belirlenmiştir. Eğik konumdaki toplayıcıya gelen toplam güneş ışınımı (3.11) eşitliği kullanılarak,

$$Q_{egik} = 3,817 \text{ kWh/m}^2 \text{ gun} \times 1,075 = 4,103 \text{ kWh/m}^2 \text{ gun}$$

olarak hesaplanmıştır.

Menlik vd. (2004) yaptıkları çalışmada güneş enerjili sıcak su hazırlama sistemlerinde kullanılan kollektör ve sıcak su deposu hacminin hesaplamalarını bölgesel olarak yapan bir bilgisayar programı hazırlamış ve kullanma sıcak su ihtiyacı ile radyasyon değerini günlük olarak almıştır. Sıcak su ihtiyacı için gerekli olan günlük ısı yükü simülasyon sonucunda  $Q_{gerçek}=731,5$  kWh olarak hesaplanmıştır. Sıhhi sıcak su ihtiyacını karşılamada kullanılacak olan güneş kollektörleri seçici (selektif) yüzeyli kolektörler olup verimleri %70 kabul edilmiştir. Kollektör dışındaki tesisat verimi ise %50 kabul edilerek güneş enerjisinin toplam faydalı ısı miktarı eşitlik (3.12) kullanılarak,

$$Q_{faydali} = Q_{egik} \times \mu_{kollektör} \times \mu_{tesisat} = 4,103 \times 0,7 \times 0,5 = 1,436 \text{ kWh} / m^2 \text{ gün}$$

olarak hesaplanmıştır. Faydalı kollektör alanı ise eşitlik (3.13) yardımıyla;

$$F = \frac{Q_{gercek}}{Q_{faydali}} = \frac{731,5 \text{ kWh} - \text{gün}}{1,436 \text{ kWh} / m^2 - \text{gün}} = 509,4 \text{ m}^2$$

olarak belirlenmiştir.

Güneş enerjisi kullanılmadığı durumda sıhhi sıcak su elde edebilmek için sarf edilen yıllık toplam doğalgaz miktarı simülasyon sonucunda  $27.834 \text{ m}^3$  ( $1 \text{ m}^3$  fiyatı vergiler dahil 1,1 TL olarak kabul edildiğinde) yaklaşık 30.617 TL olarak hesaplanmıştır. Erzurum'da güneş enerjisi sisteminin 6 ay boyunca kullanılacağı düşünüldüğünden 15.308 TL tasarruf edilebilir.

Güneş enerjisi sisteminin kurulum maliyeti ise Çizelge 5.24'de gösterilmektedir. Sistem kurulumuyla enerji giderlerinden yıllık 15.308 TL tasarruf edilirken sistemin kurulum maliyeti 264.601 TL'dir. Sistem kendini yaklaşık 17,3 yılda amorti ettiği görülmektedir. Sistem ömrü amorti süresine çok yakın olduğundan bu sistemin kurulumu ekonomik ve akılcı olmayacaktır.

**Çizelge 5.24.** Sıhhi sıcak su sisteminde güneş enerjisinden faydalanılması durumunda sistem kurulum maliyeti

	Birimi	Birim Fiyatı (TL)	Metrajı	Maliyet Tutarı (TL)
Seçici (Selektif) yüzeyli kolektörler	m <sup>2</sup>	488	509,4	248.587
Sirkülasyon Pompası	Ad	1.660	2	3.320
Genleşme Tankı 200lt	Ad	694	1	694
Borulama Tesisatı	Ad	10.000	1	10.000
Güneş Enerjisi Otomatik Kontrol	Ad	1	2.000	2.000
<b>TOPLAM</b>				264.601 TL

**Not:** Yaklaşık maliyet hesaplanırken birim fiyatlar Çevre ve Şehircilik Bakanlığı 2015 Yılı Birim Fiyat Kitabından alınmıştır. Bu kitapta bulunmayan imalatların fiyatları piyasa araştırması sonucu elde edilmiştir.

### 5.3. Genel Sonuçlar ve Öneriler

Erzurum Havalimanı Terminal Binasının DesignBuilder v4.5'te modellenmesi, EnergyPlus v8.3'te ise enerji simülasyonu yapılarak binanın bulunduğu konuma ait iklimsel veri çıktıları ile (atmosferik basınç, ortalama dış hava kuru termometre sıcaklığı, ortalama rüzgar hızı değişimi, rüzgar yönü, güneş enerjisi miktarı) binanın enerji tüketimi, iç kazançlar ve CO<sub>2</sub> üretimi elde edilmiştir.

Tezde ulaşılan temel sonuçlar aşağıda verilmiştir:

- 1) Simülasyon sonucuna göre en fazla enerji tüketiminin ısıtma yükünü karşılamak için kullanılmakta olduğu ve bina m<sup>2</sup> başına toplam enerji tüketiminin 485,83 kWh/m<sup>2</sup> olarak gerçekleştiği görülmüştür.
- 2) Simülasyon sonuçlarına göre terminal binasında en fazla iç ısı kazancının aydınlatma kaynaklı gerçekleştiği ve bu iç ısı kazancını sırasıyla dış pencere güneş

kazancı, insanlar, bilgisayar+cihazlar ile pişirmeden kaynaklı kazançların takip ettiği belirlenmiştir.

- 3) Terminal binasından dizayn günü için gerçekleşen ısı kaybı ve toplam zon duyulur ısıtma yükü de simülasyon sonuçlarıyla belirlenmiştir. Binada en fazla ısı kaybının havalandırma (taze havanın ısıtılması) ile gerçekleştiği, bu ısı kaybını pencereler, çatı, dış duvarlar ve infiltrasyonun izlediği görülmüştür. Zon duyulur ısıtma yükü ise 1962,81 kW olarak bulunmuştur.
- 4) Terminal Binasının enerji tüketimi, iç kazançların yanı sıra CO<sub>2</sub> emisyonu üretimi de simülasyon sonuçlarıyla elde edilmiştir. Buna göre binanın doğalgaz ve elektrik enerjisi tüketimleri sonucu yıllık toplam CO<sub>2</sub> emisyonu üretiminin 1.855.590 kg olduğu görülmüştür.
- 5) Binanın gerçek enerji tüketimi ile simülasyon sonucu elde edilen enerji tüketimleri karşılaştırılmış ve simülasyon doğalgaz tüketim değerinin gerçek doğalgaz tüketim değerinden % 18 daha yüksek, gerçek elektrik tüketim değerinin ise simülasyon elektrik tüketim değerinden % 89 daha yüksek olduğu görülmüştür.
- 6) Binada enerji talebinin minimize edilebilmesi için enerji kullanan sistemler ile ısı kayıp ve kazançlarının yaşandığı yerlerde kabul edilebilir düzeyde bir yatırım ile iyileştirme yapılması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır.
- 7) İklimlendirme sisteminde yapılacak iyileştirmeler sonucu bina toplam enerji tüketimi % 55,7, CO<sub>2</sub> emisyonu üretimi ise % 47,7 azalmıştır. Aydınlatma sisteminde yapılacak iyileştirmelerin eklenmesiyle bu azalama sırasıyla % 59 ve % 61,9'a, sistem pompaları ve fanlarında yapılacak iyileştirmelerin eklenmesiyle % 59,5 ve % 63'e ulaşmıştır. Bina m<sup>2</sup> başına toplam enerji tüketimi 485,83 kWh/m<sup>2</sup>'den 196,63 kWh/m<sup>2</sup> değerine düşerken bina toplam CO<sub>2</sub> emisyonu üretimi 1.855.590 kg'dan 685.714 kg'a düşmüştür.

- 8) Bina dış kabuğunda yapılacak iyileştirmelerin, binada gece soğutması yapılmasının, soğutma grubunda serbest soğutma bataryalarının kullanılmasının ve iklimlendirme sisteminin sabit hava debili sistemden değişken hava debili sisteme dönüştürülmesinin ekonomik ve akılcı olmayacağı sonucuna ulaşılmıştır.
- 9) Binada enerji talebinin minimize edilebilmesi için yapılan iyileştirmeler sonucunda, geri kalan enerji talebinin “Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Kullanılması” ile karşılanarak binanın nZEB/nnZEB bina formuna dönüştürülmesi incelenmiştir. Bu inceleme sonucunda toprak kaynaklı ısı pompası ve fotovoltaik panellerin (PV) kullanılmasının ekonomik olacağı, güneş enerjili sıhhi sıcak su sisteminin ise ekonomik olmayacağı sonucuna ulaşılmıştır. Ayrıca binanın yerinin ortalama rüzgâr hızı ve yıllık üretim potansiyeli açısından rüzgar enerjisi santrali kurulumuna elverişli olmadığı değerlendirilmiştir.
- 10) Bina ısıtma ve sıhhi sıcak su enerjisi yükü toprak kaynaklı ısı pompası ile karşılanmış ve binanın yıllık toplam doğalgaz enerjisi tüketimi 0 kWh, toplam elektrik enerjisi tüketimi ise 904.314 kWh olarak bulunmuştur.
- 11) Fotovoltaik panellerin (PV) ise elektrik enerjisi gereksinimini karşılamak amacıyla kullanılabilirliği incelenmiştir. Binada güneş pillerinin kullanılması durumunda 904.267 kWh elektrik enerjisi üretilebileceği sonucuna ulaşılmıştır.
- 12) Erzurum Havalimanı Terminal Binasında enerji talebinin minimize edilebilmesi için yapılan iyileştirmeler ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması sonucunda binanın yıllık primer enerji tüketimi neredeyse 0 kWh değerine düşürülmüş ve bina Neredeyse Net Sıfır Enerjili Bina Formuna dönüştürülmüştür.

Tezde elde edilen bulguların değerlendirilmesi sonucunda aşağıdaki önerilerin yapılmasının uygun olacağı düşünülmektedir:



- 1) HVAC ekipmanları ile sıhhi sıcak su sistemi manüel olarak açılıp kapatılmamalı, otomasyon sistemi devreye alınmalıdır. Bu sayede mahallerin ısıtma sisteminin konfor sıcaklıklarından ve çalışma saatlerinden (modelleme girdilerinden) uzak bir şekilde çalışmasının önüne geçilmelidir.
- 2) Bu tez çalışmasının, basit ya da karmaşık HVAC sistemlerine sahip mevcut ve yeni yapılacak ticari, ofis, konut vb. binaların nZEB/nnZEB formunda yapılması ya da nZEB/nnZEB formuna dönüştürülmesinde yol gösterici nitelik taşıdığı düşünülmektedir.
- 3) Mevcut binaların enerji talebinin azaltılması ve nZEB/nnZEB formuna dönüştürülmesi ilk yatırım maliyeti gerektirse de, bina enerji giderlerine ve çevre kirliliğinin önlenmesine çok büyük katkı sağlamaktadır. Bu nedenle bu çalışmalar yerel ve merkezi yönetimlerin desteğiyle daha da yaygınlaştırılmalıdır.
- 4) Bu tezde Erzurum Havalimanı Terminal Binasının DesignBuilder v4.5'te modellenmesi, EnergyPlus v8.3'te ise enerji simülasyonu yapılmıştır. Farklı modelleme ve bina enerji simülasyon programları kullanılarak yazılımların karşılaştırılması yapılabilir.
- 5) Bu tezde incelenen bina Erzurum'da bulunmaktadır ve enerji analizi, bina enerji talebinin azaltılması ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması yöntemleri soğuk iklim bölgesi için incelenmiştir. Bu yöntemler ılıman ve sıcak iklim bölgeleri için incelenerek sonuçlar karşılaştırılabilir.
- 6) Bu çalışma mevcut bir bina üzerinde yapıldığından iyileştirme çözümleri sadece mevcut bir binada yapılabilecek iyileştirmeleri kapsamaktadır. Fiziksel olarak inşa edilmemiş bir binada bina kütesinin ısı depo olarak kullanılması, binanın yeri, binanın konumu, binanın yönü, binanın formu, hacimlerin yerleştirilmesi gibi çözümler göz önünde bulundurularak hem daha fazla enerji tasarrufu sağlanabilir

hemde HVAC ile aydınlatma ekipmanlarının boyutları daha düşük seçilerek ilk yatırım maliyetinden tasarruf edilebilir.

- 7) Bu çalışmada bina enerji talebinin minimize edilebilmesi için yapılan iyileştirmeler sonucunda geri kalan elektrik enerjisi ihtiyacını karşılamak amacıyla fotovoltaiik panellerin (PV) kullanılması incelenmiş ve PV tasarımı yapılırken günlük ortalama elektrik tüketimi esas alınmıştır. Bu tasarım yapılırken saatlik pik yük ya da daha büyük bir değer esas alınarak binanın ihtiyacından fazla elektrik üretimi gerçekleştirilmesinin ve binanın pozitif enerjili bina formuna dönüştürülmesinin enerji ve ekonomik analizi gerçekleştirilebilir.

## KAYNAKLAR

- ACRP, 2010. Airport Energy Efficiency and Cost Reduction. Airport Cooperative Research Program Synthesis, (21), 2-38.
- Adıgüzel, E., Javani, N. 2016. Güneş Termal Enerjili ve Fotovoltaik Destekli “Neredeyse Sıfır Enerjili Binaların” Enerji ve Ekonomik Açından İncelenmesi. Tesisat Mühendisliği, 155, 87-99.
- AFCESA, 1999. Air Force Civil Engineer Support Agency. Ground Source Heat Pumps.[http://www.afcesa.af.mil/Directorate/CES/Mechanical/Tech\\_Data\\_Bul/grdsrc-heat-pumps.html](http://www.afcesa.af.mil/Directorate/CES/Mechanical/Tech_Data_Bul/grdsrc-heat-pumps.html)
- Aktacir, M.A., 2007. Türkiye'nin Farklı İklim Bölgelerinde Tam Havalı İklimlendirme Sistemlerinin Serbest Soğutma Potansiyelleri. Tesisat Mühendisliği Dergisi, (99), 66-74.
- Aktacir, M.A., Nacar, M.A., Yeşilata, B., 2011. Binalarda Enerji Verimliliği Amaçlı Yazılımlar Üzerine Kısa Bir Değerlendirme. X. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, 853-862.
- Akyol, M.Ö. 2012. Az Katlı Konutlarda Pasif Ev Kriterlerinin Bina Isıl Performansına Etkileri. Yüksek Lisans Tezi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Anabilim Dalı, Ankara.
- Alarko Carrier Bülteni, 2007. 8760 Saatlik Bina Enerji Analizi, (21).
- Al-Homoud, M.S., 2001. Computer-aided Building Energy Analysis Techniques. Building and Environment, (36), 421-433.
- Alkan, S., Öztürk, A., Zavrak, S., Tosun, S., Avcı, E., 2014. Bir Evin Elektrik Enerjisi İhtiyacını Karşılacak Fotovoltaik Sistemin Kurulumu. Elektrik-Elektronik-Bilgisayar ve Biyomedikal Mühendisliği Sempozyumu, 78-82.
- Alparslan, B., Gültekin, A.B., Dikmen, Ç.B., 2009. Ekolojik Yapı Tasarım Ölçütlerinin Türkiye'deki Güneş Evleri Kapsamında İncelenmesi. 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu.
- Alsatt C., Aydınlatma Otomasyonu Ve Enerji Tasarrufu Sistemleri. [http://www.emo.org.tr/ekler/2a546c6b4e346c4\\_ek.pdf](http://www.emo.org.tr/ekler/2a546c6b4e346c4_ek.pdf) (Erişim tarihi: 26/04/2016).
- Altensis, 2016. <http://www.altensis.com/hizmetler/designbuilder-software> (Erişim tarihi: 20.04.2016).
- Alternatif Enerji Sistemleri. 2015. İskilip Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi. Mesleki ve Teknik Eğitimin Kalitesinin Artırılması Projesi. EuropeAid/13386/M/ACT/TR/811. TRH2.2.IQVETII/P:03/811.
- Altın, M., 2003. Tarih İçinde Teknolojiyi Yaşamak: Enerji Üretiminde Fotovoltaik Hücreler. Yapı, (256), 88-91.
- Altın, M., 2004. Yeni Yapı Malzemesi Fotovoltaik Paneller, Özellikleri ve Tarihçesi. 2. Ulusal Yapı Malzemesi Kongresi ve Sergisi Bildiriler Kitabı, 438-444.
- Altın, M., 2004. (Fotovoltaik Malzeme ile) Elektrik Üreten Cepheler ve Çatılar. 1. Ulusal Çatı & Cephe Kaplamalarında Çağdaş Malzeme ve Teknolojiler Sempozyumu.

- Altın, M., 2006. Binaların Enerji İhtiyacının Fotovoltaik (PV) Bileşenli Cepheler İle Azaltılması, 3. Ulusal Çatı Cephe Uygulamalarında Çağdaş Malzeme ve Teknolojiler Sempozyumu.
- Andarini, R., 2014. Role of Simulation in Energy Efficient Building Design, Environmental Design Solutions. Energy Procedia 47, 217 – 226.
- Arslan, A. E. 2014. Toprak Kaynaklı Isı Pompası İle Doğal Gazlı Kombi Birleşik Sisteminin Enerji Verimliliği Yönünden Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi. Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Tekirdağ.
- ASHRAE 2009. Handbook Fundamentals (SI). Energy Estimating and Modeling Methods, Chapter 19.
- Atmaca, M., 2010. Binalarda Enerji Performansı Hesaplama Yöntemi BEP-TR ile Otel Binalarının Enerji Performansının Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Anabilim Dalı Çevre Kontrolü ve Yapı Teknolojisi Programı, İstanbul.
- Attia, S., 2012. A Tool for Design Decision Making-Zero Energy Residential Buildings in Hot Humid Climates. Ph. D. Thesis. Architecture et climat, Université catholique de Louvain, Faculté d'architecture, d'ingénierie architecturale, d'urbanisme, LOCI, Belgique.
- Aydın, Ç., Aydın, C., 2016. Konaklama Sektöründe Enerji Kullanımı ve Sıfır Enerjili Binalar Kavramı. 8. Lisansüstü Turizm Öğrencileri Araştırma Kongresi.
- Azar, E., Menessa, C.C., 2012. A Comprehensive Analysis of the Impact of Occupancy Parameters in Energy Simulation of Office Buildings. Energy and Buildings, (55), 841-853.
- Babacan, Z., 2007. Muğla Üniversitesi Kötekli Yerleşkesinde Toprak Kaynaklı Isı Pompası Kullanılabilirliğinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi. Muğla Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Enerji Anabilim Dalı, Muğla.
- Babu, A. D. 2008. A Low Energy Passenger Terminal Building for Ahmedabad Airport, India: 'Building Envelope as an Environment Regulator'. PLEA 2008 – 25th Conference on Passive and Low Energy Architecture, Dublin, 22nd to 24th October 2008.
- Bakırcı, K., 2006. Optimum Toplayıcı Eğitim Açısının Aylara Göre Değişimi. Mühendis ve Makine, (562), 26-30.
- Bakırcı, K., Özyurt, Ö., Yılmaz, M., Erdoğan, S., 2006. Erzurum İli Enerji Çalışmaları İçin İklim ve Meteoroloji Verileri. Tesisat Mühendisliği Dergisi, (95), 19-26.
- Bakırcı, K., Yüksel, B., 2009. Güneş Enerjili Su Isıtma Sisteminin Deneysel İncelenmesi. Tesisat Mühendisliği Dergisi, (110), 26-30.
- Balaras, C.A, Dascalaki, E, Gaglia, A. & Drousta, K. 2003. Energy conservation potential, HVAC installations and operational issues in Hellenic airports. Energy and Buildings, 35, 1105-1120.
- Bayar, U., Atılğan, A.İ. 2015. Yeşil Ev Tasarımı ve Enerji Analizi İçin Uygulama Örneği. Mühendis ve Makina, cilt 56, sayı 671, s. 41-52.
- Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, 2008. Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği, Ankara.
- Bayraktar, M. 2015. Toprak Kaynaklı Isı Pompası Destekli Pasif Ev Tasarımının Karabük İlinde Uygulanması. Yüksek Lisans Tezi. Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Karabük.

- Bayraktar, M., Schulze, T., Yılmaz, Zerrin., 2009. Binalarda Enerji Simülasyonları İçin Veri Toplama Listeleri Aracılığıyla Veri Yönetimi Modelinin Oluşturulması. Tesisat Mühendisliği Dergisi, 120, 61-72.
- BEP-TR, 2009. Teknik Rapor.
- Berberoğlu, U., 2009. Sürdürülebilir Mimarlık Anlayışı Çerçevesinde Enerji Verimliliği Kavramının Güncel Konumu ve Yeni Yaklaşımlar. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Anabilim Dalı Mimari Tasarım Sorunları Programı, İstanbul.
- Berköz, E., Küçükdoğdu, M., Yılmaz, Z., 1995. Enerji Etkin ve Konut Yerleşme Tasarımı, TÜBİTAK, İNTAG-201, İstanbul
- Chee, L., Akçakaya, A., Erdoğan, C., 2013. Binalarda Net Sıfır Enerji Kullanımı. Best Dergisi, (151), 96-100.
- Cho, S., Lee, K.H., Kang, E.C., Lee, E.J., 2013. Energy Simulation Modeling and Savings Analysis of Load Sharing Between House and Office. Renewable Energy, (54), 70-77.
- CIBSE, 1999. The Chartered Institute of Building Services Engineers, CIBSE Guide Book.
- Crawley, D.B., Lawrie, L.K., Winkelmann, F.C., Buhl, W.F., Huang, Y.J., Pedersen, C.O., Strand R.K., Liesen, R.J., Fishder, D.E., Witte, M.J., Glazer, J., 2001. EnergyPlus: Creating a New-Generation Building Energy Simulation Program. Energy and Buildings, (33), 319-331.
- Çakmanus, İ., 2011. Yaklaşık Sıfır Enerjili Binalar (nnZEB). Yeşil Bina Dergisi, (7), 30-33.
- Çakmanus, İ., 2011. Yaklaşık Sıfır Enerjili Binalar ve Entegre Tasarım. BEST Dergisi.
- Çakmanus, İ., Akpınar, T., 2008. Endüstriyel Fanlarda Enerji Verimliliğinin Arttırılması. 14. Uluslararası Enerji ve Çevre Teknolojisi Sistemleri Fuar ve Konferansı.
- Çakmanus, İ., Kaş, İ., Künar, A., Gülbeden, A., 2010. Yüksek Performanslı Sürdürülebilir Binalara İlişkin Bir Değerlendirme. Türkiye Mühendislik Haberleri, (461-462), 38-46.
- Çelebi, F., Karatekin, C., 2014. İstanbul Halit Ulukurt Tünelinde Eşik Parıltı Değeri ve Fren Mesafesine Göre LED Armatür İle Aydınlatma Tasarımı. Elektrik-Elektronik-Bilgisayar ve Biyomedikal Mühendisliği Sempozyumu, 1-7.
- Demirel, B. 2013. Pasif Ev Uygulamasının Türkiye İçin DeğerlendirilmesineYönelik Bir Çalışma. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Anabilim Dalı Çevre Kontrolü ve Yapı Teknolojisi Programı, İstanbul.
- DesignBuilder Software, 2016. DesignBuilder 4.5 User Manual, <http://www.designbuilder.co.uk>.
- DHMI, 2016. Erzurum Havalimanı, Erzurum Havalimanı Tarihçesi ve Genel Bilgiler, <http://www.erkurum.dhmi.gov.tr>.
- Durmuş, G., Önal, S., 2014. Uluslararası Standartlarında İnşa Edilen Yapının Enerji Kimliğinin Belirlenmesi: Gaziantep Örneği. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, (2), 43-51.
- Dodier,R., Henze, G., 2005. Statistical Analysis of Neural Networks as Applied to Building Energy Prediction. Energy Systems Laboratory, Technical Report, 96/07.

- Doğan, A., Pırasacı, T., 2009. Bina Cephelerinde Yalıtım Yerine Trombe Duvar Kullanımının İncelenmesi. Tesisat Mühendisliği, (112), 41-47.
- Eggen, G., Vangnes, G., 2005. Heat Pump For District Cooling And Heating At Oslo Airport, Gardermoen. Proceedings of 8th IEA Heat Pump Conference, 7 pp.
- Ekinci, A.D., 2007. Erzurum’da Mahal Isıtma Amaçlı Kullanılan Toprak Kaynaklı Isı Pompası Sisteminin Deneysel İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Erzurum.
- Energy Performance Building Directive (EPBD), 2002/91/CE, 2002.
- Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2005. Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun, Ankara.
- Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2007. Enerji Verimliliği Kanunu, Ankara.
- Erdoğan, S., Yılmaz, M., 2012. Bina Enerji Analizi. Soğutma Dünyası, (57), 54-62.
- Erol, Ö., 2013. Yüksek Performanslı Binaların Tasarımında Bina Benzetim Yazılımlarının Yeri. XI. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi, 1703-1716.
- Ertöz, A.Ö., 2006. Pompalarda ve Pompaj Sistemlerinde Enerji Verimliliği. Tesisat Mühendisliği Dergisi, (96), 50-56.
- Eskin, N., 2009. Konut Dışı Binaların Yıllık Enerji İhtiyaçlarının İncelenmesi. IX. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi, 467-473.
- ESP-r, 2014. University of Strathclyde Energy Systems Research Unit– SRU, <http://www.esru.strath.ac.uk/Programs/ESP-r.htm>, Erişim: 25.07.2016.
- Feist, W., Schnieders, J., Dorer, V., Haas, A., “Re-inventing air heating: Convenient and comfortable within the frame of the Passive House concept”, Energy and Buildings, 37: 1186–1203 (2005).
- Fritz, C., 2008. Ground Source Heat Pump Project Overview. Airport Architect.
- Fumo, N., Mago, P., Luck, R., 2010. Methodology to Estimate Building Energy Consumption Using EnergyPlus Benchmark Models. Energy and Buildings, (42), 2331-2337.
- Ganiç, N., Yılmaz, A.Z., Corgnati, S.P., 2013. Enerji Performansı Gereksinimlerinin Optimum Maliyet Düzeyinin Türkiye’deki Örnek Bir Ofis Binasında Yapılan İyileştirmeler İçin Hesaplanması. Tesisat Mühendisliği Dergisi, (136), 61-75.
- Griffith, B., Pless, S., Talbert, B., Deru, M., Torcellini, P., 2003. Energy Design Analysis and Evaluation of a Proposed Air Rescue and Fire Fighting Administration Building for Teterboro Airport. National Renewable Energy Laboratory. Technical Report.
- Güçül, G.N. 2016. Ankara’da Müstakil Bir Konutun Nihai Enerji Tüketimini En Aza İndirebilmenin Yollarının Araştırılması ve Tekno-Ekonomik Değerlendirilmesi. Doktora Tezi. Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Gül, M., 2006. Bölge Müdürlüklerimiz Erzurum Meteoroloji Bölge Müdürlüğü, Dört Mevsim Meteoroloji Bülteni, 62.
- Günerhan, H., 2008. Toprak Kaynaklı Isı Pompalarında Toprak Isı Değiştiricisinin Tasarımı. Türk Tesisat Mühendisleri Derneği Dergisi, (53), 27-35.
- Harputlugil, G., 2014. Bina Enerji Performansı Değerlendirme Araçları-Enerji Simülasyonu. Tesisat Mühendisliği, (144), 23-32.
- Harputlugil, G., 2016. Enerji Verimli Bina Tasarım Stratejileri. Binalarda Enerji Verimliliğinin Artırılması İçin Teknik Yardım Projesi, 1-40.

- HBSDTT 2008. Heinrich Böll Stiftung Derneği Türkiye Temsilciliği Enerji Verimliliği Teknik Kitapçığı, 30-31.
- Hepbaşlı, A., 2007. Enerji Verimliliği Kanunu ve Bilinmesi Gerekenler. Electrotech'07 8. Enerji, Elektrik ve Elektronik Teknolojileri Fuarı - Elektrik Tesisat Mühendisleri Derneği Semineri.
- Hepbaşlı, A., Ertöz, A.Ö., 1999. Geleceğin Teknolojisi: Yer Kaynaklı Isı Pompaları. IV. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi, 445-492.
- Hepbaşlı, A., Hancıoğlu, E., 2001. Toprak Kaynaklı (Jeotermal) Isı Pompalarının Tasarımı, Testi ve Fizibilitesi. V. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi, 521-564.
- Heperkan, H., 2014. Mekanik Tesisat ve Binalarda Hava Geçirgenliği, Enerji Verimliliğine Etkisi. İzolasyon Dünyası, 61.
- Hoşkara, E. 2007. Ülkesel Koşullara Uygun Sürdürülebilir Yapım İçin Stratejik Yönetim Modeli. Doktora Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Anabilim Dalı Yapı Bilgisi Programı, İstanbul.
- International Energy Agency (IEA), 2006. Energy Information Administration, U.S. Department of Energy.
- International Ground Source Heat Pump Association (IGSHPA), 2006. <http://www.igshpa.okstate.edu/index.htm>
- Isın, N., Alaloğlu, M., Erdoğan, A., Acar, L., 2011. Saatlik Analiz Programı. TTMD Isıtma, Soğutma, Havalandırma, Klima, Yangın ve Sıhhi Tesisat Dergisi Temel Bilgiler, Tasarım ve Uygulama Eki, (73), 1-7.
- İZOCAM, 2015. İzocam'dan Gaziantep'e Pasif Ev. <http://www.izocam.com.tr/g389-izocam-dan-gaziantep-e-pasif-ev.html>
- İZODER, 2013. İzolasyon Dünyası Dergisi, (104), 29.
- Karagözlü, A.B., 2006. Konutlarda Enerji Giderlerinin Azaltılmasına Yönelik Bir Çalışma. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Karakan, A., Oğuz, Y., 2015. Mevcut Yapılara Uygulanan Fotovoltaik Sistemlerin İncelenmesi: Afyonkarahisar Örneği, 2nd International Sustainable Buildings Symposium, 887-897.
- Kavak, K., 2005. Dünyada ve Türkiye'de Enerji Verimliliği ve Türk Sanayiinde Enerji Verimliliğinin İncelenmesi. Uzmanlık Tezi. İktisadi Sektörler ve Koordinasyon Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Kavanaugh, S.K., Rafferty, K., 1997. Ground-Source Heat Pumps: Design of Geothermal Systems for Commercial and Institutional Buildings. ASHRAE, 167.
- Keskin, A.O, Özgün, H. Verdioğlu, S. 2011. Fotovoltaik Hakkında Temel Bilgiler Semineri. IBC Solar. İzmir.
- Keskin, M.T., Ünlü, H., 2010. Türkiye'de Enerji Verimliliğinin Durumu ve Yerel Yönetimlerin Rolü. Araştırma Raporu. Heinrich Böll Stiftung Derneği ve Avrupa Birliği Politikaları Enstitüsü.
- Kılıçaslan, İ., Kılıçaslan, Y., 1997. İzmit ve Çevresinde Güneş Enerjisinin Sıcak Su Eldesinde Kullanımının Ekonomik Analizi. Makine Mühendisleri Odası Çevre ve Enerji Kongresi, 326-332.

- Kılıkş, B., 2014. Energy consumption and CO<sub>2</sub> emission responsibilities of terminal buildings: A case study for the future Istanbul International Airport. *Energy and Buildings*, (76), 109-118.
- Kibert, C. 1994. Establishing Principles and a modal for sustainable construction. *Proceedings of First International Conference of CIB TG16 on Sustainable Construction* (s. 3-12). University of Florida.
- Kolokotsa, D., Rovas, D., Kosmatopoulos, E., Kalaitzakis, K., 2011. A Roadmap Towards İntelligent Net Zero- And Positive-Energy Buildings. *Solar Energy*, (85), 3067-3084.
- Koroğlu, T., Teke, A., Bayındır, K.Ç., Tümay, M. 2010. Güneş Paneli Sistemlerinin Tasarımı. *Elektrik Mühendisliği*, 439, 98-104.
- Kural, A.K., 2012. Malatya İlinde Bir Binada Toprak Kaynaklı Isı Pompası Uygulamasının Merkezi Klima ve Doğalgazlı Sistemlerle Karşılaştırılması. Yüksek Lisans Tezi. İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Malatya.
- Lazzarin, R., 2001. Ground as a possible heat pump source. *Geothermische Energie*, 32-33
- Lee, W.L., Yik, F.W.H., Jones, P., Burnett, J., 2001. Energy Saving by Realistic Design Data for Commercial Buildings in Hong Kong. *Applied Energy*, (70), 59-75.
- Lund, J.W., 1988. Geothermal Heat Pump Utilization in the United States. *Geo-Heat Center, Quarterly Bulletin*, (11/1), 5-7.
- Mangan, S.D., Oral, G., 2013. Türkiye'nin Farklı İklim Bölgelerinde Bir Konut Binasının Enerji Etkin İyileştirilmesi. XI. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi, 921-931.
- Menlik, T., Aktaş, M., Özdemir, M.B., 2004. Türkiye'de Bölgesel Olarak Güneş Enerjili Sıcak Su Hazırlama Sistemlerinin Kapasite Hesaplarının Bilgisayar Programı İle Yapılması. *Teknoloji*, (7/2), 219-224.
- Miles, L., 1994. *Heat Pumps: Theory and Service*, Delmar Publishers Inc., NY.
- Mpholo, M., Nchaba, T., Monese, M., 2015. Yield and performance analysis of the first grid-connected solar farm at Moshoeshoe I International Airport, Lesotho. *Renewable Energy*, (81), 845-852.
- Nalbantoğlu, B., 2011. Pompalarda Enerji Tasarrufu, <http://www.alarko-carrier.com.tr/tr/Medya/Makaleler/Makale6.pdf>
- Oflazoğlu, Z., 2013. Mimari Tasarım Yaklaşımı Olarak Sıfır Enerji Bina Kavramı ve Ülkemizde Uygulanabilirliği Üzerine Bir Araştırma. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Anabilim Dalı Mimari Tasarım Programı, İstanbul.
- Orhon, A., Altın, M., 2015. Mimari Sürdürülebilirlik İçin Bir Değerlendirme Aracı Olarak Benzetim. XII. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, 2153-2161.
- Ören, C., 2010. Ofis Binalarında Yıllık Eneji Tüketimini Azaltan Parametrelerin İncelenmesi ve Pasif Yöntemlerin Enerji İhtiyaçlarına Etkisi. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Pamuk R., Kuruoğlu, M. 2016. İnşaat Sektöründe Sürdürülebilirlik ve Bina İnşaatlarında Evrensel Uygulama Örnekleri. *Beykent Üniversitesi Fen Ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*. Sayı 9(1) 2016, 161 – 177.
- Parker, J., Cropper, P., Shao, L., 2011. Using Building Simulation to Evaluate Low Carbon Refurbishment Options for Airport Buildings. 12th Conference of International Building Performance Simulation Association, 554-561.



- Paradis, R., 2010. Energy Analysis Tools. National Institute of Building Sciences, <http://www.wbdg.org/resources/energyanalysis.php>
- Rahman, M.M., Rasul, M.G., Khan, M.M.K., 2010. Energy Conservation Measures in an Institutional Building in Sub-Tropical Climate in Australia. *Applied Energy*, (87), 2994-3004.
- Rees, S.J., Spitler, J.D., Davies, M.G., Haves, P., 2000. Qualitative Comparison of North American and U.K. Cooling Load Calculation Methods. *Hvac&R Research* (6), 1.
- Ristimäki, T., 2008. Frekans Konvertörü İle Enerji Verimliliği, Honeywell GmbH.
- Rüther, R., Braun, P., 2009, Energetic Contribution Potential of Building-Integrated Photovoltaics on Airports in Warm Climates, *Solar Energy*, 83 , 1923–1931.
- Sanner, B., 2003. Ground Heat Sources for Heat Pumps (classification, characteristics, advantages). International Summer School on Direct Application of Geothermal Energy. Institute of Applied Geosciences, Justus-Liebig-University Diezstrasse 15, D-35390 Giessen, Germany.
- Schnieders, J., Hermelinkb, A., “CEPHEUS results: measurements and occupants’ satisfaction provide evidence for Passive Houses being an option for sustainable building”, *Energy Policy*, 34: 151–171(2006).
- SEPEV 2016. Sıfır Enerji ve Pasif Ev Derneği. <http://sepev.org/pasif-ev-nedir/04.11.2016>
- Sürdürülebilir Mimari 2012. Sürdürülebilir Mimaride Kullanılan Pasif Sistemler. <http://surdurulebilir-mimari.blogspot.com.tr/2012/09/surdurulebilir-mimaride-kullanilan-pasif.html>
- Strand, R.K., Pedersen, C.O., Crawley, D.B., 2001. Modularization and Simulation Techniques For Heat Balance Based Energy And Load Calculation Programs: The Experience Of The Ashrae Loads Toolkit And Energyplus. VII. Uluslararası IBPSA Konferansı, Brezilya.
- Şahan, A.M., 1999. HVAC Uygulamalarında Isı Geri Kazanımı. IV. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi, 151-162.
- Şahin, C.D., Arsan, Z., Akkurt, G., 2015. İzmir’de Bulunan Bir Konutta Ölçülen Hava Sızdırmazlık Değerinin Yıllık Isıtma Amaçlı Enerji Tüketimi Üzerine Etkisinin İncelenmesi. XII. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, 2195-2208.
- Tamošiūnas, R., 2014. Pagrindinis Geoterminio Šildymo Trūkumas–Didelė Įrangos Kaina. <http://www.technologijos.lt/upload/image/n/technologijos/statybos/S-21620/Geoterminis.JPG>
- Thullner, K., “Low-Energy Buildings in Europe-Standarts, Criteria and Consequences”, Doktora Tezi, Lund Technical University LTH, İsveçre, (2010).
- Tıkır, A., 2009. İstanbul’da Mevcut Bir Konutun Dış Kabuğunun Enerji Etkin Yenilenmesi ve Ekonomik Etkinliğinin Değerlendirilmesine Yönelik Bir Çalışma. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- TMMOB Makine Mühendisleri Odası, 2008. Dünyada ve Türkiye’de Enerji Verimliliği Oda Raporu.
- Tokuç, A., 2009. Bina Enerji Benzetim Araçları ve Seçim Ölçütleri. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, (3), 19-30.
- Tsoutsos, T., Tournaki, S., Santos, C.A., Vercellotti, R., 2013. Nearly Zero Energy Buildings Application in Mediterranean Hotels. *Energy Procedia*, (42), 230-238.

- Upham, P. 2001. A comparison of sustainability theory with UK and European airports policy and practice, *Journal of Environmental Management* 63 (3), 237–248.
- Utlu, Z., Tekin, S., 2013. Yeşil Bina Uygulamalarında Net Sıfır Enerjili Binaların Tasarım Parametrelerinin Belirlenmesi. 11. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, 1613-1621.
- Uzuner, G., 2015. Santrifüj Pompalarda Enerji Verimliliği ve Önemi, WILO Pompa Sistemleri A.Ş.
- ÜNTES 2013. Freecooling Soğutma Grupları ve Enerji Tasarrufuna Etkisi. *Best Dergisi*.
- ÜNTES 2013. Klima Santralleri Teknik Dökümanı. <http://www.entes.com.tr/Dokuman/TR/31102013020253PM.pdf>
- VENTAS 2012. Klima Santrali Dökümanı. [http://www.ventas.com.tr/resimler/VENTAS\\_KlimaSantrali-SON.pdf](http://www.ventas.com.tr/resimler/VENTAS_KlimaSantrali-SON.pdf)
- Viessmann 2010. Yenilenebilir Enerji Sistemleri-Isı Pompaları. Eğitim Sunumu.
- Viessmann Planlama Kılavuzu, 2000. Isı Pompası Sistemleri. Viessmann Isı Teknikleri Tic. A.Ş. Gebze-Kocaeli.
- Wasilowski, H.A., Reinhart, C.F., 2009. Modelling An Existing Building In DesignBuilder/EnergyPlus: Custom Versus Default Inputs. XI. International IBPSA Conference, 1252-1259.
- WBCSD, 2007. Energy Efficiency in Buildings, Business Realities and Opportunities. World Business Council for Sustainable Development.
- WECTNC, 2005-2006. Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi Enerji Raporu.
- Wirth, S. 2002. Gebäudetechnische Systemlösungen für Niedrigenergiehäuser. Ernst&Sohn.
- Yaman, M.C., Gökçen, G., 2009. Güneş Termal Enerjili ve Fotovoltaik Destekli “Neredeyse Sıfır Enerjili Binaların” Enerji ve Ekonomik Açından İncelenmesi. XII. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, 1239-1252.
- Yaman, M.C., Gökçen, G., 2009. Statik ve Dinamik Hesaplama Metodları İle Binalarda Enerji Performans Değerlendirmesi Ölçüm Değerleri İle Karşılaştırılması. IX. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi, 509-525.
- Yang, Z., Zhao, Y., Xu, X., Zhai, B., 2012. Analysis and Comparison of Building Energy Saving Reconstruction in Hot Summer and Warm Winter Regions of South China and Cold Regions of North China. *Energy and Buildings*, (54), 192-195.
- YEGM, 2016. <http://www.eie.gov.tr/MyCalculator/pages/25.aspx/04.11.2016>
- YEGM, 2017. [http://www.eie.gov.tr/yenilenebilir/g\\_enj\\_tekno.aspx/28.01.2017](http://www.eie.gov.tr/yenilenebilir/g_enj_tekno.aspx/28.01.2017)
- YEGM, 2017. <http://www.eie.gov.tr/teknoloji/aydinlatma.aspx/28.01.2017>
- Yılmaz, B. 2012. Türkiye İçin Sürdürülebilir Bina Performans Kriterleri Ve Bütünleşik Tasarım Yönetim Modeli Oluşturulması. Doktora Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Anabilim Dalı Yapı Bilimleri Programı, İstanbul.
- Yılmaz, Z., 2006. Akıllı Binalar ve Yenilenebilir Enerji. *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, (91), 7-15
- Yumurtacı, Z., Sarıgül, A., 2011. Santrifüj Pompalarda Enerji Verimliliği ve Uygulamaları, *Makine Mühendisleri Odası*, 49-58.
- Yüceer, N.S., 2010. Gölge Elemanı Tasarımına Bir Yaklaşım ve Adana Örneği. *Metu Journal Of The Faculty Of Architecture*, (27:2), 1-13.

Zeren, F.T., 2010. Energy Performance Analysis of Adnan Menderes International Airport (ADM). Master of Science. Graduate School of Engineering and Sciences of Izmir Institute of Technology, İzmir.



## ÖZGEÇMİŞ

1983 yılında Gaziantep'te doğdu. Lise öğrenimini 1997-2000 yılları arasında Gaziantep'te tamamladı. 2002 yılında Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği bölümünde öğrenimine başladı. 2006 yılında aynı bölümden mezun oldu. 2007 yılında Erzurum Bayındırlık ve İskân Müdürlüğünde Makine Mühendisi olarak göreve başladı. 2007-2012 yılları arasında bu kurumda görev yaptı.

2009 yılında Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisansını tamamladı. 2012-2014 yılları arasında Gaziantep İl Özel İdaresinde Makine Mühendisi olarak görev yaptı. 2014 yılından beri Gaziantep Yatırım İzleme ve Koordinasyon Başkanlığında Makine Mühendisi olarak görev yapmaktadır.