

**ANKARA'DA MÜSTAKİL BİR KONUTUN NİHAİ ENERJİ
TÜKETİMİNİ EN AZA İNDİREBİLMENİN YOLLARININ
ARAŞTIRILMASI VE TEKNO-EKONOMİK
DEĞERLENDİRİLMESİ**

**INVESTIGATION AND TECHNO-ECONOMIC EVALUATION
OF THE WAYS TO MINIMIZE THE FINAL ENERGY
CONSUMPTION OF A DETACHED HOUSE IN ANKARA**

GÜL NİHAL GÜĞÜL

Doç. Dr. MERİH AYDINALP KÖKSAL

Tez Danışmanı

Hacettepe Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı için Öngördüğü
DOKTORA TEZİ olarak hazırlanmıştır.

2016

GÜL NİHAL GÜĞÜL'ÜN hazırladığı “Ankara’da Müstakil Bir Konutun Nihai Enerji Tüketimini En Aza İndirebilmenin Yollarının Araştırılması ve Tekno-Ekonomik Değerlendirilmesi” adlı bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI’nda DOKTORA TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. V. İsmet UĞURSAL

Başkan

.....

Doç. Dr. Merih AYDINALP KOKSAL

Danışman

.....

Prof. Dr. Derek K. BAKER

Üye

.....

Prof. Dr. Gülen GÜLLÜ

Üye

.....

Doç. Dr. Bahar ÇELİKKOL ERBAŞ

Üye

.....

Bu tez Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından DOKTORA TEZİ olarak onaylanmıştır.

Prof. Dr. Salih Bülent ALTEN

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK

Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- Atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

____/____/____

GÜL NİHAL GÜĞÜL

ÖZET

ANKARA'DA MÜSTAKİL BİR KONUTUN NİHAİ ENERJİ TÜKETİMİNİ EN AZA İNDİREBİLMENİN YOLLARININ ARAŞTIRILMASI VE TEKNO-EKONOMİK DEĞERLENDİRİLMESİ

GÜL NİHAL GÜĞÜL

Doktora, Çevre Mühendisliği Bölümü

Tez Danışmanı: Doç. Dr. MERİH AYDINALP KÖKSAL

Ocak 2016, 141 sayfa

Konut sektöründe tüketilen enerji toplam enerji tüketiminin içinde yaklaşık % 30'a yakın bir paya sahiptir. Türkiye'de konut sayısının artması ile birlikte konutlarda tüketilen enerji miktarı ve buna bağlı CO₂ salımı da artmaktadır. Bu çalışmada, 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. Isıtma talebi modelinin oluşturulmasında konutun mimari çizimi, inşası sırasında kullanılan malzemeler ve ısı kazançları hakkında bilgiler temin edilmiştir. Konutun bulunduğu bölgeye ait iklim verileri de meteoroloji istasyonlarından temin edilmiştir. Bunlara ek olarak, konutun bir yıllık saatlik elektrik ve günlük doğalgaz tüketimi verileri kayıt edilmiştir. Konutun ısıtma talebi tahmini ile ısıtma amaçlı doğalgaz ölçüm verileri karşılaştırılmış ve R² ile ortalama mutlak yüzde hata değerleri 0,94 ve %28 olarak hesaplanmıştır. 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) öngören senaryolar modele uygulanmıştır. Senaryo sonuçlarının tekno-ekonomik analizleri, konutta fiziksel yapıda iyileştirmelerin öngörüldüğü senaryoların enerji tasarrufu ve CO₂ 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 uygulanmıştır. Bu analizler ile Ankara'da 12 milyon m³/yıl doğalgaz eşdeğeri enerji tasarrufunun elde edileceği sonucuna varılmıştır. Bu çalışma, Ankara ikliminde bulunan müstakil konutlarda tercih edilebilecek enerji tasarruflarının potansiyellerinin belirlenmesinde önemli bir adımdır.

Anahtar Kelimeler: ESP-r, bina enerji simülasyonu, konutlarda enerji tasarrufu

ABSTRACT

INVESTIGATION AND TECHNO-ECONOMIC EVALUATION OF THE WAYS TO MINIMIZE THE FINAL ENERGY CONSUMPTION OF A DETACHED HOUSE IN ANKARA

GÜL NİHAL GÜĞÜL

PhD, Department of Environmental Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. MERİH AYDINALP KÖKSAL

January 2016, 141 pages

Amount of energy consumed by residential sector has an important share in total energy consumption. Together with the increase in the number of houses in Turkey, the amount of energy consumption and associated CO₂ emissions of the residential sector are also increasing. In this study, the potential in energy consumption reduction of a single detached dwelling has been investigated. The hourly space heating consumption model of the dwelling has been developed using ESP-r building energy simulation software. Architectural drawings of the dwelling, materials used in the construction, and heat gain information of the dwelling were obtained to develop the space heating consumption model. Climate data of the region where dwelling was located were also obtained from the meteorological stations. In addition, hourly electricity and daily natural gas consumption of the dwelling were monitored for a year. Space heating consumption predictions of the dwelling were compared with the monitored natural gas consumption for heating data, and the R² value and mean absolute percentage error were calculated as 0.94 and 28%, respectively. Scenarios based on the improvements of the dwelling's physical structure (window glazing, exterior walls, and roof insulation) and using renewable energy sources (photovoltaic panels, water heating system with solar energy, ground source heat pump) were integrated to the model. The techno-economic analysis of the scenarios' results indicated that scenarios based on the physical improvements in the structure of the dwelling were preferable in energy saving and reducing CO₂ emissions. Since the use of photovoltaic panel and ground source heat pump resulted in high pay back periods, these scenarios were concluded to be not preferable for the Central Anatolian climate. Due to the acceptable payback period of solar domestic hot water system and its 68% energy

savings, using this system in the dwelling was concluded to be feasible. The window, exterior wall, and roof insulation improvements, and solar domestic hot water scenarios are applied to the single detached dwellings built in Ankara after 2005 and in the same energy class with the model house. These analyses indicate that 12 million m³/year natural gas equivalent energy savings are possible in Ankara. This study is an important step in determining the potential of energy saving of the single detached dwellings located at Ankara climate.

Keywords: ESP-r, building energy simulation, residential energy saving

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamın her aşamasında değerli katkı ve eleştirileriyle yol gösteren ve beni her zaman çalışmaya teşvik eden tez danışman hocam Doç Dr. Merih AYDINALP KÖKSAL'a, önemli yorum ve yönlendirmeleri ile katkıda bulunan jüri üyelerim Prof. Dr. V. İsmet UĞURSAL, Prof. Dr. Gülen GÜLLÜ, Prof. Dr. Derek K. BAKER ve Doç. Dr. Bahar ÇELİKKOL ERBAŞ'a teşekkür ederim.

NSERC Solar Building Research Network çerçevesi içerisinde Dalhousie Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü'nde bulunan Bina Modellemesi ve Sektörel Enerji Tasarrufu Grubu'na maddi ve teknik destekleri için teşekkür ederim.

Rengül ATALAY ve Volkan ATALAY'a konutlarını tez çalışmamda kullanmama müsaade ettikleri ve hertürlü desteği sağladıkları için teşekkür ederim.

Tez çalışmam süresince maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen en büyük destekçim olan annem Meral GÜĞÜL'e, ablam Doç. Dr. İlkay Hilal GÜBBÜK'e ve değerli ailesine her türlü destekleri için teşekkür ederim.

Mesai arkadaşlarıma çalışmalarımda beni her zaman teşvik eden manevi destekleri için teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	iii
TEŞEKKÜR.....	v
İÇİNDEKİLER.....	vi
ÇİZELGELER LİSTESİ.....	x
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xv
1 GİRİŞ.....	1
1.1 Genel Bilgiler.....	1
1.2 Mevcut Sorun.....	3
1.3 Tezin Amaç ve Hedefleri.....	6
1.4 Tezin Kapsamı.....	7
1.5 Tezin Yapısı.....	8
2 BİNA ENERJİ SİMÜLASYON YAZILIMLARI.....	9
2.1 Bina Enerji Simülasyon Yazılımları.....	9
2.1.1 DOE-2.....	9
2.1.2 EnergyPlus.....	10
2.1.3 eQUEST.....	10
2.1.4 TRNSYS.....	11
2.1.5 ESP-r/HOT3000.....	12
2.1.6 ESP-r.....	12
2.2 Simülasyon Yazılımlarını Karşılaştırılması.....	13
2.3 Simülasyon Yazılımının Seçimi ve Seçilme Nedeni.....	14
2.4 Bölüm Sonucu.....	14
3 LİTERATÜR ÖZETİ.....	16
3.1 Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının ve Yeni Teknolojilerin Binalarda Kullanılmasını Öngören Modelleme Çalışmaları.....	16
3.2 Fiziksel İyileştirme Öngören Modelleme Çalışmaları.....	21
3.3 Metotların Performansını İnceleyen Çalışmalar.....	24
3.4 Bölüm Sonucu.....	25
4 ÇALIŞMA YÖNTEMİ.....	27
4.1 Konutun Seçilmesi.....	28
4.2 Verilerin Belirlenmesi ve Temin Edilmesi.....	29
4.2.1 Anket Verileri.....	29
4.2.2 Meteoroloji Verileri.....	29
4.2.3 Enerji Tüketimi Ölçüm Verileri.....	30
4.2.3.1 Elektrik Tüketimi Ölçüm Verileri.....	30
4.2.3.2 Doğalgaz Tüketimi Ölçüm Verileri.....	30
4.2.4 Senaryo Verileri.....	34
4.3 Modelin Oluşturulması.....	35
4.3.1 Geometrik Modelin Oluşturulması.....	35
4.3.2 İklim Verisinin Eklenmesi.....	35
4.3.3 Isı kazançlarının Hesaplanması.....	35
4.3.3.1 Hanehalkından Kaynaklanan Isı kazancı Hesabı.....	35
4.3.3.2 Aydınlatmadan Kaynaklanan Isı kazancı Hesabı.....	36
4.3.3.3 Elektrikli Cihazlardan Kaynaklanan Isı kazancı Hesabı.....	36
4.3.4 Isıtma Sistemi.....	37

4.3.5 Hava Akış Ağı	37
4.3.6 Isınma Amaçlı Doğalgaz Talebinin Hesaplanması	37
4.3.7 Modelin Kalibre Edilmesi.....	37
4.4 Senaryoların Uygulanması.....	38
4.4.1 Konutun Fiziksel Yapısında İyileştirmeler Yapan Senaryoların Uygulanması.....	38
4.4.1.1 Pencere İzolasyonunun İyileştirilmesi	38
4.4.1.2 Dış Duvar Yalıtım Malzemesinin İyileştirilmesi.....	39
4.4.1.3 Çatı Yalıtım Malzemesinin İyileştirilmesi	39
4.4.1.4 Yapısal Senaryoların Birlikte Uygulanması	40
4.4.2 Konutta Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Kullanılmasını Öngören Senaryoların Uygulanması	40
4.4.2.1 Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Teknolojik Değerlendirilmesi.....	40
4.4.2.2 Fotovoltaik Panel	40
4.4.2.3 Güneş Enerjisi ile Su Isıtma Sistemi	41
4.4.2.4 Toprak Kaynaklı Isı Pompası	42
4.5 Senaryo Sonuçları Analizleri	43
4.5.1 Enerji Tasarrufu.....	44
4.5.2 CO ₂ Salımı Azalması	44
4.5.3 Ekonomik Analiz.....	45
4.5.3.1 Yapısal İyileştirmelerde Ekonomik Analiz	45
4.5.3.2 Yenilenebilir Enerji Kaynaklarında Ekonomik Analiz	46
4.6 Konutun Enerji Kimlik Belgesinin Belirlenmesi	49
4.7 Senaryo Sonuçlarının Genelleştirilmesi	49
4.8 Bölüm Sonucu.....	50
5 KULLANILAN VERİLER.....	51
5.1 Modellemede Kullanılan Veriler	51
5.1.1 Konutun Mimari Çizimi ve Fiziksel Özellikleri	51
5.1.2 Konutun Isı Kazanç Verileri	54
5.1.2.1 Aydınlatmadan Kaynaklanan Isı Kazancı.....	54
5.1.2.2 Hanehalkından Kaynaklanan Isı Kazancı	55
5.1.2.3 Elektrikli Cihazlardan Kaynaklanan Isı Kazancı	59
5.1.3 Doğalgaz Tüketim Verisi	60
5.1.3.1 Yemek Pişirme Amaçlı Doğalgaz Tüketim Verisi	61
5.1.3.2 Sıcak Su Tüketimi Verisi	62
5.1.3.3 Konutun Isıtılması Amaçlı Doğalgaz Tüketimi.....	64
5.1.3.4 Doğalgaz Tüketimi Verilerinin Analizi	64
5.1.4 Elektrik Tüketim Verisi.....	65
5.1.4.1 Elektrik Tüketiminin Analizi	66
5.1.5 Meteorolojik Veriler	70
5.1.6 Yeraltı Toprak Sıcaklığı Verisi.....	73
5.2 Senaryolarda Kullanılan Veriler.....	74
5.2.1 Salım Faktörleri.....	74
5.2.1.1 Doğalgaz Salım Faktörü (DSF).....	74
5.2.1.2 Elektrik için Salım Faktörü (ESF)	75
5.2.2 Fiziksel İyileştirme Verileri	75
5.2.3 Fotovoltaik Panel Verileri	76
5.2.4 Güneş Enerjisi İle Su Isıtma Sistemi verileri.....	77
5.2.5 Toprak Kaynaklı Isı Pompası Verileri	77
5.3 Ekonomik Analizlerde Kullanılan Veriler	77

5.3.1	Yalıtım Maliyet Verileri	78
5.3.2	Elektrik Tarifesi	78
5.3.3	Doğalgaz Tarifesi	79
5.3.4	Enflasyon ve Faiz Oranları	81
5.4	Konutun Enerji Kimlik Belgesi Verileri	81
5.5	Senaryo Sonuçlarının Genelleştirilmesinde Kullanılan Veriler	84
5.6	Bölüm Sonucu.....	85
6	MODELİN OLUŞTURULMASI VE SENARYOLARIN UYGULANMASI.....	86
6.1	Modelin Oluşturulması	86
6.1.1	Geometrik Modelin Oluşturulması	86
6.1.2	Malzeme Ve Yapıların Oluşturulması.....	88
6.1.3	Yapıların Isı İletkenlik Katsayılarının (U Değeri) Hesaplanması	90
6.1.3.1	Genel Çizelge	91
6.1.4	Isı Kazançlarının Oluşturulması	91
6.1.5	Isıtma Sisteminin Oluşturulması.....	92
6.1.6	Hava Akış Ağı Oluşturulması	92
6.2	Modelin Kalibre Edilmesi.....	93
6.3	Senaryoların Modele Uygulanması	94
6.3.1	Fiziksel Yapıda İyileştirme Senaryoları	95
6.3.1.1	Pencerelerin İyileştirilmesi	95
6.3.1.2	Yalıtım Malzemesinin İyileştirilmesi.....	95
6.3.1.3	Yapısal Senaryoların Birlikte Uygulanması	96
6.3.2	Yenilenebilir Enerji Senaryoları	96
6.3.2.1	Fotovoltaik Panel Senaryosu	96
6.3.2.2	Toprak Kaynaklı Isı Pompası Senaryosu	98
6.3.2.3	Güneş Enerjisi ile Su Isıtma Sistemi Senaryosu	98
6.4	Bölüm Sonucu.....	98
7	SONUÇLAR VE TARTIŞMA	99
7.1	Modelleme ve Kalibrasyon Sonuçları	99
7.2	Simülasyon Sonucunda Elde Edilen Enerji Talebi Verilerinin Analizi	103
7.3	Duyarlılık Analizi	105
7.4	Senaryo Sonuçları Analizleri.....	107
7.4.1	Fiziksel Yapıda İyileştirme Yapılan Senaryo Sonuçları ve Ekonomik Analizi	107
7.4.1.1	Pencere Camı Tipi	108
7.4.1.2	Yalıtım.....	108
7.4.1.3	Yapısal İyileştirme Yapılan Senaryoların Toplu Sonuçları	111
7.4.1.4	Yapısal İyileştirmelerde Ekonomik Analiz	112
7.4.2	Yenilenebilir Enerji Senaryo Sonuçları ve Ekonomik Analizi	115
7.4.2.1	Fotovoltaik Panel Senaryosu Sonuçları	115
7.4.2.2	Güneş Enerjisi ile Sıcak Su Temini Sistemi Senaryosu Sonuçları	121
7.4.2.3	Toprak Kaynaklı Isı Pompası Senaryosu Sonuçları	124
7.4.3	CO ₂ Salımı Azalması.....	128
7.5	Model Konutun Enerji Ve Emisyon Sınıfı	128
7.6	Ankara'da Bulunan Konutlara Senaryoların Genellenmesi	129
7.7	Bölüm Sonucu.....	132
8	GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER	136
8.1	Gelecekteki Çalışmaları için Öneriler	139
	KAYNAKÇA.....	142
	EKLER	152

EK-1	153
ESP-r ÇALIŞMA METODOLOJİSİ	153
Bina Enerji Simülasyonu	154
ESP-r	156
ESP-r Dosyaları	157
Zorunlu dosyalar	159
Sonuç Analiz Modülü	161
EK-2	162
ANKET	162
EK-3	171
DEĞERLENDİRME PARAMETRELERİNİN AÇIKLANMASI.....	171
EK-4	173
FOTOVOLTAİK SİSTEME AİT PARÇALAR.....	173
Giriş	174
Türkiye’de Güneş enerjisi.....	174
Fotovoltaik Panel Sistem Elemanları.....	175
Senaryoda kullanılacak olan fotovoltaik panel özellikleri.....	175
EK-5	179
PROFORMA FATURALAR	179
Fotovoltaik panel fiyat teklifi	180
Güneş enerjisi sistemi fiyat teklifi	181
Pencere camı fiyat teklifi	182
Toprak kaynaklı ısı pompası fiyat teklifi.....	183
Çatı yalıtımı fiyat teklifi (Izocam Fiyat Listesi 2014).....	184
Dış duvar yalıtımı fiyat teklifi (Izocam Fiyat Listesi 2014).....	185
Konutta halihazırda var olan dış duvar yalıtım malzemesi fiyat teklifi.....	185
Senaryoda kullanılan yalıtım malzemesi fiyat teklifi	185
EK-6	186
GÜNEŞ ENERJİSİ SİSTEMİNE AİT PARÇALAR	186
Güneş Enerjisi ile Su Isıtma Sistemlerinin Sınıflandırılması	187
Güneş Enerjisi ile Su Isıtma Sistemi Parçaları	187
EK-7	190
TOPRAK KAYNAKLI ISI POMPASI SİSTEMİNE AİT PARÇALAR	190
Isı Pompası Bileşenleri.....	191
EK-8	194
ENERJİ KİMLİK BELGESİ	194
EK-9	197
ISI İLETKENLİK KATSAYISI HESAPLAMALARI	197
EK-10	205
EKONOMİK ANALİZ	205
ÖZGEÇMİŞ	211

ÇİZELGELER LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 5-1	Konutun dış ortama bakan yapılarının ve malzemelerinin özellikleri	52
Çizelge 5-2	Konutta aydınlatma amacı ile kullanılan lambaların güç değeri ve kullanım saatleri, W	54
Çizelge 5-3	Farklı aktiviteler için hanehalkından kaynaklanan ısı kazancı (ASHRAE 2007)	56
Çizelge 5-4	Konutta odalarda bulunan kişi sayısı.....	56
Çizelge 5-5	Hanehalkından kaynaklanan toplam ısı kazancı, W	58
Çizelge 5-6	Günlük ortalama ısı kazancı, W	59
Çizelge 5-7	Cihazlardan kaynaklanan ısı kazancı miktarları	59
Çizelge 5-8	Modelde oluşturulan bölgelerde günlük elektrikli cihazlardan kaynaklanan ısı kazancı, W.....	60
Çizelge 5-9	Saatlik sıcak su kullanım profili	63
Çizelge 5-10	2013 Yılı Elektrik Üretiminin Birincil Enerji Kaynağına Göre Dağılımı ve Bu Kaynakların Özel Salım Faktörleri	75
Çizelge 5-11	Senaryoda kullanılacak yeni malzemelerin özellikleri.....	76
Çizelge 5-12	FVP verisi.....	76
Çizelge 5-13	Güneş enerjisi sistemi verileri.....	77
Çizelge 5-14	Elektrik tarifesi veri analizi	78
Çizelge 5-15	Farklı tarih aralıkları için elektrik fiyat tahmin denklemleri	78
Çizelge 5-16	Doğalgaz tarifesi veri analizi.....	79
Çizelge 5-17	Farklı tarih aralıkları için doğalgaz fiyat tahmin denklemleri	80
Çizelge 5-18	Birincil Enerji Tüketimlerine Göre Enerji Sınıfı Endeksi (EP), kg eşd.CO ₂ / m ² -yıl (YEGM 2015).....	82
Çizelge 5-19	Nihai Enerji Tüketimlerine Göre Sera Gazı Emisyon Sınıfı (SEG), kg eşd. CO ₂ /m ² -yıl (YEGM 2015).....	82
Çizelge 5-20	Ankara'da müstakil konutlar için birincil enerji tüketimlerine göre enerji sınıfı endeksi (EP), kWh/m ² -yıl	83
Çizelge 5-21	Ankara'da müstakil konutlar için Nihai Enerji Tüketimlerine Göre Sera Gazı Emisyon Sınıfı Endeksi (SEG), kg-CO ₂ /m ² -yıl.....	83
Çizelge 5-22	Ankara'da EKB bulunan konutların enerji sınıfı dağılımı	84
Çizelge 5-23	Ankara'da Tamamen veya kısmen biten yeni ve ilave yapıların yüzölçümü (TUIK 2015).....	84
Çizelge 5-24	Her enerji sınıfında Ankara'da 2005'den itibaren yapılan bir dairesel bina alanı dağılımı	85
Çizelge 6-1	Geometrik modelde oluşturulan bölgelerin özellikleri	87
Çizelge 6-2	Bölgelerde kullanılan yapılar	89
Çizelge 6-3	Yapıların termal direnç (R) ve ısı geçirgenlik katsayıları (U) ...	91
Çizelge 6-4	Pencerelerin açılma yüzey alanı ve tarihleri	93
Çizelge 6-5	Konutun enerji tüketimini azaltmak için modele uygulanacak senaryolar	94
Çizelge 7-1	Değerlendirme analizleri sonuçları	102
Çizelge 7-2	Yıllık ısıtma talebinin oda sıcaklığı ile değişimi.....	106
Çizelge 7-3	Yıllık ısıtma talebinin pencere açıklığı ile değişimi	106
Çizelge 7-4	Yapısal senaryoların enerji kazançları.....	111
Çizelge 7-5	Senaryoların ve mevcut yapıların yatırım maliyeti.....	112

Çizelge 7-6	Yapısal iyileştirme senaryolarının Geri Ödeme Süresi	113
Çizelge 7-7	Yapısal iyileştirme senaryoları için GÖS'nin nominal faiz oranına göre değişimi.....	114
Çizelge 7-8	FVP için GÖS'nin elektrik fiyat tahmini için kullanılan veri aralığına göre değişimi	119
Çizelge 7-9	FVP için GÖS'nin nominal faiz oranına göre değişimi	120
Çizelge 7-10	GESIS için GÖS'nin doğalgaz fiyat tahmini için kullanılan veri aralığına göre değişimi	123
Çizelge 7-11	GESIS için GÖS'nin nominal faiz oranına göre değişimi	124
Çizelge 7-12	TKIP için GÖS'nin elektrik fiyat tahmini için kullanılan veri aralığına göre değişimi	127
Çizelge 7-13	TKIP için GÖS'nin nominal faiz oranına göre değişimi	127
Çizelge 7-14	Enerji tasarrufu ve CO ₂ salımındaki azalma sonuçları	128
Çizelge 7-15	Senaryoların uygulanması ile konutun enerji tüketim ve enerji sınıfı değerleri	129
Çizelge 7-16	Senaryoların Ankara'da 2005 yılından itibaren yapılan B enerji sınıfı müstakil konutlara uygulanması ile elde edilen enerji tasarrufu ve CO ₂ salımında azalma.....	131
Çizelge 7-17	Genel senaryo sonuçları	133
Çizelge EK-1 1	Bölge geometrisi dosyası içeriği.....	160
Çizelge EK-1 2	Bölge yapı dosyası içeriği	160
Çizelge EK-1 3	Bölge işleyiş dosyası içeriği	161
Çizelge EK-4 1	Senaryoda kullanılan fotovoltaik sistem kayıpları.....	177
Çizelge EK-4 2	FV sistem elektrik üretim tahmini	177
Çizelge EK-6 1	Mevcut GESIS'lerin avantaj ve dezavantajları (Bulut, Şahin ve Karadağ 2007)	189
Çizelge EK-8 1	Birincil Enerjiye Göre Referans Göstergesi (RG), kWh/m ² -yıl (YEGM 2015)	195
Çizelge EK-8 2	Sera Gazı Referans Göstergesi (SRG), kg eşd.CO ₂ / m ² -yıl (YEGM 2015)	196
Çizelge EK-9 1	Dış duvar ısı iletkenlik katsayısı hesabı.....	199
Çizelge EK-9 2	Çatı ısı iletkenlik katsayısı hesabı	200
Çizelge EK-9 3	Pencere ısı iletkenlik katsayısı hesabı.....	201
Çizelge EK-9 4	Çerçeve ısı iletkenlik katsayısı hesabı.....	202
Çizelge EK-9 5	Kapı ısı iletkenlik katsayısı hesabı	202
Çizelge EK-9 6	Toprağa temas eden zemin ısı iletkenlik katsayısı hesabı	203
Çizelge EK-9 7	Isıtılmayan ortam tavanı ısı iletkenlik katsayısı hesabı.....	204
Çizelge EK-10 1	Yapısal iyileştirme senaryolarında NNA ve NBD değişimi.....	207
Çizelge EK-10 2	Fotovoltaik panel NNA ve NBD değişimi.....	209
Çizelge EK-10 3	GESIS NNA ve NBD değişimi	209
Çizelge EK-10 4	TKIP NNA ve NBD değişimi	210

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1-1	Türkiye’de 1990-2013 yılları arasında sektörel enerji tüketimi (DEK-TMK 2015).....	1
Şekil 1-2	Türkiye’de 2005-2014 yılları arasında yeni yapılan toplam ve bir dairesel bina sayısı (TUIK 2015)	2
Şekil 1-3	Türkiye’de 2005-2013 yılları arasında konutlarda tüketilen enerji türleri (DEK-TMK 2015)	4
Şekil 1-4	Toplam elektrik üretiminin kaynaklara göre gelişimi (TUIK 2015)..	5
Şekil 4-1	Çalışmaya Ait İş Akış Şeması	28
Şekil 4-2	Uzaktan sayaç okuma sistemi ile konutun elektrik sayacı arasındaki bağlantı.....	30
Şekil 4-3	Toprak kolektörleri ile ısı çekilmesi (Viessmann 2014).....	43
Şekil 5-1	Aydınlatmadan kaynaklanan ısı kazancı, Wh	55
Şekil 5-2	Konut doluluk oranı, Kişi/saat	57
Şekil 5-3	Ölçülen doğalgaz tüketimi, m ³ /gün	61
Şekil 5-4	Kombinin ısıtma amaçlı kullanılmadığı Eylül ayında doğalgaz tüketimi, m ³ /gün.....	62
Şekil 5-5	Portekiz’de yapılan bir çalışmada elde edilen saatlik sıcak su kullanım profili (NetGreen 2015).....	63
Şekil 5-6	Isıtma amacı ile tüketilen DG miktarı, m ³ /gün.....	64
Şekil 5-7	Her mevsim için hafta içi ve hafta sonu günlük doğalgaz tüketimi ortalaması, m ³ /gün	65
Şekil 5-8	Günlük elektrik tüketimi, kWh	65
Şekil 5-9	Bir yıla tamamlanmış günlük elektrik tüketimi, kWh.....	66
Şekil 5-10	Mevsimsel saatlik ortalama elektrik tüketimi, kWh.....	67
Şekil 5-11	Her mevsim için saatlik ortalama elektrik tüketimi, kWh	68
Şekil 5-12	Hafta sonu ve hafta içi saatlik ortalama elektrik tüketimi, kWh	69
Şekil 5-13	Beytepe istasyonu 2013 yılı saatlik kuru termometre sıcaklığı, °C	70
Şekil 5-14	DMI ve Beytepe istasyonundan elde edilen 2013 yılı saatlik kuru termometre sıcaklıklarının farkı, °C	71
Şekil 5-15	Ankara normal saatlik kuru termometre sıcaklığı, °C.....	72
Şekil 5-16	Mevsimlik 2013 yılı ortalama günlük Sıcaklık değişimi, °C	73
Şekil 5-17	Mevsimlik 2013 yılı ortalama günlük Güneşlenme değişimi, W/m ²	73
Şekil 5-18	2013 yılı 100 cm toprakaltı saatlik sıcaklığı günlük verisi, °C	74
Şekil 5-19	Elektrik fiyat verisi ve tahmini, kr/kWh	79
Şekil 5-20	Doğalgaz fiyat verisi ve tahmini, TL/m ³	81
Şekil 6-1	Konutun geometrik modeli	86
Şekil 6-2	Konutun güney görüntüsü	87
Şekil 6-3	Binanın modelinde kullanılan yapılar	88
Şekil 6-4	Hava akış ağının tanımlanması için düğüm noktası bağlantıları..	92
Şekil 6-5	a) Konutun çatı görünümü b) Çatının FVP eklenebilecek güney-doğu ve güney-batıya bakan bölümleri.....	97
Şekil 6-6	Fotovoltaik sistemin mimarisi (Nikoofard 2012)	97
Şekil 7-1	ESP-r tarafından tahmin edilen 2013 yılı için saatlik ısıtma talebi, MJ.....	100

Şekil 7-2	ESP-r tarafından 2013 yılı için tahmin edilen ve aynı yılda ölçülen günlük ısıtma talepleri, m ³ /gün	102
Şekil 7-3	ESP-r'da 2013 yılı için tahmin edilen mevsimsel ve saatlik ortalama ısıtma amaçlı doğalgaz tüketimi, m ³	104
Şekil 7-4	Kış, ilkbahar ve sonbahar mevsimlerinde ESP-r tarafından tahmin edilen ısıtma talebinin DG eşdeğerinin dış ortam sıcaklığı ile değişimi	105
Şekil 7-5	Duyarlılık analizi	107
Şekil 7-6	Yapısal iyileştirme senaryoları için NBD değişimi	113
Şekil 7-7	Normal iklim verisi ile ESP-r tarafından tahmin edilen FVP'in günlük elektrik üretimi, kWh/gün	116
Şekil 7-8	Normal iklim verisi ile güneydoğu ve güneybatıya bakan panellerin ürettiği elektrik, kWh/gün	116
Şekil 7-9	Fotovoltaik panel tarafından üretilen ve konutta tüketilen günlük elektrik, kWh/gün	118
Şekil 7-10	Fotovoltaik panel için NBD'in yıllara göre değişimi	120
Şekil 7-11	GESIS tarafından sıcak su talebi için üretilen enerji miktarı ve konutun sıcak su temini için enerji yükü, MJ/gün.....	122
Şekil 7-12	GESIS için NBD'in yıllara göre değişimi	123
Şekil 7-13	Toprak kaynaklı ısı pompası kullanılması senaryosu ile elde edilen enerji tasarrufu, GJ/gün	125
Şekil 7-14	Kombi ve TKIP kullanması durumunda ısıtma talebi bedeli, TL/yıl.....	126
Şekil 7-15	TKIP için NBD'in yıllara göre değişimi	127
Şekil 7-16	GÖS'nin senaryoların maliyeti ile değişimi	133
Şekil 7-17	Elde edilen enerji tasarrufunun senaryoların maliyeti ile değişimi	134
Şekil EK-1 1	Binalarda enerji akış yolları (Nakhi 1995).....	154
Şekil EK-1 2	Çok boyutlu iletim modelinin ESP-r içine entegrasyonu	156
Şekil EK-4 1	Senaryoda kullanılan fotovoltaiksistem (Solar Dukkan 2015)..	176
Şekil EK-5 1	Fotovoltaik panel fiyat teklifi	180
Şekil EK-5 2	Firma tarafından önerilen 4 kollektörlü sistemin teknik broşürü	181
Şekil EK-5 3	Pencere camı fiyat teklifi	182
Şekil EK-5 4	TKIP Fiyat Teklifi	183
Şekil EK-5 5	Çatı yalıtımı fiyat teklifi	184
Şekil EK-5 6	Konutta halihazırda var olan dış duvar yalıtım malzemesi fiyat teklifi	185
Şekil EK-5 7	Dış duvar yalıtım senaryosunda kullanılan yalıtımın fiyatı teklifi	185
Şekil EK-6 1	Güneş enerjisi su ısıtma sistemlerinin sınıflandırılması (Bulut, Şahin ve Karadağ 2007).....	187
Şekil EK-6 2	Güneş enerjisi sistemi şeması (Quaschnig 2004)	188
Şekil EK-7 1	Isı pompası çalışma prensibi (Viessmann 2014).....	191
Şekil EK-7 2	Yıllık toprakaltı sıcaklık değişimleri.....	192

Şekil EK-7 3 Isı pompası tesir katsayısı (Viessmann 2014).....	193
Şekil EK-8 1 Enerji Kimlik Belgesi (YEGM 2015).....	195
Şekil EK-9 1 “Dış duvar” olarak tanımlanan dış duvarın yapısı	198
Şekil EK-9 2 “Dış duvar kolon” olarak tanımlanan dış duvarın yapısı	198
Şekil EK-9 3 “Çatı tavan” ve “Çatı zemin” olarak tanımlanan dış duvarın yapısı	199
Şekil EK-9 4 “Cam” ve “Panjurlu cam” olarak tanımlanan pencerelerin a)Yandan b) Önden görünümü.....	200
Şekil EK-9 5 “Panjurlu çerçeve” ve “Çerçeve” olarak tanımlanan çerçevelerin a) Yandan b) Önden görünümü.....	201
Şekil EK-9 6 “Zemin” olarak tanımlanan toprağa temas eden zeminin yapısı.....	202
Şekil EK-9 7 “Isıtılmayan ortam tavanı” olarak tanımlanan ısıtılmayan odaların tavanının yapısı	203

SİMGELER VE KISALTMALAR

Kısaltmalar

ABDEB	Amerika Birleşik Devletleri Enerji Bakanlığı
ACH	Air Changing per Hour
UID	Doğalgaz üst ısı değeri, kWh/m ³
AKIK	Aydınlatmadan kaynaklanan ısı kazancı
ANFIS	Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System
BEFM	Binaya Entegre Fotovoltaik Modül
bps	ESP-r simülasyon motoru
BS	Bulunma süresi
c	Suyun öz ısı
CKIK	Cihazlardan kaynaklanan ısı kazancı, Wh
CKS	Cihazın kullanım süresi, saat
CSA _i	CO ₂ salımındaki azalma, kg/yıl
IEA	Energy Information Administration
IHH	Isıtma Havalandırma Hava Şartlandırma
DF	Doğalgaz fiyatı, TL/m ³
DG	Doğalgaz
DG _{E_ss}	Eylül ayında sıcak su temini için tüketilen ortalama DG miktarı, m ³ /gün
DIK	Duyulur Isı Kazancı, W
DLL	Dynamic Link Library
DSF	Doğalgaz Salım Faktörü, kg-CO ₂ /m ³
DYV	Doğalgaz yanma verimi
e	Enerji tipi
E _{fv}	FVP tarafından üretilen elektrik, kWh/yıl
E _{fvk}	FVPin kendisi için kullandığı elektrik miktarı, kWh/yıl
E _{TKIP}	TKIP tarafından üretilen enerji, J/yıl
E _{TKIP,k}	TKIP'nin kendisi için kullandığı elektrik, kWh/yıl
EF	Cihazın verimi
EF _{GESIS}	GESIS'in verimi
EF _{ss}	Sıcak su temini için kullanılan cihazın verimi

ESF	Elektrik için Salım Faktörü, kg CO ₂ /kWh
ET	Enerji tasarrufu
f _e	Elektrik satış tarifesi, TL/kWh
F _{öt}	Lamba özel tolerans faktörü
f _v	Fotovoltaik panel senaryosu
FVP	Fotovoltaik Panel
GESIS	Güneş Enerjisi ile Su Isıtma Sistemi
DG _{gey}	Güneş enerjisi yetersiz iken doğalgaz tüketimi
GİK	Gizli Isı Kazancı, W
GÖS	Geri Ödeme Süresi, yıl
GR	Güneşten gelen günlük radyasyon, kWh/gün-m ²
GSHP	Ground Source Heat Pump
HKIP	Hava kaynaklı ısı pompası
İK	Isı kazancı, W
İKİK	İnsanlardan kaynaklanan ısı kazancı, W
i	Senaryo
ish	Shading and Insulation Module
j	Yıl
k	Isıl İletkenlik Katsayısı, W/mK
KA	Kolektör alanı, m ²
KS	Kişi sayısı
l	Saat
LCS	Lamba Çalışma süresi, Saat
LG	Lamba güç değeri, W
P	Cihazın gücü, W
PR	Performance Ratio
q(r ,t)	Sıcaklığın azalma yönünde ısı akısı vektörü
Q _{ss}	Sıcak su temini için tüketilen günlük enerji miktarı, m ³ /gün
Q _{ssy}	Sıcak su temini için talep edilen yıllık enerji miktarı, m ³ /yıl
MAPE	Ortalama Mutlak Yüzde Hata
mfs	Mass Flow Module
m _{ss}	Tüketilen günlük sıcak su miktarı, kg/gün
m _{sss_l}	Tüketilen saatlik sıcak su miktarı, kg/saat
mrt	Mean Radiant Temperature

n	Malzeme sayısı
N	Sistemin işletim süresi, yıl
NBD	Net Bugünkü Değer, TL
NC_j^{GESIS}	Belirli bir yılda GESIS Senaryosu için nakit çıkışı, TL
NC_j^{fv}	Belirli bir yılda FVP senaryosu için nakit çıkışı, TL
NC_j^{TKIP}	Belirli bir yılda TKIP Senaryosu için nakit çıkışı, TL
NG_j^{GESIS}	Belirli bir yılda GESIS Senaryosu için nakit girişi, TL
NG_j^{fv}	Belirli bir yılda FVP senaryosu için nakit girişi, TL
NG_j^{TKIP}	Belirli bir yılda TKIP Senaryosu için nakit girişi, TL
nf	Nominal faiz
NNA_j	Belirli bir yılda net nakit akışı, TL
NNA_j^{fv}	Belirli bir yılda FVP senaryosu için net nakit akışı, TL
NNA_j^{GESIS}	Belirli bir yılda GESIS Senaryosu için net nakit akışı, TL
NNA_j^{TKIP}	Belirli bir yılda TKIP Senaryosu için net nakit akışı, TL
NNA_j^{yi}	Belirli bir yılda yapısal iyileştirme senaryosu için net nakit akışı, TL
OYYET	Orijinal yapı ile yıllık enerji tüketim maliyeti, TL
PCM	Phase Change Material
R	Toplam Direnç, m^2K/W
R_i	Malzemenin termal direnci, m^2K/W
SF	Salım faktörü
SI	Système International D'unités
SIM_j^{GESIS}	Sistem İşletim Maliyeti, TL/yıl
SSKPY_I	Saatlik Sıcak Su Kullanım Profili Yüzdesi, %
SSTD	Sıcak su için tüketilen doğalgaz miktarı, $m^3/yıl$
SYJET	Senaryolu yapı ile yıllık enerji tüketim maliyeti
T_s	Konutun sıcak su sıcaklığı, °C
$T_ş$	Şebeke suyunun sıcaklığı, °C
TKIP	Toprak Kaynaklı Isı Pompası
ΔT	Sıcak suyun derecesi-yeraltı toprak sıcaklığı, °C
U	Isı geçirgenlik katsayısı, W/m^2K
W	Lamba güç değeri, W
x	Malzemenin kalınlığı, m

yi

Yapısal iyileştirme senaryosu

XPS

Extrüde Polistren Foamboard

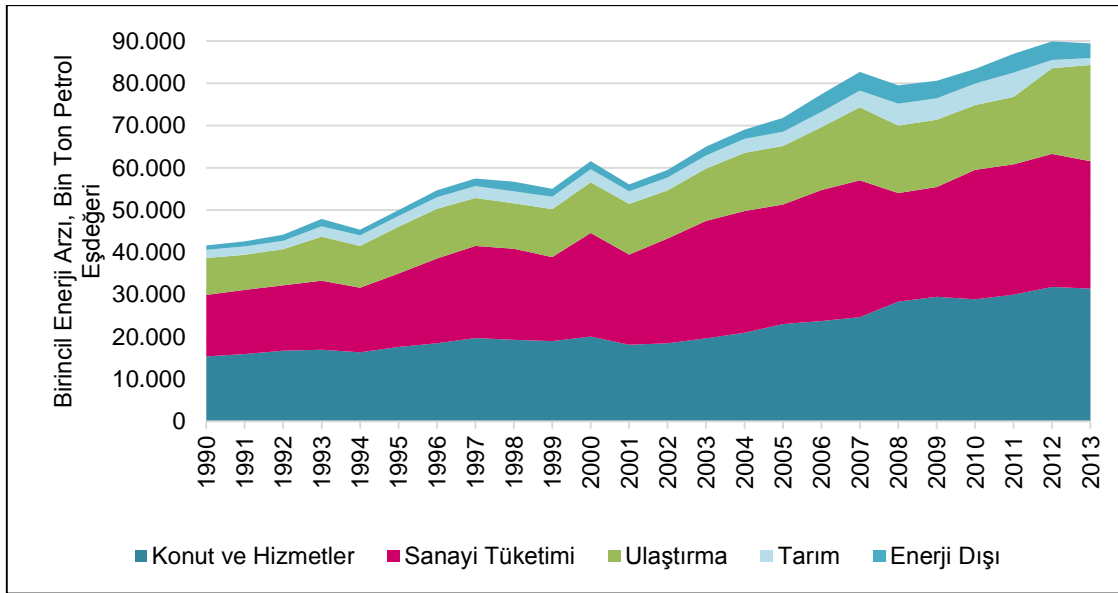
1 GİRİŞ

Bu bölümde, konutlarda enerji tüketiminin toplam tüketimdeki payı ve enerji tüketimindeki artıştan bahsedilmiştir. Daha sonra, Türkiye’de bulunan konutlarda yapılacak iyileştirmeler ile elde edilebilecek enerji tasarrufu hakkında genel bilgiler verilmiştir. Son olarak da mevcut sorundan bahsedilmiş ve bu tezin amacı, hedefleri, kapsamı ve yapısı hakkında bilgi verilmiştir.

1.1 Genel Bilgiler

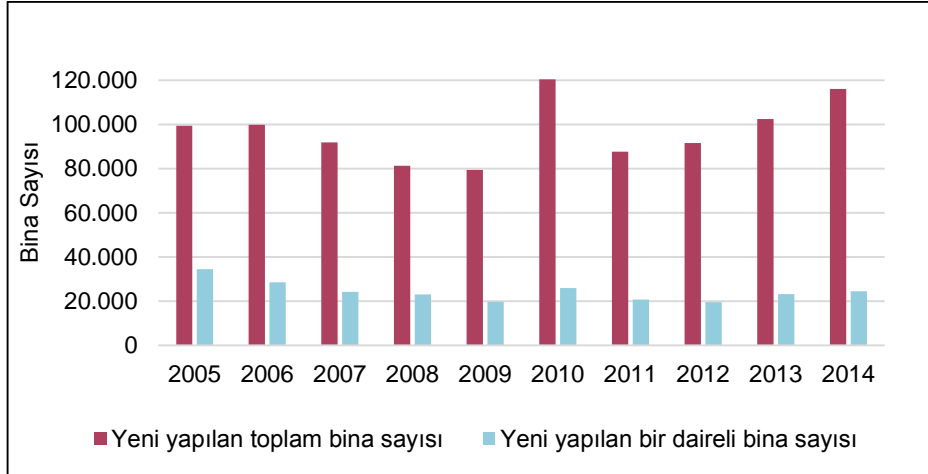
Konutlarda tüketilen enerji miktarı, toplam enerji tüketimi içinde önemli bir paya sahiptir. ABD’de konutlardaki enerji tüketimi toplam tüketimin yaklaşık %22’sini [1], Türkiye’de ise toplam nihai tüketimin %30’unu oluşturmaktadır [2].

Türkiye’nin 1990-2013 yılları arasında sektörel enerji tüketimi Şekil 1-1’de görülmektedir. Şekil 1-1’de görüldüğü gibi sanayi sektöründen sonra en yüksek enerji tüketimi konut ve hizmetler sektöründen kaynaklanmakta ve bu tüketim sürekli artış göstermektedir. Şekil 1-1’deki veriler son on yılda en yüksek artışın ortalama % 6 ile ulaştırma sektöründe olduğunu, bunu % 4 ile konut sektörünün takip ettiğini göstermektedir.



Şekil 1-1 Türkiye’de 1990-2013 yılları arasında sektörel enerji tüketimi [3]

Şekil 1-1'de görülen konut ve hizmetler sektöründen kaynaklanan enerji tüketimindeki sürekli artış, büyük oranda bina sayısındaki sürekli artıştan kaynaklanmaktadır. Bu nedenle konutlarda yapılacak enerji tasarrufu büyük önem taşımaktadır. Ülkemizde konut sektöründe tüketilen enerji miktarı, nüfusun ve dolayısıyla konut sayısının hızla artmasına paralel olarak artmaktadır. 2014 yılında bir önceki yıla göre ikamet amaçlı yeni yapılan toplam bina sayısında %12, yeni yapılan bir dairesel bina sayısında ise % 6 artış görünmüştür [4]. 2005-2014 yılları arasında yeni yapılan ikamet amaçlı toplam ve bir dairesel bina sayısı Şekil 1-2'de görülmektedir. Şekil 1-2'deki veriler son on yılda, yılda ortalama 24.388 adet bir dairesel ikamet amaçlı yeni binalar yapıldığını ve yılda yapılan ikamet amaçlı toplam bina sayısının ortalama 97045 adet olduğunu göstermektedir.



Şekil 1-2 Türkiye'de 2005-2014 yılları arasında yeni yapılan toplam ve bir dairesel bina sayısı [4]

Konutlarda enerji tasarrufu konutun fiziksel yapısında yapılacak iyileştirmeler ve konutun enerji tüketiminin yenilenebilir enerji kaynaklarıyla veya yeni teknolojilerle sağlanması ile elde edilebilir.

Konutun fiziksel yapısında iyileştirmeler yapılması; mevcut konutlarda dış duvar ve çatıda yalıtım uygulanması ve pencerelerin iyileştirilmesi ile sağlanabilir. Bunlara ek olarak ısıtma ihtiyacının yüksek olduğu bölgelerde yeni yapılacak konutlarda fiziksel iyileştirme pencerelerin yönünün güneş enerjisinden en fazla yarar sağlayacak şekilde tasarlanması ile elde edilebilir. Soğutma ihtiyacının yüksek olduğu

bölgelerde ise yeni binalarda güneş enerjisinin soğutma yükünü en az etkileyeceği şekilde pencere tasarımları uygulanabilir.

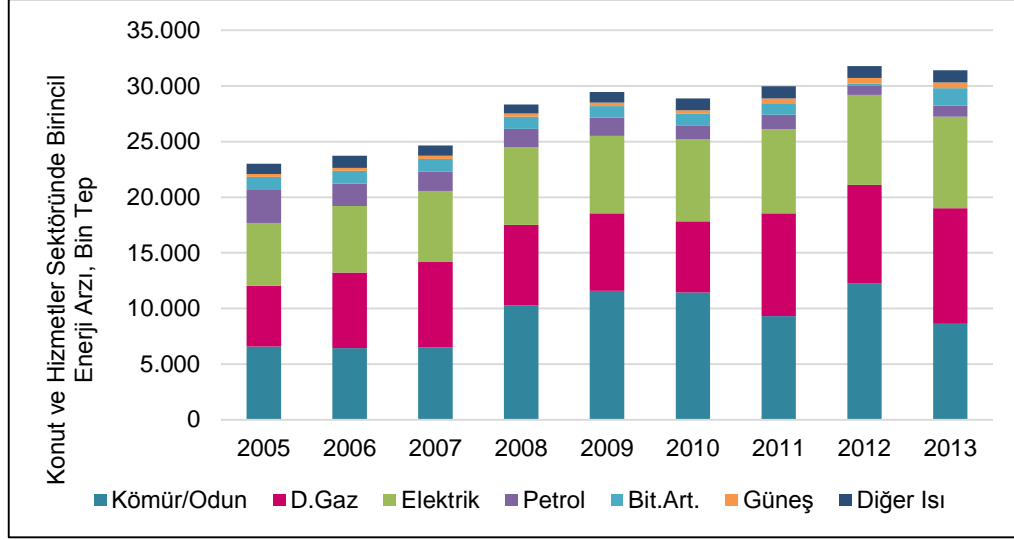
Konutlarda yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması; tüketilen fosil yakıtların çevreye verdiği zararı en aza indirgerken, Geri Ödeme Süresini (GÖS) tamamladıktan sonra konut sahibinin enerjisi daha düşük fiyata sağlamasına ve konutun mali değerinin artmasına sebep olmaktadır. Ülkemizin coğrafi konumu nedeni ile Türkiye’de uygulanabilen en uygun yenilenebilir enerji kaynağı, elektrik üretimi ve sıcak su temini için güneş enerjisidir.

Bir binanın bilgisayar ortamında ısıtma/soğutma ihtiyacının modellenmesi, öncelikle binanın yapı bileşenlerinden ve mimarisinden yararlanılarak binanın fiziksel modelinin oluşturulması, daha sonra binanın bulunduğu ortamdaki iklim verilerini simülasyon programına girerek yapılan simülasyonlar ile enerji tüketiminin tahmin edilmesidir. Konutların enerji tüketiminin modellenmesi ile konutun ısıtma/soğutma amaçlı enerji tüketim tahmini yapılabilen şekilde böylece enerji tüketimini azaltmanın yöntemleri ve bu yöntemlerden elde edilecek enerji tasarrufu hesaplanabilmektedir. Bu verilerden yola çıkılarak elde edilecek fosil yakıtların tüketiminden kaynaklanan CO₂ salımındaki azalma ve enerji tasarrufu sağlayan yöntemlerin ekonomik analizi de yapılabilmektedir.

1.2 Mevcut Sorun

Türkiye’de konut sayısının artması ile birlikte konutlarda, ısıtma/soğutma ve elektrikli cihazların kullanımından kaynaklanan enerji tüketimi de artmaktadır. Elektrik üretiminde ve konutların ısıtılmasında büyük oranda fosil yakıt kullanılması sebebi ile bu artış CO₂ salımında da artışa neden olmaktadır. Ekim 2014’de güncellenen verilere göre, 2010 yılında dünya genelinde toplam CO₂ salımı 29 milyar ton’un üzerindedir. Bu salım miktarının %27’si Çin, %18’i ABD ve %12’si Avrupa Birliği’ne üye olan ülkelerden, %0,96’sı ise Türkiye’den kaynaklanmaktadır [5].

Şekil 1-3’de 2005-2013 yılları arasında Türkiye’de konut ve hizmetler sektöründe tüketilen enerji türlerinin miktarı görülmektedir. Şekil 1-3’de görüldüğü gibi 2013 yılında Türkiye’de konut ve hizmetler sektöründe tüketilen enerjinin dörtte biri elektrik, üçte biri ise doğalgazdan kaynaklanmaktadır.



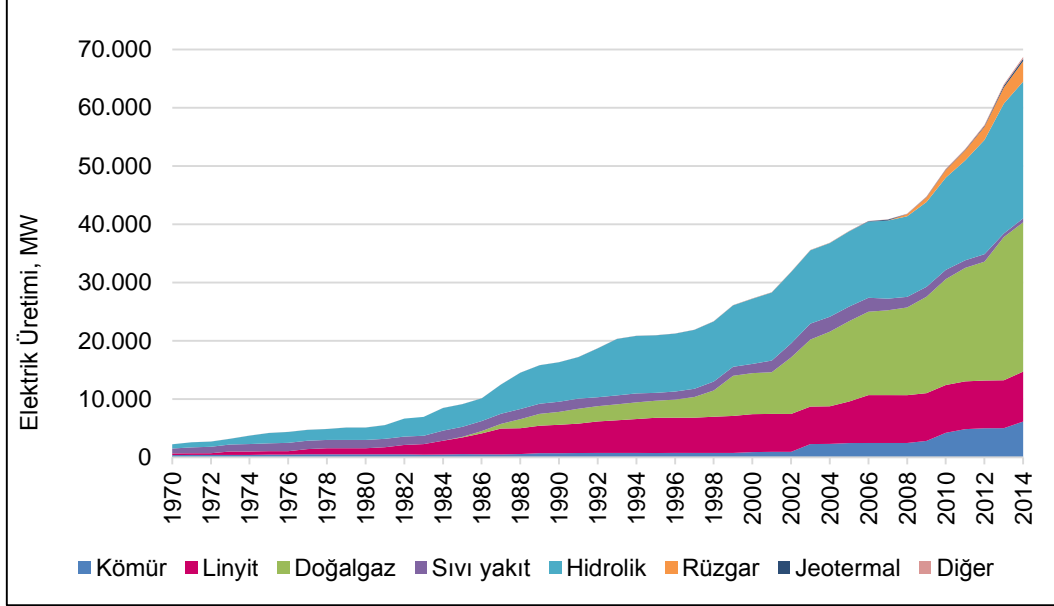
Şekil 1-3 Türkiye’de 2005-2013 yılları arasında konutlarda tüketilen enerji türleri [3]

Ülkemizde doğalgaz üretimi çok az miktarda olduğundan, doğalgaz talebinin tamamına yakını ithal edilmektedir. 2012 yılında Türkiye’de doğalgaz talebinin % 98’i ithal edilmiştir. İthal edilen doğalgaz büyük oranda Rusya, İran, Cezayir ve Azerbaycan’dan karşılanmaktadır [6]. 2013 yılı elektrik üretiminin % 48’i doğalgaz ile karşılanmaktadır [7]. Buna ek olarak, sanayi ve konutlarda kullanılan ana yakıt olan doğalgazda dışa bağımlı olmamız sebebi ile ülkemizin doğalgazı çok verimli kullanması gerekmektedir.

2013 yılı sonu itibariyle doğalgaz hizmeti götürülen 69 ilde toplam konut abone sayısı 9.484.324’e, Ankara’da ise 1.458.975’e ulaşmıştır. Ankara’da 2013 yılı konutlarda tüketilen doğalgaz miktarı 1.494 milyon Sm^3 olup tüm Türkiye’de konutsal tüketim ise 9.540 milyon Sm^3 ’dür [7]. Doğalgaz Piyasası Sektör Raporu’na göre 2013 yılında konutlarda doğalgaz tüketiminin en düşük olduğu ay Temmuz ayı, en yüksek olduğu ay ise Şubat ayı olarak gerçekleşmiştir [7]. Bu durum konutlarda doğalgazın en çok ısıtma amacı ile kullanıldığını göstermektedir. Buna ek olarak, 2013 yılı içerisinde toplam doğalgaz tüketiminin yaklaşık % 20’sini konut tüketimi oluşturmaktadır [7]. Bu sebepten konutlarda ısıtma ihtiyacını azaltmak doğalgaz tüketiminde önemli bir azalmaya sebep olacaktır.

Şekil 1-3’de görüldüğü gibi Türkiye’de konutlarda tüketilen enerjinin ikinci en büyük kısmını dörtte bir pay ile elektrik oluşturmaktadır. Toplam elektrik üretiminin kaynaklara göre gelişimi Şekil 1-4’de görülmektedir. Burada görüldüğü gibi elektrik üretiminin yarısı ithal edilen kömür ve doğalgaz ile sağlanmaktadır. Bu durumda,

2013 yılında toplam elektrik tüketiminin %23'ünü [4] oluşturan konut sektöründe elektrik tüketimini azaltmak büyük önem taşımaktadır. Ayrıca elektrik tüketimini azaltmak, dışa bağımlı olduğumuz doğalgaz ve hava kirliliğine neden olan kömür kullanımını azaltmak açısından oldukça önemlidir.



Şekil 1-4 Toplam elektrik üretiminin kaynaklara göre gelişimi [4]

2003-2013 yılları arasında Türkiye’de yapılan yeni konutların %7’si Ankara’da bulunmakta ve bu konutların yaklaşık dörtte biri bir dairesel müstakil binalardan oluşmaktadır [4]. Müstakil konutlarda, apartman dairelerine kıyasla ısı kaybının daha fazla olması sebebi ile enerji tüketimi daha fazladır. Ülkemizde ise son yıllarda müstakil evlerin sayısının artmasına karşın, müstakil evlerin ortalama ve toplam enerji tüketimi konusunda net bir bilgi yoktur.

Konut sektöründe tüketilen enerjiyi azaltabilmenin yollarının incelenmesi, bu sektörde uygulanabilecek tasarruf politikaları ile enerji tüketiminde ve bunlara bağlı CO₂ salım miktarlarındaki azalmanın belirlenmesinde önemli bir rol oynayacaktır. Literatürde, Türkiye’de konutlarda enerji talebini modelleyen çok az sayıda çalışma mevcuttur ([8], [9], [10]). Fakat, bu çalışmadan önce Türkiye’de İç Anadolu Bölgesi iklimi şartlarında, mevcut müstakil bir konutun bir yıl süresince saatlik elektrik ve günlük doğalgaz tüketimi ölçülerek, konutun bina enerji simülasyon yazılımı ortamında saatlik ısıtma talebi modelinin oluşturulmasına, oluşturulan model

üzerine piyasada halihazırda bulunan malzemeler gözönüne alınarak farklı senaryolar uygulanması ile elde edilebilecek enerji tasarruflarının hesaplanmasına dair bir çalışmaya rastlanmamıştır.

Bir konutta nihai enerji tüketiminin modellenmesi, konutun bilgisayar ortamında modelinin oluşturularak bu modelin çeşitli senaryolara göre değerlendirilmesidir ve konutların tasarımı sırasında sıklıkla kullanılan bir araç haline gelmiştir. Konutlarda nihai enerji tüketimi; ısıtma-soğutma sistemleri, elektrikli ev aletlerinin kullanımı, aydınlatma, sıcak su sistemleri ile ilgili veriler, hanehalkı ile ilgili demografik ve ekonomik veriler ve meteorolojik veriler kullanılarak modellenenir.

Yazarın bilgisi dâhilinde, ülkemizde İç Anadolu Bölgesi iklimi şartlarında, mevcut müstakil bir konutun yıllık elektrik ve doğalgaz tüketimi ölçülerek, konutun bilgisayar ortamında saatlik bazda modellenmesi ile; konutun enerji tüketiminin binanın fiziksel yapısının iyileştirilmesi ve enerji talebinin yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması ile en aza indirgeme olanaklarının araştırılması ve tekno-ekonomik değerlendirilmesi konusunda bir çalışma yapılmamıştır. Bu çalışmanın bu eksiği gidermesi öngörülmektedir. Çalışma kapsamında müstakil bir konutun seçilmesinin nedeni müstakil konutlarda apartman dairelerine göre enerji tüketiminin fazla olması ve ülkemizde ve özellikle Ankara'da müstakil konut sayısının hızlı artış göstermesidir.

1.3 Tezin Amaç ve Hedefleri

Bu çalışma kapsamında Ankara'da bulunan müstakil bir konutun nihai enerji tüketimi bina enerji simülasyon yazılımı ortamında modellenmiş ve ısıtma amaçlı saatlik enerji talebi belirlenmiştir. Daha sonra bu enerji tüketiminden kaynaklanan CO₂ salımı hesaplanmıştır. Konutun coğrafi konumu sebebi ile konutta soğutma sistemi bulunmadığından soğutma amaçlı enerji talebi belirlenmemiştir. Konutun modellenmesi tamamlandıktan sonra konutun enerji tüketimini en aza indirebilmenin yöntemleri araştırılmış ve farklı senaryolar için konutun ısıtma talebi ve bundan kaynaklanan CO₂ salımındaki elde edilebilecek azalmalar hesaplanmıştır. Son olarak da bu senaryoların uygulanabilirliğini araştırmak amacı ile tekno-ekonomik analizleri yapılmıştır.

Bu bağlamda çalışmanın ana amaçları aşağıdaki gibi listelenebilir:

- Senaryolar ile enerji tüketiminde ve CO₂ salımında elde edilen

- tasarrufunun hesaplanarak tekno-ekonomik analizlerinin yapılması,
- Bu analizler sonucunda konutta teknolojik olarak kullanılabilen ve en az enerji tüketiminin ve CO₂ salımının sağlandığı, ekonomik olarak makul GÖS'ne sahip olan sistemlerin tespit edilmesi.

Bu bağlamda çalışmanın alt amaçları aşağıdaki gibi listelenebilir:

- Ankara'da bulunan müstakil bir konutun;
 - Bina enerji simülasyon programı kullanılarak ısıtma amaçlı saatlik enerji talebi modelinin oluşturulması ve enerji talebinin hesaplanması.
 - Ölçülen doğalgaz tüketim verileri kullanılarak, modelin kalibre edilmesi,
 - Oluşturulan model üzerinde farklı senaryoların uygulanmasıdır.

1.4 Tezin Kapsamı

Ankara'da ısıtma talebinin yüksek olması sebebi ile modellenecek konut, Ankara'da doğalgaz ile ısıtılan bir konut seçilmiştir. Modellenecek konutta soğutma sistemi bulunmadığından soğutma modeli oluşturulamamış, sadece ısıtma modeli oluşturulmuştur.

Konutun bir yıl süresince saatlik elektrik ve günlük doğalgaz tüketimi ölçülmüştür. Beytepe meteoroloji istasyonundan [11] ölçüm yapılan yıla ait saatlik iklim verileri elde edilmiştir. Ayrıca konut sahibinden konutta tüketilen elektrikli cihaz ve lambaların özellikleri ve kullanım saatleri, konutun mimari çizim ve yapısal özellikleri hakkında bilgi alınmış, elde edilen veriler kullanılarak konutun bilgisayar ortamında modellenmesi yapılmıştır. Konutun modelinin oluşturulması ve bu model ile ısıtma talebinin belirlenmesi amacıyla bu çalışma kapsamında akademik açıdan yaygın olarak kullanılmakta olan açık kodlu ESP-r [12] yazılımı kullanılmıştır. Modelde konutun ısıtma amaçlı enerji tüketim miktarı bina enerji simülasyon yazılımı ortamında hesaplanarak, ölçülen doğalgaz tüketimi ile model kalibre edilmiştir. Daha sonra bu model üzerinde enerji tüketimini azaltmak amacı ile farklı senaryolar uygulanmış, bu koşullarda elde edilen enerji tasarrufu ve buna bağlı CO₂ salım miktarlarındaki azalmalar hesaplanmıştır ve tekno-ekonomik analiz yapılmıştır. Son olarak konutun enerji tüketim sınıfı ve sera gazı emisyon sınıfı belirlenmiştir. Ankara'da 2005 yılından sonra inşa edilen ve konut ile aynı enerji sınıfına

senaryoların uygulanması ile Ankara'da elde edilecek enerji tasarrufu da hesaplanmıştır.

1.5 Tezin Yapısı

Çalışmanın ilk bölümünde konu ile ilgili genel bilgi, mevcut sorun, çalışmanın amacı ve kapsamı hakkında bilgiler verilmiştir. İkinci bölümde, bina enerji simülasyonlarında en yaygın kullanılan yazılımlar hakkında bilgiler verilmiş ve bu çalışmada kullanılan yazılımın seçilme nedenleri açıklanmıştır. Üçüncü bölümde, bir konutun bilgisayar ortamında modellenmesi ve farklı senaryolarla elde edilebilecek enerji tasarrufunun hesaplanması konusunda yapılan çalışmalardan bahsedilmiştir. Dördüncü bölümde, bu çalışmada modelin oluşturulması, modele senaryoların uygulanması, ekonomik analiz ve enerji kimlik belgesi belirlenmesi sırasında kullanılan yöntemler açıklanmıştır. Beşinci bölümde ise çalışmada kullanılan veriler detaylı olarak verilmiştir. Seçilen bina enerji simülasyon yazılımı kullanılarak konutun modelinin oluşturulması ve kalibre edilmesi altıncı bölümde açıklanmıştır. Çalışmanın sonuçları yedinci bölümde verilmiştir. Son bölümde ise çalışmanın genel sonuçları ve öneriler kısmı yer almaktadır.

2 BİNA ENERJİ SİMÜLASYON YAZILIMLARI

Bir binanın enerji tüketim modelini oluşturmada kullanılmak üzere ticari ve açık kodlu son 60 yılda birçok bina enerji tüketim simülasyon yazılımı geliştirilmiştir. Bunlar arasında yaygın kullanılanlar; DOE-2 [13], EnergyPlus [14], eQUEST [13], TRNSYS [15], ESP-r [16], BSim [17], DeST [18], Ener-Win [19], HAP [20], HEED [21] yazılımlarıdır [22]. Bu yazılımların birçoğu üniversiteler ve/veya araştırma merkezleri tarafından geliştirilmiştir. Örneğin; DOE-2, Amerika Lawrence Berkeley Ulusal Laboratuvarı; ESP-r, İngiliz Enerji Sistemi Araştırma Birimi; CLIM2000, Fransa ve DEST, Çin Tsinghua Üniversitesi tarafından geliştirilmiştir [23].

Bu bölümde en çok kullanılan bina enerji simülasyon yazılımlarından DOE-2, EnergyPlus, eQUEST, TRNSYS, ESP-r/HOT3000 ve ESP-r yazılımları hakkında bilgi verilmiş, bu yazılımların kıyaslaması yapılmış, ve bu çalışmada bina enerji tüketiminin modellenmesinde ESP-r yazılımının seçilmesinin nedeni açıklanmıştır.

2.1 Bina Enerji Simülasyon Yazılımları

Bu kısımda araştırmacılar tarafından en çok tercih edilen DOE-2 [13], EnergyPlus [14], eQUEST [13], TRNSYS [15], ESP-r/HOT3000 [24] ve ESP-r [16] bina enerji simülasyon yazılımları hakkında bilgiler verilmiştir.

2.1.1 DOE-2

DOE-2; Amerika Birleşik Devletleri Enerji Bakanlığı (ABDEB) tarafından desteklenen James J. Hirsch&Associates ve Lawrence Berkeley National Laboratory ortaklığında geliştirilen bir yazılımdır. Bütün bina tipleri için enerji tüketimini ve tüketim maliyetini hesaplayabilen bina enerji analiz programıdır. DOE2; bina enerji tüketimi ve maliyetini hesaplayabilmek için, kullanıcı tarafından sağlanan binanın yapısal malzemeleri, enerji tüketim bilgileri, aydınlatma ve elektrikli cihaz kullanım profili, ısıtma-havalandırma-hava şartlandırma (IHH) sistemi bilgileri, binada bulunan kişi sayısı gibi bilgileri iklim verisi ile kullanarak saatlik enerji talebini belirlemek amacı ile simülasyonlar yapar [25]. Bu yazılımın zayıf yönü yüksek oranda kullanıcı bilgisi gerektirmesidir [26].

2.1.2 EnergyPlus

EnergyPlus, ABDEB tarafından desteklenen, 1996 yılında geliştirilmeye başlanmış en yaygın kullanılan bina enerji tüketim simülasyon yazılımlarından birisidir [22]. EnergyPlus, kullanıcıların binayı görüp kavrayabileceği görsel bir ara yüze sahip değildir. Bunun için ek olarak Design Builder gibi yazılımlar kullanılmaktadır. EnergyPlus simülasyon aracı ile binanın enerji tüketiminin simülasyon adımları bir saatten az süreler için belirlenebilmektedir.

EnergyPlus, binadaki enerjinin ve ısı yükünün analizinin yapılabildiği termal bir simülasyon yazılımıdır. Bu simülasyon yazılımı ile; ısıtma, soğutma, aydınlatma, havalandırma ve diğer enerji ve su akışları için modeller simüle edilebilir [27]. Aynı zamanda, birden fazla bölge için elektrik tüketimi simülasyonlarını içerir. Ayrıca; yağmur suyu, yer altı suyu ve modellenen binaların bölgelerinde kullanılan suyu raporlayan ve kontrol eden bir su yönetimi bölümü de içermektedir. EnergyPlus, detaylı bir simülasyon kapasitesine ve model geometrisini CAD programından alabilen başarılı bir ara yüze sahiptir [26].

EnergyPlus'ın zayıf yönü ise, konut hakkında veri girişinin grafik ara yüzülü programlarla yapılamamasıdır. Programa veri girişi metin ile yapılmaktadır ve bu durum yazılımın kullanımını daha zor hale getirmektedir [26].

2.1.3 eQUEST

eQUEST, DOE-2 programının yeni eklenti ve grafik ara yüzünü içeren interaktif Windows uygulamasıdır. eQUEST, bina performansının modellenmesi konusunda çok içerikli tecrübeye ihtiyaç duymadan, sofistike bina enerji kullanımı simülasyon tekniklerini uygulayarak, bina tasarım ve teknolojilerinin detaylı analizine olanak sağlar [25].

eQUEST; toprak kaynaklı ısı pompası (TKIP), çift yakıtlı soğutma tesisi, doğal havalandırma, kojenerasyon sistemleri, termal enerji depolama gibi sistemlerin modellerde tanımlanmasına olanak sağlar [13].

eQUEST'in zayıf yönlerinden birisi, hala uluslararası ölçüm sistemi olan Système International D'unités (SI) birimlerini desteklememesidir. Ayrıca, sızma/doğal havalandırma modelleri basit ve sınırlıdır. Buna ek olarak, güneş ışığı sadece

konveks alanlara uygulanabilmekte ve camlı bölgelerden iç mekâna aktarılamamaktadır [26].

2.1.4 TRNSYS

TRNSYS, modüler yapıya sahip, enerji tüketimi ile ilgili karmaşık sistemleri daha küçük bileşenler haline getirerek çözmek için geliştirilmiş bir simülasyon yazılımıdır. Bileşenler TRNSYS Simülasyon Stüdyosu olarak bilinen grafiksel ara yüzde tasarlanırlar. TRNBuild olarak bilinen görsel ara yüzde binanın yapısal bileşenleri oluşturulur [22].

TRNSYS simülasyon aracı ile binanın simülasyon adımları 15 dakika ile bir saat arasında değişen bir aralıkta belirlenebilir. Buna ek olarak 0,1 saniye zaman aralığında simülasyon yapma kapasitesine de sahiptir [27].

TRNSYS, güneş enerjisi sistemleri, fotovoltaik paneller, IHH sistemleri, kojenerasyon sistemleri gibi genel olarak kullanılan birçok sistemi kullanma imkânı verir. Bu yazılımın modüler yapısı, yazılıma modellerin eklenmesini kolaylaştırır ve eklenen bileşenler diğer kullanıcılarla paylaşılabilir.

TRNSYS yazılımı Dynamic Link Library(DLL) teknolojisini kullanmaktadır. DLL teknolojisi büyük bir ana program tarafından kullanılan birçok küçük programın birleşimidir. DLL dosyaları kendini kullanan ana program ile dinamik bir bağlantı içerisindedir ve ana programın yeniden derlenilmesine ihtiyaç duyulmadan küçük DLL dosyalarında yapılan değişiklikler ana program tarafından kullanılabilir [28].TRNSYS tarafından kullanılan bu teknoloji ile diğer kullanıcılar yazılımın yeniden derlenmesine ihtiyaç duymadan eklenen modülleri görebilirler. AyrıcaTRNSYS; kullanıcıya Matlab, Excel gibi diğer yazılım araçlarında geliştirilen bileşenleri kullanma imkanı sağlar. Buna ek olarak, TRNSED yazılımı ile HTML görüntüleri bu yazılıma eklenebilir, böylece programı kullanmayanlar da bir web sitesi sayfası görünümünde TRNSYS dosyalarını görebilir ve değişiklikler yapabilirler [27].

Bunlara ek olarak, TRNSYS yazılımının zayıf yönü ise, bina veya sistem hakkında programın hiçbir varsayımda bulunmamasından dolayı, kullanıcının bina veya sistem hakkında çok detaylı bilgiye sahip olmak ve bu bilgiyi TRNSYS ara yüzüne girmek zorunda olmasıdır [26].

2.1.5 ESP-r/HOT3000

Enerji verimli ve sıfır emisyonlu binaların tasarımını teşvik etmek amacı Kanada'da bulunan CanmetENERGY [29] ve İngiltere'de bulunan Strathclyde Üniversitesi işbirliği ile ESP-r/HOT3000 enerji analiz programı geliştirilmiştir [24]. ESP-r/HOT3000 bina enerji analiz programı ESP-r yazılımının hesaplama yöntemini kullanmakta ve oluşturulan arayüz ile daha kullanımı kolay bir yazılım sunmaktadır.

ESP-r/HOT3000 enerji analiz programı binaların yapılma aşamasında yada yenilenmesi sırasında konutların enerji tüketimini ve elde edilebilecek enerji tasarrufunu hesaplama imkanı vermektedir. ESP-r/HOT3000; ısıtma, soğutma, sıcak su temin etme, cihazlardan ve aydınlatmadan kayılan enerji tüketimini ve yakıt tüketimini saatlik veya bir saatten daha az simülasyon adımları ile hesaplayabilmektedir [24].

ESP-r/HOT3000 yazılımının dezavantajı yeterli mali destek sağlanmamasından dolayı geliştirilmesinin durdurulmuş olmasıdır. Mevcut program ise sadece Kanada'da bulunan şehirler için tanımlanmış (Canadian Weather Year for Energy Calculation, CWEC) iklim dosyaları ile çalışabilmektedir.

2.1.6 ESP-r

ESP-r, İngiltere'de Strathclyde Üniversitesi bünyesinde bulunan Energy Systems Research Unit tarafından geliştirilmiş açık kodlu enerji tüketimi modelleme yazılımıdır [12].

ESP-r, bina sistemleri içinde hava ve enerji akışlarını modelleme yeteneğine sahip bir simülasyon sistemidir. ESP-r, bina enerji tüketimini hesaplamada binanın tüm yönlerini (geometri, inşaat, işletme, dağıtım, ısı dağılımı, v.b.) aynı anda ele almak için birçok denklem kullanır [27]. Bu yazılım ile oluşturulan modeller, Enerji Plus veya Radiance (Görsel Simülasyon) gibi diğer yazılımlara aktarılabilir [16].

ESP-r simülasyon aracı ile binanın simülasyon adımları bir dakika ile bir saat arasında değişen bir aralıkta belirlenebilir [16].

ESP-r bina enerji simülasyon yazılımında bir binanın yapısal özellikleri, enerji kazanç verileri ve meteorolojik veriler kullanılarak modeli oluşturulur. Daha sonra, modele IHH sistemleri, elektrik tüketim bilgileri, hava akış ağı, rüzgar tribünü, fotovoltaik sistemler gibi sistemler dahil edilebilir.

ESP-r'ın zayıf yönlerinden bahsetmek gerekirse; modele dahil edilmesi istenen yenilenebilir enerji yada havalandırma sistemleri gibi ek özellikleri kullanabilmek için eklenilmesi planlanan konu hakkında daha detaylı ek bilgi gerektirmesidir. Ayrıca, ticari sektörde kullanılmasına rağmen, ESP-r araştırma aracı görünümünü ve hissini korumakta ve ticari araçlar ile ilgili kapsamlı veri tabanlarını içermemektedir. Buna ek olarak, Windows uygulaması diğer platformlarda kullanılan bazı özellikleri içermemektedir [27]. Programı kullanabilmek için bu alanda uzman kişilerden büyük bir bilgi ve tecrübe aktarımı ve uzun bir öğrenme süreci gerektirmesi de bir diğer dezavantajdır [16]. ESP-r'ın çalışma metodolojisi hakkında detaylı bilgi EK-1'de verilmiştir.

2.2 Simülasyon Yazılımlarını Karşılaştırılması

Binalarda enerji talebini simüle etmek amacı ile geliştirilen yazılımları; kapasiteleri, kabiliyetleri, avantaj ve dezavantajlarına göre kıyaslayan birçok çalışma mevcuttur. Bina enerji simülasyon yazılımlarını kıyaslayan ilk çalışmalardan birisi Haltrecht ve arkadaşları tarafından yapılmıştır [30]. Bu çalışmada, simülasyon tabanlı HOT2000 programının geliştirilmesi aşamasında kullanılması planlanan bina enerji simülasyon yazılımının seçilmesi amacı ile 30 bina enerji simülasyon programı karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmalar sonucunda; ESP-r'ın enerji talebi ve IHH eşitliklerini anlık çözebilmesi, bir düğüm-ağ hava akış modeline sahip olması, uzun dalga radyasyon değişim modelinin çok ayrıntılı olması, IHH metodolojilerinin genişletilebilmesi, yaklaşık 20 yıldır kullanılması sebebi ile teknik riskinin düşük olması ve böylece istikrarlı bir program olması gibi sebeplerden dolayı ESP-r yazılımı seçilmiştir [30].

Bu çalışmadan on yıl sonra, yine bina enerji simülasyon yazılımlarının performanslarının karşılaştırıldığı başka bir çalışmada, seçilen 20 programın havalandırma sistemleri, IHH bileşenleri, ekonomik hesaplamaları, yenilenebilir enerji sistemleri, elektrik sistemleri ve salım hesaplamaları özelliklerini içerip içermemesi konusunda kıyaslanmıştır. Bu çalışma sonucunda simülasyon araçları arasında araçların neler yapabileceğini açıklamak için ortak bir dil olmadığı ve bu belirsizliğin giderilmesi için ek çalışma gerektiği sonucuna varılmıştır [22].

Porto Üniversitesi'nde yapılan bina enerji simülasyon yazılımlarının karşılaştırıldığı başka bir çalışmada EnergyPlus, ESP-r, IDA ICE (Indoor Climate Energy), IES-VE

(Entegre Çevre Çözümleri-Sanal Ortam) ve TRNSYS yazılımlarının en iyi, dolayısıyla en kompleks ve deneyim gerektiren yazılımlar olduğu sonucuna varılmıştır [27].

Beş önemli bina enerji simülasyon yazılımının karşılaştırıldığı Çin'de yapılan bir çalışmada ise DOE-2, eQUEST, EnergyPlus, ESP-r ve DeST yazılımları temel karakteristikleri (CAD çizimi eklenebilmesi, farklı zaman adımlarının tanımlanması, sonuç raporu alınması), hesaplama kapasiteleri (ısı dengesi, nem, doğal havalandırma, güneş ışığı analizi, yenilenebilir enerji hesaplaması) ve uygunlukları (su döngüsü hesaplaması, rüzgar döngüsü hesaplaması, sera gazı salımı, diğer yazılımlarla bağlantı kurulabilme) konularında karşılaştırılmıştır. Bu çalışmada kullanıcıların ihtiyaçlarını karşılamak için birden fazla yazılım aracına adapte olması gerektiği sonucuna varılmıştır [23].

The Pontificia Universidad Católica de Chile'de yüksek lisans tezi olarak yapılan ve yine bina enerji simülasyon yazılımlarının karşılaştırıldığı bir çalışmada ise ESP-r'in, EnergyPlus'a kıyasla daha az kullanıcı dostu fakat daha fazla araştırma odaklı bir bina enerji performans simülasyon yazılımı olduğu sonucuna varılmıştır [31].

2.3 Simülasyon Yazılımının Seçimi ve Seçilme Nedeni

Bu çalışmada konutun modellenmesi amacı ile ESP-r bina enerji simülasyon yazılımı seçilmiştir. ESP-r'in seçilme nedeni bu yazılımın binaların termal, görsel performansını, enerji tüketim bilgileri, iklim koşulları ve kullanılan inşaat malzemeleri verilerini kullanarak simüle edebilen, en gelişmiş bilgisayar kodlarından ve modelleme araçlarından birisi olmasıdır.

ESP-r programını kullanabilmek için bu alanda uzman kişilerden büyük bir bilgi ve tecrübe aktarımı ve uzun bir öğrenme süreci gerektirmektedir [16]. Bu alanda uzun zamandır çalışma yapılan Kanada, Halifax'da bulunan Dalhousie Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü'nde bulunan bir araştırma grubunun ESP-r eğitimi için destek verebilmesi bu yazılımın seçilmesinde diğer önemli bir nedendir.

2.4 Bölüm Sonucu

Bu bölümde akademik çalışmalarda yaygın olarak kullanılan altı bina enerji simülasyon yazılımının özellikleri hakkında bilgi verilmiştir. Daha sonra, bu

yazılımları karşılaştıran çalışmalardan bahsedilmiş ve bu çalışmada seçilen ESP-r yazılımının seçilme nedeni açıklanmıştır.

3 LİTERATÜR ÖZETİ

Türkiye'nin hızla artan nüfusu ve konut ihtiyacından dolayı yeni konut yapımı hızla artmaktadır. Bu sebeple, konutların enerji tüketiminin doğru şekilde tahmin edilebilmesi ilerde yapılması planlanan konut sektörü ile ilgili politikaların belirlenmesi için büyük önem taşımaktadır. Literatürde son 30 yılda konutlarda tüketilen enerji miktarının modellenmesi üzerinde birçok çalışma bulunmaktadır. Yapılan çalışmalarda binalarda alternatif enerji kaynakları kullanılarak, binanın yapısal malzemeleri iyileştirilerek ve/veya mimarisi değiştirilerek enerji tüketimini azaltmanın yöntemlerinin belirlenmesi amaçlanmaktadır.

Bu bölümde, konutların enerji tüketimini bina enerji simülasyon yazılımları ile modelleyerek oluşturulan modeller üzerinde uygulanan senaryolar ile enerji tüketimini azaltmayı hedefleyen çalışmalardan bahsedilmiştir. Oluşturulan modellerde binalarda yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılmasını, sistemlerin performansının etkileyen faktörleri, sera gazı emisyonundaki azalmayı ve konutlarda yapısal değişiklikler yapılması ile elde edilecek enerji tasarrufunu inceleyen çalışmalara yer verilmiştir. Ayrıca uygulanan senaryoların GÖS'ni hesaplayarak ekonomik analizini yapan çalışmalar hakkında da bilgi verilmiştir.

3.1 Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının ve Yeni Teknolojilerin Binalarda Kullanılmasını Öngören Modelleme Çalışmaları

Bu kısımda, oluşturulan modellerde yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılmasının öngören, öngörülen sistemlerin performansının etkileyen faktörleri ve bu sistemler ile elde edilecek enerji tasarruflarını inceleyen çalışmalardan bahsedilmiştir. Bu çalışmalarda konutta bulunan mevcut ısıtma/soğutma sistemi yenilenebilir enerji kaynağı kullanan cihazlarla değiştirilmiş veya konutta elektrik tüketimi yenilenebilir enerji kaynakları tarafından karşılanmıştır. Buna ek olarak, uygulanan senaryolar ile elde edilecek sera gazı emisyonundaki azalmayı inceleyen çalışmalara da yer verilmiştir. Son olarak farklı metodların modelleme çalışmalarındaki performansının incelendiği çalışmalara yer verilmiştir.

Yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanılarak yapılan çalışmalarda sistemin performansını etkileyen faktörler incelenmiş ([32], [33] [34], [35], [36], [37], [38],

[39], [39]), sistemin sağlayacağı enerji tasarrufu hesaplanmış([40], [41], [42]) ve sistemin kullanılması durumunda sağlanacak sera gazı salımındaki azalmalar ([43], [44], [45]) hesaplanmıştır. Bu çalışmalara ek olarak modelleme çalışmalarında farklı metotların performansı inceleyen çalışmalar da mevcuttur ([46], [9], [47], [48], [49]). Fotovoltaik sistemlerin performansını etkileyen faktörleri belirlemek için bina enerji simülasyon yazılımları kullanılarak birçok çalışma yapılmıştır. Güney Çin'de bulunan 30 katlı bir otel binasının dış duvarına 260 m² fotovoltaik duvar uygulaması ESP-r yazılımı kullanılarak modellenmiştir. Bu çalışmada üç farklı FV sistem tipi tasarımı kıyaslanmıştır. Bu çalışmada, tasarımların performansının mevsime göre farklılık gösterdiği ve soğutma yükünü bir yıl içinde ortalama % 10 etkilediği gözlenmiştir [33]. Güneş enerjisi sistemlerinin performansı solar radyasyonun miktarına ve solar kolektörlerin yönüne bağlıdır. Yine Chow ve Hand tarafından yapılan başka bir çalışmada, Güney Çin'in sahil kesiminde, ESP-r bina enerji simülasyon yazılımı kullanılarak yılın farklı zamanlarında farklı yön ve eğimler için, eğimli yüzeylerinin aldığı solar radyasyon miktarı analiz edilmiş, güney-batıya bakan solar kolektörün en çok radyasyon alan bölge olduğu tespit edilmiştir [32]. Fotovoltaik modülün yönünü ve gölgelemesini elektrik üretimine etkisini inceleyen başka bir çalışmada ise binaya entegre fotovoltaik modüllerin (BEFM) analizi ESP-r ile gerçekleştirilmiş, binanın yönünü ve gölgelemesini değiştirerek elektrik üretiminin %9-%47 arasında değişeceği hesaplanmıştır [34].

Güneş enerjisi sistemlerinin performansı radyasyon ve kolektörün yönüne ek olarak dış etkenlere ve sistemin özelliklerinede bağlıdır. ESP-r bina enerji simülasyon yazılımında bulunan fotovoltaik sistemlerin elektrik üretimini tahmin etmede doğruluk payında eksiklik olabileceğinin tespit edildiği bir çalışmada, fotovoltaik panelin elektrik üretimini etkileyen tüm etkenlerin (solar radyasyon yoğunluğu, panel yaşı, toprak, kir, kar, kısmi gölgelenme v.s.) dikkate alınması gerektiği sonucuna varılmıştır [35]. Yine dış etkenlerin fotovoltaik sistemin performansına etkisinin incelendiği başka bir çalışmada 2008 yılında Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesine ait iki binanın (bir binanın dış cephesine ve bir yüksek kuleye) dış cephesine binaya entegre fotovoltaik modül (BEFM) entegre edilmiştir. Yüksek kulenin dış cephesine tek bağlantılı amorf silikon Fotovoltaik Panel (FVP), diğer binanın dış cephesine ise üçlü bağlantılı amorf silikon FVP yerleştirilmiştir. 2008 yılından itibaren 3 yıl sistemin performansı kayıt edilmiş ve aynı zamanda PVSYST [50] programı ile simülasyon

yapılarak sistemin üreteceği elektrik tahmin edilmiştir. Yapılan tahmin sonucunda sistemin yılda 40.000 kWh enerji üretebileceği sonucuna varılmıştır. Fakat gölgelenme gibi bazı etkilerden dolayı beklenen daha az elektrik ürettiği görülmüştür. Üç yıllık ölçüm sonucunda üretilen elektrik 103.702 kWh olarak kayıt edilmiştir. Binanın dış cephesine ve yüksek kuleye monte edilen FVP'lerin verimleri panellerin çatı yerine dış cepheye monte edilmesi sebebi ile normalden düşüktür. Dış cepheye ve yüksek kuleye monte edilen panellerin verimi sırasıyla % 5,58 ve % 5,99 olarak hesaplanmıştır. [36].Fotovoltaik sistemlerin üreteceği elektrik yüksek ölçüde güneşten gelen radyasyona yani ortamın iklimine bağlıdır. Pencereleere fotovoltaik sistemin uygulandığı bir çalışmada ise Brezilya'da ofis binalarında yarı-geçirgen fotovoltaik pencerelerin kullanımı incelenmiş, farklı pencere sistemleri için yıllık radyasyon araştırılması için DAYSIM [51] programı, enerji performansı için EnergyPlus programı kullanılmıştır. Çalışmalar, iklimin FVP'in performansına etkisini göstermek amacı ile Brezilya'da farklı iklimi olan iki şehir için yapılmış ve Almanya'da bulunan bir şehir ile kıyaslanmıştır. Bu çalışmada uygun kontrol sistemlerinin kullanılması ile elektrik tüketiminin azaltılmasının mümkün olduğu ve yarı-geçirgen fotovoltaik pencerelerin kullanımı ile elektrik üretimi performansının Brezilya'da yüksek olduğu sonucuna varılmıştır [37]. Yine farklı iklim bölgelerinin fotovotaik sistemin performansına olan etkisinin incelendiği bir çalışmada hem elektrik üreten hem de güneş ışığını içeri geçiren yarı saydam fotovoltaik pencere sistemleri ESP-r kullanılarak modellenmiş, altı farklı iklim bölgesi için yapılan simülasyonlar sonucunda bu sistemlerinin Seul'da etkili olduğu ama Berlin ve Moskova'da daha az etkili olduğu sonucuna varılmıştır [38].

Fotovotaik sistemlerin performansına sistemin yaşının etkisinin incelendiği bir çalışmada ise 16 yıllık bir fotovoltaik sistemin performansı incelenmiştir. Fotovoltaik sistemde ölçüm yapılmış ve PVSYST [50]simülasyon yazılımı ile sistem modellenmiştir. Bu çalışmada fotovoltaik sistemin 20-25 yıl sonra bile ilk günkü veriminin % 80'inden fazla performans sağlayabileceği sonucuna varılmıştır [52].

Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü [53] ve Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği [54] kapsamında rüzgar, güneş, hidrolik, biyokütle ve jeotermal enerji yenilenebilir enerji olarak kabul edilmektedir. Isı pompaları ise yeni teknolojiler grubunda yer almaktadır.

Güneş enerjisi ile desteklenen toprak kaynaklı ısı pompasının (GETKIP) performansının incelendiği bir çalışmada, bir konut modellenmiş ve 19 Avrupa şehri için TKIP ve GETKIP için simülasyonlar yapılmıştır. GETKIP'lerinin performans katsayıları (COP) kuzeyden güneye doğru 4,4-5,8 arasında, TKIP için COP değeri 4,3-5,1 arasında değişmekte olduğu görülmüştür. GETKIP'lerinin güneşin fazla olduğu yerlerde COP değerinin yüksek olduğu fakat çok sıcak olmayan iklimlerde daha ekonomik olduğu görülmüştür. GETKIP'lerinin GÖS'nin kuzeyden güneye 8,5-23 yıl arasında değiştiği görülmüştür. GETKIP'lerinin çok güneş alan ve soğuk iklime sahip güney Avrupa'daki dağlık bölgeler için en uygun olduğu sonucuna varılmıştır [55].

Woodbridge, Ontario, Kanada'da kurulan Hava kaynaklı ısı pompasının (HKIP) incelendiği bir çalışmada TRNSYS programında simülasyon yapılmış ve ölçüm sonuçları ile kalibre edilmiştir. Bu çalışmada dış ortam sıcaklığının 33 °C ile 16 °C arasında değişmesi ile soğutma modunda COP değerinin 4,7-5,7 arasında değiştiği görülmüştür. Isıtma modunda ise dış ortam sıcaklığının -19 °C ile 9 °C arasında değişmesi ile COP değerinin 1,79 – 5,0 arasında değiştiği görülmüştür. Bu çalışmada, sistemin çalışma döngülerinin süresinde ve hızında azalma olması sebebi ile değişken hızlı HKIP'nin diğer ısı pompalarına göre performansının daha iyi olduğu sonucuna varılmıştır [56].

Rüzgar türbininin performansının incelendiği bir çalışmada ise simülasyonlar yine TRNSYS programı ile yapılmıştır. Bu çalışmada, çok sayıda küçük rüzgar türbini içeren yeni bir sistem olan rüzgar türbini-FVP hibrit sistemi kullanılmış, sistemin performansı geleneksel büyük türbin ile kıyaslanmıştır. Tianjin şehrinde, aynı kapasiteye sahip iki tip rüzgar türbini-FVP hibrit sistemi kurulmuş ve üretilen güç miktarları ölçülmüştür. Kurulan sistemin modeli TRNSYS yazılımı ile oluşturulmuş ve simülasyonları yapılmıştır. Çin'de farklı iklime sahip şehirler için TRNSYS yazılımında sistemin simülasyonları yapılmıştır. Shenyang, Shanghai, Guangzhou, şehirlerinde çok türbinli rüzgar türbini-FVP hibrit sisteminin güç üretiminin referans sisteme göre performansının rüzgar hızıyla ters orantılı olarak % 19, % 31, % 54 daha iyi olduğu sonucuna varılmıştır [39].

Fotovoltaik sistemler binanın dış cephesine, pencerelere veya çatıya uygulanabilir. Bu sistemlerin kullanılması ile sağlanacak enerji tasarrufu hakkında da bina enerji simülasyon yazılımları ile yapılan detaylı çalışmalar mevcuttur.

TRNSYS programı kullanılarak fotovoltaiik sistemin oluşturulduğu bir model ile dış duvarlara şeffaf güneş enerjisi kolektörlerinin entegre edilmesi ile % 30 enerji tasarrufu sağlayacağı hesaplanmıştır [40]. Fotovoltaiik sistemler konutta enerji üretiminde bulunan sistemlerin elektrik ihtiyacını karşılamakta da kullanılmaktadır. İzmir'de bir odanın dış cephesine entegre edilen BEFMTrombe duvarın deney sonuçları ile simülasyon sonuçlarının karşılaştırıldığı bir çalışmada ANSYS CFX [57] yazılımı kullanılarak simülasyon yapılmış ve ölçüm sonuçları ile uyumlu olduğu gözlenmiştir. Bu çalışma, gün boyunca Trombe duvarında depolanan ısının radyasyon olmadığı akşam saatlerinde odaya aktarıldığını göstermiştir. [41]. Fotovoltaiik sistemin kullanılması ile sağlanacak enerji tasarrufunun incelendiği bir çalışmada Sefaira [58] bina simülasyon yazılımı kullanılmış ile Mumbai'de 3 katlı bir konukevi modellenmiştir. Fotovoltaiik panel kullanılması durumunda elektrik tüketiminin % 45 azalacağı görülmüştür [42].

Bina enerji simülasyon yazılımları ile oluşturulan modellerde elde edilecek enerji tasarrufunun hesaplanması ile sera gazı salımındaki azalma da rahatlıkla hesaplanabilir. Bu tür çalışmalarda amaç elde edilen enerji tasarrufu ile sağlanacak CO₂ salımındaki azalmayı hesaplamaktır.

Sera gazı salımındaki azalmayı en çok etkileyen faktör sistemin kullandığı yakıt türüdür. Enerji tasarruf potansiyelini ve sera gazı salımlarında oluşacak azalmayı değerlendirmek amacı ile; TKIP, yerden ısıtma, ısı geri kazanımlı havalandırma sistemi ve fotovoltaiik panelden oluşan bir sistemin modellendiği bir çalışmada ESP-r yazılımı kullanılmış ve sera gazı salımını değiştirilen yakıt türlerine bağlı olarak, %19 ile %90 arasında azalacağı hesaplanmıştır [43].

İngiltere'de yapılan bir çalışmada HKIP ile konutların ısıtma talebinin karşılanması ve sistemin Talep Tarafı Yönetimi (TTY) ile desteklenmesi durumunda CO₂ emisyonunda elde edilebilecek azalma incelenmiştir. Bu çalışmada konutun enerji tüketiminin modellenmesi ESP-r ortamında yapılmıştır. TTY sistemi, Karbon Emisyonu Faktörü (KEF) düşükken şebekenin sistemi çalışmaya teşvik ettiği, KEF yüksek iken çalışmamaya teşvik ettiği bir uyarı sistemdir. Senaryolar TTY sisteminin kullanılması ve kullanılmaması durumu için ayrı ayrı yapılmıştır. Ayrıca 512 farklı konut tipi için bu senaryolar tekrarlanarak senaryo sonuçları HKIP içeren konut sayısı ile çarpılmıştır. Bu çalışmada, TTY sisteminin kullanılması ile 2035 yılında

2013 yılına kıyasla CO₂ emisyonunda % 3 azalma sağlanabileceği hesaplanmıştır [59].

Yine konutlarda yenilenebilir enerji teknolojileri ile elde edilecek enerji tasarrufunun ESP-r ile modellendiği başka bir çalışmada hibrid fotovoltaik/rüzgâr enerjisi sistemlerinin devreye alınması ile Quebec ve British Columbia eyaletlerindeki CO₂ salımlarında azalma olacağı hesaplanmıştır [44]. Kanada konut stoku veri tabanı kullanılarak yapılan bir çalışmada, çatısı güneye, güneydoğu veya güneybatıya bakan bütün konutlarda sıcak su için güneş enerjisi kullanılması durumunda Kanada'da bulunan konutların enerji tüketiminin ve sera gazı salımının % 2 azalacağı görülmüştür [45].

3.2 Fiziksel İyileştirme Öngören Modelleme Çalışmaları

Binalarda enerji tasarrufu elde etmek için yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması ile yapılan modelleme çalışmalarının yanı sıra; binanın tasarımının, güneş ile etkileşiminin, fiziksel yapısında kullanılan malzemelerin değiştirilmesi ile elde edilecek enerji tasarrufunu inceleyen çalışmalar da mevcuttur ve bu çalışmalar bu kısımda açıklanmıştır. Buna ek olarak, konutların komşu binalar ve ağaçlardan kaynaklanan gölgelenmesinin enerji tasarrufuna olan etkisini inceleyen çalışmalara yer verilmiştir.

Binaların yapısında değişiklikler yapılması ile soğutma ve ısıtma için enerji tüketimini azaltmak mümkündür. Bir binada her yapının sebep olduğu ısı kaybı ayrı ayrı hesaplanarak bina enerji tüketimine en çok etki edecek iyileştirme yönteminin hangi yapıya uygulanacağı belirlenebilir ve her bina için bu değerler farklıdır. Bina yapılarından kaynaklanan enerji kaybını ayrı ayrı hesaplayan bir çalışmada HOT2000 yazılımı ile Yunanistan'ın Selanik şenrinde bulunan bir konutun modeli oluşturulmuştur. Bu çalışmada, yıllık ısı kaybının %5'inin tavandan, %23'ünün duvarlardan, %4'ünün kapılardan, %11'inin zeminden, %16'sının pencerelerden ve kalanının bodrumdan kaynaklandığı hesaplanmıştır [60]. Sıcak ve nemli iklim bölgelerinde konutların ısıtma ve soğutma yüküne en çok etki eden bina parametrelerinin tespiti için duyarlılık ve belirsizlik analizleri yapıldığı bir çalışmada ise, EnergyPlus bina simülasyon programı kullanılarak binanın enerji tüketimi hesaplanmıştır. Konutun enerji ihtiyacının; bulunduğu kata, pencerelerin alanı ve

pencerelerin ısı geçirgenlik katsayısına (U değeri, W/m^2K) vekonutun mimarisine göre değiştiği sonucuna varılmıştır [61].

Energyplus bina enerji simülasyon programı kullanılarak Kıbrıs'da bir konutun modellendiği bir çalışmada; duvar yalıtımı, çatı yalıtımı, düşük emisiviteli pencere kullanımının soğutma yüküne ve ısıtma yüküne etkisi incelenmiş, hem soğutma hem de ısıtma yükünde en yüksek azalmanın çatı yalıtımında elde edildiği görülmüştür [62]. Çatının yapısı, çatının ısı iletimi düşürülerek ve rengi değiştirilerek iyileştirilebilir. DOE-2.1E bina simülasyon programı kullanılarak yapılan bir çalışmada, çatının renginin değiştirilmesi ile soğutma yükünün ortalama %19 azalacağı hesaplanmıştır [63]. Çatı yalıtımında kullanılan malzemelerin iyileştirilmesinin etkisini incelen bir çalışmada ise, TRNSYS programı kullanılmış ve soğutma yükünün % 45, ısıtma yükünün ise % 75 azalabileceği hesaplanmıştır [64]. Portekiz'de ESP-r programı kullanılarak yapılan bir çalışmada, daha çok trafikte yolların çizilmesi amacıyla kullanılan kalın ve rutubet geçirmeyen bir yapıya sahip olan soğuk boya olarak adlandırılan boyanın çatıda kullanılması ile toplam güneş yansıtmasının % 50'den % 92'ye çıkacağı hesaplanmıştır. Aynı zamanda bu uygulama ile yalıtımsız binalarda iç mekan sıcaklığını $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ - $4,7^{\circ}\text{C}$ arasında, yalıtımlı yeni binalarda ise $1,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ - $3\text{ }^{\circ}\text{C}$ arasında azalacağı hesaplanmıştır. Buna ek olarak, binanın güneş enerjisini daha çok yansıtması sebebi ile ısıtma yükünde % 30 artma olacağı tespit edilmiştir [65]. Aynı zamanda yeşil çatı uygulamaları da binanın enerji tüketimini etkilemektedir. Portland Eyalet Üniversitesi'nde yapılan bir çalışmada EnergyPlus bina enerji simülasyon yazılımına yeşil çatının enerji tüketimine etkisini hesaplayan bir modül entegre edilmiştir. Bu modül ile çatıda yetiştirilecek farklı tipteki bitkilerin enerji tüketimine etkileri incelenebilmektedir [66].

Binaların çatısına ek olarak dış duvarda iyileştirilme yapılması ile de enerji tüketimini azaltmak mümkündür. Binaların inşasında kullanılan malzemelerin iyileştirilmesinin enerji tasarrufuna etkisini inceleyen bir çalışmada ESP-r programı kullanılarak, Norveç'te bulunan bir binanın doğu cephesine çift katlı duvar uygulanmasının ısıtma ihtiyacını %20 azaltacağı hesaplanmıştır [67]. Dubai'de yapılan bir çalışmada ise Design Builder ve Energy Plus yazılımı kullanılarak modelleme yapılmış ve duvar yalıtım stratejileri uygulanması durumunda % 30'a kadar enerji tasarrufu sağlanabileceği görülmüştür [68].

Binaların pencere yapılarını ve büyüklüklerini değiştirerek enerji tüketimini azaltmayı hedefleyen çalışmalar da mevcuttur. e-QUEST enerji analiz programı kullanılarak İzmir'de bulunan bir otel binasının modelinin oluşturulduğu bir çalışmada yalıtımın ve pencere sistemlerinin iyileştirilmesi, buna ek olarak dışarıya bakan pencerelerin % 50 küçültülmesi ile soğutma yükünün % 56 azalacağı sonucuna varılmıştır [69]. Yine sıcak ve nemli iklim koşullarına sahip İzmir ilinde yapılan başka bir çalışmada, bir binanın farklı cam türleri için farklı yönlerdeki pencere/duvar alanı oranı değişiminin enerji tüketimine olan etkisi, EnergyPlus kullanılarak karşılaştırılmıştır. Elde edilen simülasyon sonuçlarına göre binanın güney cephesinde pencere/duvar alanı oranının %10'dan %60'a artırılması durumunda ısıtma amaçlı enerji tüketiminde % 30 azalma; Kuzey, Doğu ve Batı cephelerindeki pencere oranlarının %10'dan %60'a artırılması durumunda ısıtma amaçlı enerji tüketiminde sırasıyla %14 %11 ve %12 oranında azalma olacağı hesaplanmıştır [70].

DesignBuilder bina enerji simülasyon yazılımı kullanılarak Trabzon'da konut amaçlı kullanılan iki yüksek apartmanın model alınarak konutların enerji tüketiminin hesaplandığı ve farklı pencere tipleri için enerji verimliliğinin araştırıldığı bir çalışmada; sekiz farklı pencere tipi için hesaplamalar yapılarak farklı pencere tiplerinin duyarlılık analizi yapılmıştır. Bu çalışmada en yüksek performans en düşük ısı geçirgenlik katsayısına (U değeri) sahip (1,8 W/m²K) düşük emisivite kaplamalı 12 mm hava boşluklu şeffaf çift camlı pencerede elde edilmiştir. Bu cam tipinin kullanılmasının, tek kat şeffaf cama göre yıllık ısıtma amaçlı enerji tüketiminde % 40-42 tasarruf sağladığı görülmüştür [10].

Kısım 3.1'de bahsedilen Mumbai'de bulunan üç katlı bir konuk evinin modellendiği çalışmada pencere tipinin soğutma amaçlı enerji tüketimine olan etkisi de incelenmiştir. Bu çalışmada, Sefaira [58] bina simülasyon yazılımı kullanılarak oluşturulan modelde konutta çift cam pencere uygulanması durumunda tek cama göre soğutma yükünün % 11; duvar, çatı ve zeminin termal direncinin artırılması durumunda ise soğutma yükünün % 19 azalacağı görülmüştür [42].

Bir binanın inşası tamamlandıktan sonra, pencere gölgelikleri gibi binaya eklenecek bazı modüller ile veya ağaçlandırma gibi etkenlerle binanın üzerine düşen radyasyonu azaltarak da enerji tasarrufu yapmak mümkündür. TRNSYS programı kullanılarak pencere gölgeliklerinin soğutma yüküne etkisinin incelendiği bir çalışmada binanın yalıtım miktarına göre gölgeliklerin soğutma yükünü % 8-20

arasında azaltacağı hesaplanmıştır [64]. Radiance programı kullanılarak yapılan bir çalışmada ise mikro yapıda delikli gölgeleme perdesinin soğutma yükünü % 20-30 arasında azaltacağı hesaplanmıştır [71]. Gelişmiş cam teknolojilerinden biri de elektrokromik¹ camlardır. Elektrokromik camlar soğutma maliyetlerinin azaltılmasına ve bulutlu havalarda maksimum gün ışığından yararlanılmasına imkan sağlamaktadır [72]. Akdeniz ikliminde gölgeliklere alternatif olan elektrokromik pencerelerin kullanılması durumunda elde edilecek enerji tasarrufunun incelendiği bir çalışmada ise, farklı pencere tipleri (tek cam, çift cam, elektrokromik cam) arasında kıyaslamalar yapılmıştır. ESP-r programı kullanılarak model konutun ısıtma ve soğutma için enerji ihtiyacı hesaplanmış, elektrokromik pencereler kullanılması durumunda enerji tasarrufunun doğu yönündeki pencerede batı yönündeki pencerelere kıyasla % 62 daha fazla olduğu hesaplanmıştır. Güney yönünde ise çift cam en iyi sonuç vermiştir ve elektrokromik camın bir avantajı olmadığı görülmüştür. Aynı zamanda sonuçlar elektrokromik pencerenin soğutma sezonunda enerji tasarrufu sağladığı, ısıtma sezonunda ise kullanışlı olmayabileceğini göstermiştir [73].

Türkiye’de farklı iklim bölgelerinde ofis binalarında ısıtma ve soğutma amacı ile enerji ihtiyacının analiz edildiği bir çalışmada ise EnergyPlus bina simülasyon yazılımı kullanılarak konutun enerji tüketimi tahmin edilmiştir. Dört il için (Ankara, İstanbul, İzmir, Antalya) Meteoroloji Genel Müdürlüğü’nden iklim verilerinin temin edildiği bu çalışmada İstanbul’da bulunan 12 katlı bir ofis binası model alınmıştır. Bu binada 3 hafta saatlik soğutma yükü (10 Haziran- 1 Temmuz), 3 hafta saatlik ısıtma yükü (30 Aralık-13 Ocak) ölçülmüştür. Daha sonra modelin enerji tüketim tahmini ölçüm sonuçları ile kalibre edilmiştir ve ortalama % 3-5 fark olduğu görülmüştür [8].

3.3 Metotların Performansını İnceleyen Çalışmalar

Yatay toprak kaynaklı ısı pompasının performansının modellendiği bir çalışmada, destek vektör makinesi² (DVM) metodu kullanılmıştır. DVM yöntemi ile elde edilen

¹ Elektrokromik kaplamalar iki saydam iletken arasına yerleştirilen nikel veya tungsten metalinden meydana gelir. İletkenlere voltaj uygulanması ile renklendirici iyonların (genellikle lityum ve hidrojen) elektrolitten elektrokromik tabakaya doğru hareket etmesi sağlanır ve meydana gelen tepkimeden dolayı elektrokromik yüzey koyulaşır (prusya mavisi). Elektrokromik camların ışık geçirgenliği aralığı geniş olduğu için enerji tasarrufuna büyük katkı sağlayabilecek potansiyele sahiplerdir.

² Destek Vektör Makineleri (DVM) istatistiksel öğrenme teorisine dayalı bir kontrollü sınıflandırma algoritmasıdır. DVM’nin sahip olduğu matematiksel algoritmalar başlangıçta iki sınıflı doğrusal

sonuçların karekök ortalama değeri (RMS) 0,003, çoklu belirleme katsayısı (R^2) 0,999 ve varyasyon katsayısı (COV) 0,077 olarak hesaplanmıştır [74]. Model bir konutun saatlik ısıtma amaçlı enerji tüketiminin YSA modeli kullanılarak tahmin edildiği başka bir çalışmada, YSA modeli ile enerji tüketim tahmini performansının oldukça yüksek olduğu görülmüştür. 2004-2007 yılları arasındaki şubat ayı için model uygulanmış, 2008 yılının ısıtma değerleri ile karşılaştırılmıştır. Bu çalışmada, 2004-2007 yılları arasındaki verilerin karekök ortalama hatası (RMSE), çoklu belirleme katsayısı (R^2) ve ortalama mutlak hata yüzdesi (MAPE) hesaplanmış, bu değerler sırası ile 1,2575, 0,9907, ve 0,2091 olarak hesaplanmıştır [9].

Uçar ve İnallı tarafından 2006 yılında konutlarda güneş enerjili ısıtma sistemlerinin analizi için MATLAB kullanılarak oluşturulan model sonucunda silindirik ve trapez tank kullanılan sistemlerdeki ekserji kaybı sırasıyla yaklaşık %20 ve %8 olarak hesaplanmıştır [47].

Model bir binanın farklı tasarımları için enerji ihtiyacının ANFIS ile analiz edildiği başka bir çalışmada, ise ANFIS (Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System) modeli ile ısıtma enerji tahmini için % 96,5 soğutma tahmini için % 84 doğruluk payı elde edilmiştir [49].

3.4 Bölüm Sonucu

Bu bölümde, konutların enerji tüketimini bina enerji simülasyon yazılımı ortamında modelleyen çalışmalardan bahsedilmiştir. Bu çalışmalarda, oluşturulan model kullanılarak, konutların enerji ihtiyacının yenilenebilir enerji kaynakları ile sağlanması, konutlarda enerji tüketiminin azaltma yöntemlerinin incelenmesi ve sera gazı salımında azalmaları incelemek amacı ile analizler yapılmıştır. Son olarak, farklı metodların performansını inceleyen çalışmalardan bahsedilmiştir.

Enerji tüketiminin modellenmesi ile yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının ve binalarda yapısal iyileştirmeler yapılmasının etkisinin belirlenmesi üzerine dünyada birçok çalışma yapılmıştır. Binalarda enerji tüketiminin modellenmesi için farklı simülasyon programları kullanılmaktadır. Yapılan çalışmalarda mevcut

verilerin sınıflandırılması problemi için tasarlanmış, daha sonra çok sınıflı ve doğrusal olmayan verilerin sınıflandırılması için geliştirilmiştir. DVM'nin çalışma prensibi iki sınıflı birbirinden ayırabilen en uygun karar fonksiyonun tahmin edilmesi, başka bir ifadeyle iki sınıflı birbirinden en uygun şekilde ayırabilen hiper-düzlemin tanımlanması esasına dayanmaktadır [166].

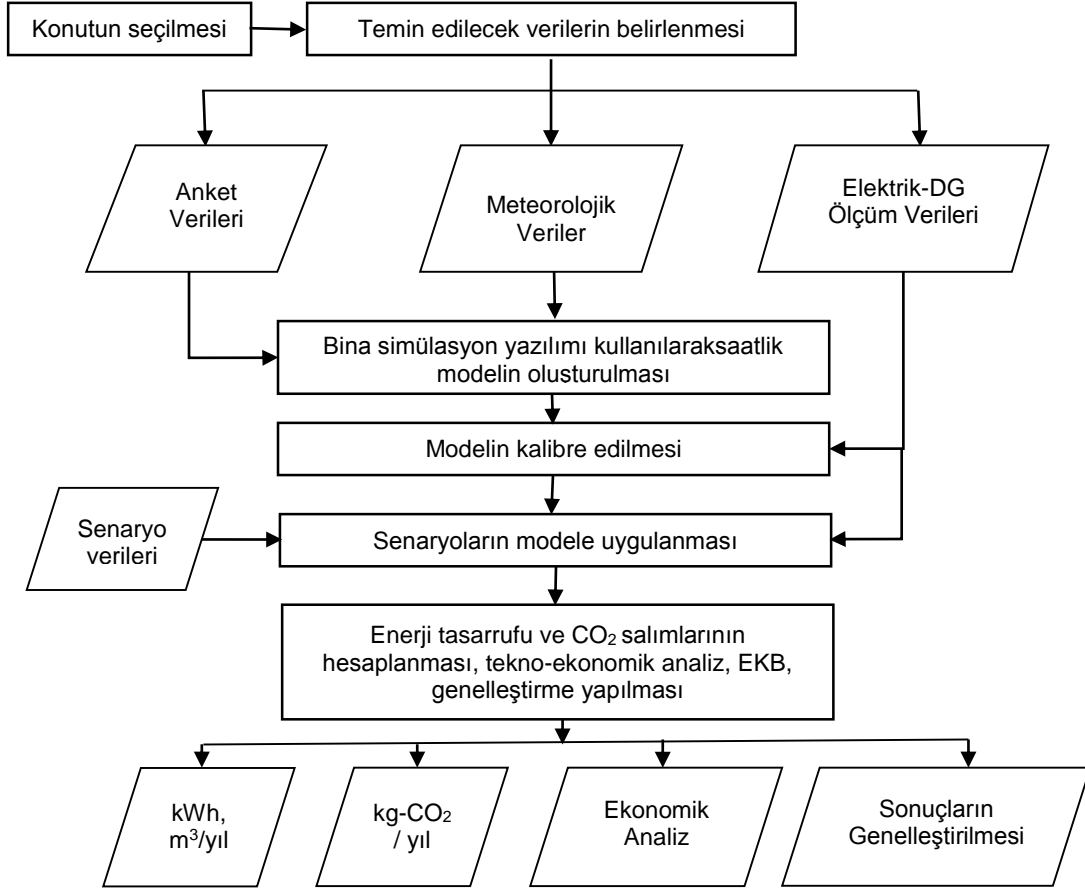
yazılımlardan birçoğu kullanılarak farklı tasarımların binalarda enerji tüketimini azaltmadaki etkisi ve yenilenebilir enerji kaynaklarının binalara entegre edilmesinin etkisi incelenmiştir. Çalışmalarda kullanılan yöntem ve kapsam benzerlik göstermektedir fakat özellikle farklı ülkelerin iklim yapısı doğrultusunda ihtiyaca yönelik enerji tüketimini azaltma yöntemleri araştırıldığı için, enerji tüketimini azaltmada izlenecek yöntem farklılık gösterebilmektedir. Yapılan çalışmalarda genellikle çalışmanın yapıldığı coğrafi konumun kendi ihtiyacına yönelik yöntemler izlenmiştir.

İncelenen çalışmalar kapsamında Türkiye’de konutlarda enerji tüketimini azaltmaya ve binalarda yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılmasının etkisine yönelik çalışmalar da mevcuttur. Ancak ülkemizde yenilenebilir enerji kaynaklarının ısıtma, sıcak su ve elektrik üretimi için konutlarda kullanımı üzerine çalışmalar mevcut olmasına rağmen müstakil bir konutun yıllık enerji tüketiminin ESP-r ortamında saatlik bazda modellenmesi ile birlikte enerji verimliliği/tasarrufunda büyük önem taşıyan yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının incelenmesi, binanın yapısında yapılacak iyileştirmelerin enerji tasarrufuna etkisinin hesaplanması, bu iyileştirmelerin ekonomik analizinin yapılması ve CO₂ salımındaki azalmanın belirlenmesi ve bu sonuçlardan yola çıkarak Ankara şehri bölgesinde 2005 yılından sonra yapılmış tek daireli müstakil binalarda enerji tasarrufu potansiyeli ve fizibilitesinin tespiti hakkında çalışma bulunmamaktadır.

4 ÇALIŞMA YÖNTEMİ

Bu bölümde; yapılan çalışmada model konutun seçilmesi, kullanılan verilerin tespiti ve temini, konutun modelinin oluşturulması, oluşturulan modelin kalibrasyonu, modele senaryoların uygulanması, senaryolarda elde edilen enerji tasarruflarının hesaplanması, CO₂ salımındaki azalmasını hesaplanması ve tekno-ekonomik analiz için hesaplamaların yapılması sırasında izlenen yöntemler anlatılmaktadır. Ayrıca, konutun enerji kimlik belgesinin belirlenmesi ve senaryo sonuçlarının Ankara'da bulunan konut ile aynı enerji sınıfına sahip bir dairesel müstakil konutlar için genelleştirilmesinde izlenen yöntemler de açıklanmıştır.

Çalışma kapsamında öncelikli olarak modellenmesi yapılacak müstakil bir konut seçilmiştir. Daha sonra modelin oluşturulması için; konutun bulunduğu Ankara iline ait meteorolojik veriler, konutun yapısal özellikleri, mimari çizimi ve anket bilgileri temin edilmiştir. Bu veriler kullanılarak konutun bina enerji simülasyon programı ile modellenmesi yapılmıştır. Daha sonra, ölçülen doğalgaz (DG) tüketiminin ısıtma, yemek pişirme ve sıcak su temin etme amacı ile kullanılması sebebiyle, ölçülen doğalgaz tüketim verisinde ısıtma amaçlı kullanılan doğalgaz tüketimi hesaplanmıştır. Konutun havalandırma miktarı, bina enerji simülasyon yazılımı ile elde edilen ısıtma talep tahmini sonuçlarının ölçülen ısıtma amaçlı doğalgaz tüketim verileri ile karşılaştırılması ile belirlenmiştir. Böylece modelin kalibrasyonu yapılmıştır. Daha sonra oluşturulan modele senaryolar uygulanarak elde edilebilecek enerji tasarrufu ve CO₂ salımındaki azalma miktarı hesaplanmıştır. Son olarak konutun enerji sınıfı belirlenmiş ve senaryo sonuçları Ankara'da konut ile aynı enerji sınıfındaki müstakil konutlar için genelleştirilmiştir. Çalışmanın iş akış şeması Şekil 4-1'de verilmiştir.



Şekil 4-1 Çalışmaya Ait İş Akış Şeması

4.1 Konutun Seçilmesi

Bu çalışmada, müstakil konutlarda enerji tüketiminin daha fazla olması ve Ankara'da yeni yapılan müstakil konut sayısının hızla artması sebebi ile Ankara Beytepe'de bulunan müstakil bir konut model olarak seçilmiştir. Isıtma amaçlı enerji tüketim modeli oluşturulan konutun 2007 yılında yapımı tamamlanmıştır. Konut dört yatak odası, iki salon, beş banyo, iki tuvalet, üç depo odası ve bir araba garajı olmak üzere 700 m² toplam alana, 500 m² ısıtılan alana sahiptir. Konutta yedi kişi ikamet etmektedir. Konutun ısıtma, sıcak su temin etme ve yemek pişirme amaçlı enerji ihtiyacı doğalgaz kullanan kombi ile karşılanmaktadır.

Bu konutun seçilmesinde en önemli etken konutun elektrik tüketiminin yüksek olması ve konutun ısıtılan alanının büyük olması sebebi ile ısıtma talebinin çok fazla olmasıdır. Konutun ısıtma talebi 188 GJ/yıl'dır. Buna ek olarak, konut sahibinin projeye destek vermesinden dolayı gerekli verilere ulaşım imkânının kolay olması da bu konutun model olarak seçilme nedenleri arasında yer almaktadır.

4.2 Verilerin Belirlenmesi ve Temin Edilmesi

Bina enerji simülasyon yazılımı ortamında model oluşturulması amacı ile anket verileri (konutun mimarisi, yapısal özellikleri, konutta bulunan elektrikli cihazların ve lambaların maksimum güç değeri ve kullanım süresi v.b.) ve meteoroloji verileri; oluşturulan modelin kalibre edilmesi için ise doğalgaz tüketim verileri temin edilmiştir. Modele uygulanacak senaryolarda kullanılması öngörülen yeni yapı/cihazlarla ilgili teknik veriler temin edilmiştir. Son olarak Bina Enerji Kimlik Belgesi için Bina Enerji Perofirmansı Yönetmeliği'nden gerekli veriler temin edilmiştir. Bu kısımda bu verilerin nasıl elde edildiği açıklanmıştır.

4.2.1 Anket Verileri

Hane sahibinin elektrikli cihaz kullanımı ile ilgili bilgileri, konutun aydınlatma bilgileri, fatura bilgileri, konutun mimari çizimi, konutun inşasında kullanılan malzemelerin özellikleri hakkında bilgiler hane sahibi ile yapılan anket sonucunda temin edilmiştir.

Konutun modeli oluşturulurken ısıtma amaçlı enerji tüketiminin doğru olarak hesaplanabilmesi için konutun içindeki ısı artışına neden olan enerji kazançları bina enerji simülasyon yazılımına girilebilmektedir. Bu sebeple, yapılan anket sırasında elektrikli cihazların ve lambaların güç değerleri ve kullanım saatleri; hanehalkının odalarda bulunma saatleri ve bu saatlerde yapılan aktiviteler hakkında bilgiler temin edilmiştir. Bu bilgiler doğrultusunda elektrikli cihazlardan, lambalardan ve hanehalkından kaynaklanan ısı kazancı hesaplanmıştır. Hane sahibi ile yapılan anket EK-2'de verilmiştir.

4.2.2 Meteoroloji Verileri

Bina enerji simülasyon yazılımı ortamında modelin oluşturulması için saatlik kuru termometre sıcaklığı, direkt güneşlenme miktarı, diffuz güneşlenme miktarı, rüzgâr hızı, rüzgâr yönü ve bağıl nem verilerine ihtiyaç duyulmaktadır. Ankara için 2013 yılına ait 15 dakikalık iklim verileri Hacettepe Meteoroloji İstasyonu'ndan [11] temin edilmiştir. Bu veriler her saat için 15 dakikalık 4 verinin aritmetik ortalaması alınarak saatlik verilere dönüştürülmüştür. Aynı veriler saatlik olarak Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden de talep edilmiş [75], iki veri dosyası kıyaslanarak Hacettepe Meteoroloji İstasyonu'ndan elde edilen verilerin doğruluğu teyit edilmiştir.

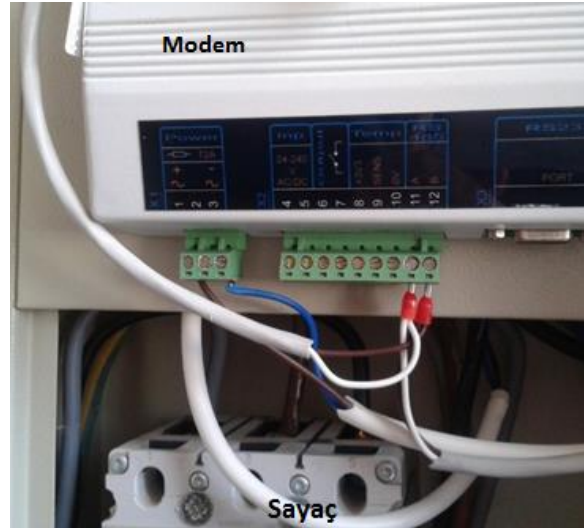
Senaryolarda ise elde edilecek enerji tasarrufunun gerçeğe daha yakın olması amacı, simülasyon sırasında iklim verisi olarak ABDEB web sitesinden temin edilen [76] Ankara için 18 yıla ait iklim verileri kullanılarak hesaplanan normal iklim verileri kullanılmıştır.

4.2.3 Enerji Tüketimi Ölçüm Verileri

Konutta doğalgaz tüketimi günlük ve elektrik tüketim saatlik olarak ölçülmüş ve bir yıllık tüketim verisi elde edilmiştir.

4.2.3.1 Elektrik Tüketimi Ölçüm Verileri

Konutun saatlik elektrik tüketimi Mikrodizayn [77] firmasından alınan uzaktan sayaç okuma sistemi ile saatlik olarak okunmuştur. Uzaktan sayaç okuma sistemi, kullanıcıya internet üzerinden WEB tabanlı sayaç izleme imkânı sunmaktadır. Uzaktan sayaç okuma sistemine ait modemün konutun elektrik sayacına bağlantısı Şekil 4-2'de gösterilmiştir.



Şekil 4-2 Uzaktan sayaç okuma sistemi ile konutun elektrik sayacı arasındaki bağlantı

4.2.3.2 Doğalgaz Tüketimi Ölçüm Verileri

Doğalgaz tüketim verilerinin saatlik ölçülebilmesi için konutun ana doğalgaz borusuna takılacak ölçüm cihazına izin alınması amacı ile Başkent Doğalgaz ile

görüşmeler yapılmıştır. Doğalgaz borusunda oluşabilecek sızıntı ihtimali sebebi ile Başkent Doğalgaz bu ölçüm yönteminin tehlikeli olabileceği sonucuna varmıştır. Olabilecek tehlikeleri engellemek amacı ile ölçümün herhangi bir cihaz kullanmadan okunarak not alınması ile yapılmasına karar verilmiştir. Bu sebeple doğalgaz verileri bir yıl boyunca her gün aynı saatte okunarak günlük veriler elde edilmiştir.

Konutta ölçülen günlük doğalgaz bilgisi ısıtma, yemek pişirme ve sıcak su temin etme amacı ile tüketilen doğalgaz miktarını vermektedir. Ancak konutta ısıtma amaçlı ve sıcak su temin etme amaçlı tüketilen doğalgaz miktarlarının ayrı ayrı belirlenmesi gerekmektedir. Bunun nedeni ise bina enerji simülasyon yazılımı ile konutun sadece ısıtma amacı ile enerji talebi tahmininin yapılmasıdır ve modelin kalibre edilebilmesi için konutta ölçülen günlük ısıtma amaçlı enerji tüketiminin bilinmesi gerekmektedir.

Aynı zamanda, güneş enerjisi ile sıcak su temini senaryosunda konutta tüketilen sıcak su miktarı bilgisine ihtiyaç duyulmakta ve güneş enerjisi sisteminin kapasitesi de konutta tüketilen sıcak suyun miktarına göre belirlenmektedir. Bu sebeple konutta tüketilen sıcak suyun miktarının belirlenmesi gerekmektedir. Konutta ölçülen doğalgaz tüketimi içerisinde ısıtma, sıcak su temin etme ve yemek pişirme amacı ile kullanılan doğalgazın miktarının ayrı ayrı belirlenebilmesi için aşağıdaki yöntemler kullanılmıştır.

- Yemek Pişirme Amaçlı Enerji Tüketimi Hesabı

Model konutta yemek pişirme amaçlı doğalgaz tüketiminin yaklaşık altı kişilik konutla aynı olacağı varsayılarak, sadece yemek pişirme amaçlı doğalgaz kullanan altı kişinin ikamet ettiği başka bir konutta doğalgaz ölçümü yapılmıştır. Yapılan doğalgaz ölçümü sonucunda yemek pişirme amacı ile günlük ortalama doğalgaz tüketimi temin edilmiş, elde edilen sonuç kısım 5.1.3.1’de verilmiştir.

- Sıcak Su Temin Etmek Amaçlı Enerji Tüketimi Hesabı

Bu çalışmada konutun ısıtılmadığı ve hanehalkının tamamının konutta bulunduğu 2013 yılı Eylül ayında yapılan doğalgaz ölçümünün yemek pişirme ve sıcak su temin etme amacı ile günlük doğalgaz tüketimini verdiği varsayılmıştır. 1-30 Eylül tarihleri

arasında ölçülen doğalgaz tüketimi Şekil 5-4'de gösterilmiştir. Bir önceki bölümde açıklanan yöntemle elde edilen yemek pişirme amaçlı günlük doğalgaz tüketim değeri Eylül ayında ölçülen günlük doğalgaz tüketim değerinden çıkarılarak, günlük sıcak su temin etmek amaçlı doğalgaz tüketim değeri elde edilmiştir. Elde edilen günlük sıcak su temin etme amaçlı doğalgaz tüketimi Eylül ayına aittir. Eylül ayında sıcak su temini için tüketilen doğalgaz miktarı verisi kullanılarak, sıcak su temini için tüketilen enerji miktarı belirlenmiştir. Sıcak su temin etme amaçlı enerji tüketimi Eşitlik 4-1 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$Q_{SS} = DG_{E_{SS}} \times EF_{SS} \times UID \quad 4-1$$

Bu eşitlikte;

- Q_{SS} : Sıcak su temini için tüketilen günlük enerji miktarı, kWh/gün
 $DG_{E_{SS}}$: Eylül ayında sıcak su temini için tüketilen DG miktarı, m³/gün
 EF_{SS} : Sıcak su temini için kullanılan cihazın verimi
 UID : Doğalgaz üst ısı değeri, kWh/m³

Sıcak su temini için tüketilen günlük enerji miktarı hesaplandıktan sonra, bu miktarda enerji ile günlük kaç kg sıcak su tüketildiği hesaplanmıştır. Günlük tüketilen sıcak su miktarının hesaplanabilmesi için şebekeden alınan suyun sıcaklığının bilinmesi gerekmektedir. Şebeke suyunun sıcaklığı yerin 100 cm altında toprak sıcaklığı ile aynı olduğu varsayılmıştır. Yerin 100 cm altında 2013 yılına ait saatlik toprak sıcaklığı verisi Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden [75] temin edilmiştir. Temin edilen saatlik veri kullanılarak Eylül ayına ait günlük ortalama şebeke suyu sıcaklığı hesaplanmıştır. daha sonra, konutta günlük tüketilen sıcak suyun miktarı Eşitlik 4-2 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$m_{SS} = \frac{Q_{SS}}{c \times \Delta T} \quad 4-2$$

Bu eşitlikte;

- m_{ss} :Tüketilen günlük sıcak su miktarı, kg/gün
 ΔT :Sıcak suyun derecesi - Şebeke suyu sıcaklığı, °C
 c :Suyun öz ısı, kWh/kg-°C

Eşitlik 4-2'de hesaplanan m_{ss} , Eylül ayına ait günlük sıcak su tüketimidir. Eylül ayına ait günlük sıcak su tüketiminin ortalaması alınarak günlük tüketilen ortalama sıcak su miktarı hesaplanmıştır. Günlük sıcak su tüketim miktarının yıl boyunca sabit olduğu varsayılmıştır.

Güneşten gelen radyasyon verisinin saatlik olması sebebi ile hesaplamalar saatlik yapılacaktır ve günlük tüketilen toplam sıcak suyun gün içerisindeki dağılımının bilinmesi gerekmektedir. Saatlik sıcak su tüketiminin hesaplanabilmesi için Portekiz'de yapılan bir çalışmada elde edilen saatlik sıcak su kullanım profili kullanılmıştır [78]. Portekiz'e ait mevcut bir sıcak su tüketim profili Şekil 5-5'de verilmiştir. Sıcak su kullanım profilinin yıl boyunca sabit olduğu varsayılmıştır. Saatlik sıcak su kullanım profil bilgileri ve Eşitlik 4-2 ile hesaplanan günlük sıcak su tüketimi kullanılarak, Eşitlik 4-3 ile günün her saati için konutta tüketilen sıcak suyun miktarı hesaplanmıştır.

$$m_{sss_l} = SSKPY_l \times m_{ss} \quad 4-3$$

Bu eşitlikte;

- m_{sss_l} :Tüketilen saatlik sıcak su miktarı, kg/saat
SSKPY_l: Saatlik sıcak su kullanım profili, %
l :Saat

Şebeke suyu sıcaklığının mevsimsel değişiklik göstermektedir. Dolayısıyla aynı miktarda sıcak su temini için talep edilen enerji miktarı da şebeke suyuna bağlı

olarak değişmektedir. Bu sebeple, konutta saatlik sıcak su tüketim miktarı belirlendikten sonra, bu miktarda sıcak suyu temin edebilmek için tüketilen yıllık doğalgaz miktarı Eşitlik 4-4 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$Q_{ssy} = \left(\sum_{i=1}^{8760} (m_{sss} \times c \times \Delta T) \times \frac{1}{AID \times EF_{ss}} \right) \quad 4-4$$

Bu eşitlikte;

Q_{ssy} : Sıcak su temini için talep edilen yıllık DG miktarı, m³/yıl

Eşitlik 4-4'de görüldüğü gibi saatlik sıcak su temin etme amaçlı DG miktarı belirlenmiş ve daha sonra elde edilen veriler toplanarak yıllık sıcak su temini için tüketilen DG miktarı belirlenmiştir. Böylece günlük sıcak su temini için tüketilen DG miktarı da belirlenmiş ve elde edilen sonuçlar kısım 5.1.3.2'de verilmiştir.

- Isıtma Amaçlı Enerji Tüketimi Hesabı

Sıcak su temini ve yemek pişirme amaçlı talep edilen günlük DG miktarı ölçülen günlük doğalgaz tüketim değerinden çıkarılarak, konutun ısıtıldığı her gün için ısıtma amaçlı doğalgaz tüketim bilgisi elde edilmiş, elde edilen sonuç kısım 5.1.3.3'de verilmiştir.

4.2.4 Senaryo Verileri

Pencere camı tipleri, yalıtım malzemeleri, FVP, güneş enerjisi sistemleri ve TKIP hakkında Türkiye'de bulunan malzemelerin senaryoya uygulanması için detaylı bilgi [[79] [80] [81] [82]] firmalardan alınmıştır.

4.3 Modelin Oluşturulması

Bu kısımda binanın bilgisayar ortamında modelinin oluşturulması sırasında izlenen adımlarda uygulanan yöntemler detaylı olarak açıklanmıştır.

4.3.1 Geometrik Modelin Oluşturulması

Konutun bilgisayar ortamında oluşturulan ısıtma talebi modeli bina enerji simülasyon yazılımını kullanarak yapılmıştır. İlk olarak konutun mimari çizim verileri kullanarak geometrik model oluşturulmuştur. Geometrik model oluşturulurken odaların tutulduğu sıcaklık derecesine göre konut bölgelere ayrılmıştır. Geometrik modelin oluşturulmasından sonra, binanın inşasında kullanılan malzeme verilerinden yararlanılarak, mevcut yazılımda bulunmayan fakat konutun inşasında kullanılan malzemeler ve yapılar modele eklenmiştir.

4.3.2 İklim Verisinin Eklenmesi

Ankara Beytepe'de bulunan ölçüm istasyonunda 2013 yılında ölçülen 15 dakikalık iklim verisi saatlik veriye dönüştürölüp, modele girilmiştir.

4.3.3 Isı kazançlarının Hesaplanması

Bir sonraki aşamada konutta ısı kazancına sebep olan ve ortam sıcaklığını yükselten elektrikli cihazlar, lambalar ve hanehalkı için oluşturulan ısı kazanç verileri modele eklenmiştir.

4.3.3.1 Hanehalkından Kaynaklanan Isı Kazancı Hesabı

Farklı aktiviteler için hanehalkından kaynaklanan ısı kazancı, Eşitlik 4-5 ve Çizelge 5-4'da bulunan veriler kullanarak hesaplanmış, toplam ısı kazancı miktarı Çizelge 5-5'de verilmiştir.

$$KSKIK = IK \times KS \times BS$$

4-5

Bu eşitlikte;

KSKIK : Hanehalkından kaynaklanan ısı kazancı, Wh

IK :Isı kazancı, W/kişi

KS :Kişi sayısı

BS :Bulunma süresi, saat

4.3.3.2 Aydınlatmadan Kaynaklanan Isı kazancı Hesabı

Aydınlatmadan kaynaklanan ısı kazancı, Çizelge 5-2'de bulunan konutta kullanılan lambaların güç değerlerinin, kullanım saatleri belirtilerek bina enerji simülasyon yazılımına girilmesiyle bina enerji simülasyon yazılımı tarafından hesaplanmıştır.

4.3.3.3 Elektrikli Cihazlardan Kaynaklanan Isı kazancı Hesabı

Elektrikli cihazların bir kısmından kaynaklanan ısı kazancı hem duyulur hem de gizli ısı kazancıdır (çay makinası, buharlı ütü vb.). Konutta yapılan incelemeler sonucunda elektrikli cihazların güç değerleri okunmuş ve ısı kazanç çizelgesi Çizelge 5-7'de verilmiştir. Kullanım ve ışınım değeri bilinmediği durumlarda duyulur ve gizli ısı kazancı değerleri, katalog değerlerinin %50'si olarak alınabilir [83]. Bu sebeple bu çalışmada hem duyulur hem gizli ısı kazancına sebep olan cihazların % 50 duyulur, % 50 gizli ısı kazancına sebep olduğu varsayılmıştır. Gücü P ve verimi EF olarak bilinen bir cihazdan ısı kazancı eşitlik 4-6 ile hesaplanır.

$$CKIK = P \times CKS \times EF$$

4-6

Bu eşitlikte;

CKIK :Cihazlardan kaynaklanan ısı kazancı, Wh

P :Cihazın gücü, W

CKS :Cihazın kullanım süresi, saat

EF :Cihazın verimi

4.3.4 Isıtma Sistemi

Geometrik model oluşturulduktan ve modele veri girişi tamamlandıktan sonra, konutta farklı sıcaklıkta tutulan bölgeler için farklı kontrol döngüleri tanımlanmıştır. Daha sonra konutun ısıtma sistemi oluşturulmuştur.

4.3.5 Hava Akış Ağı

Konutta pencere ve kapı arasındaki boşluklardan ve açılıp kapanan kapılardan giren havanın ısıtma talebine olan etkisini eklemek için mevcut yazılım kullanılarak hava akış ağı tanımlanmış ve konutun modeli tamamlanmıştır.

4.3.6 Isınma Amaçlı Doğalgaz Talebinin Hesaplanması

Model tamamlandıktan sonra, bina enerji simülasyon yazılımı ile bir yıl için saatlik ısıtma amacı ile enerji talebi verileri elde edilmiştir. Bina enerji simülasyon programında oluşturulan modelde, konutun ısıtma talebi (MJ bazında) hesaplandıktan sonra, bu miktarda enerji üretebilmek için gerekli doğalgaz miktarının hacmi (m^3 bazında), kombinin yoğuşmalı olması sebebi ile doğalgazın üst ısı değerini (UID, kWh/m^3) ve konutta kullanılan kombini verimi göz önüne alınarak hesaplanmıştır.

4.3.7 Modelin Kalibre Edilmesi

Konutta ölçülen doğalgaz tüketimi içerisinde konutun ısıtılması amaçlı kullanılan DG miktarı kısım 4.2.3.2'de açıklandığı gibi hesaplanmıştır. Model tamamlandıktan sonra ise bina enerji simülasyon programı tarafından tahmin edilen konutun ısıtma talebi verisi elde edilmiştir.

Konuta doğal havalandırma yoluyla giren hava miktarı modelde varsayılan tek değerdir. Bu sebeple, simülasyon sonucunda elde edilen ısıtma talebi tahmininin konutun ısıtma amaçlı doğalgaz tüketimine en yakın olduğu havalandırma miktarı konutun havalandırılması olarak kabul edilmiş ve bu yöntemle konutun havalandırma miktarı tespit edilmiştir. Tespit edilen havalandırma miktarı ile yapılan simülasyon sonucunda konutun ısıtma talebi tahmini belirlenmiştir. Modeli kalibre etmek amacı ile verilerin analizi için uygulanan yöntemler EK-3'de detaylı olarak açıklanmıştır.

4.4 Senaryoların Uygulanması

Konutlarda enerji tasarrufu elde etmeyi amaçlayan yöntemlerin araştırıldığı birçok çalışma mevcuttur ([40], [41]). Bu çalışmaların bir kısmında senaryoların uygulanması ile elde edilecek sera gazı salımındaki azalmalar da hesaplanmıştır ([43], [59], [44], [84]). Bu sebeple bu çalışmada konutun modeli oluşturulduktan sonra enerji tüketimini azaltmak için farklı senaryolar uygulanmıştır. Uygulanan senaryolar konutun fiziksel yapısında iyileştirmeleri öngören ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılmasını öngören senaryolar olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Daha sonra bu senaryolar ile elde edilecek sera gazı salımındaki azalmalar hesaplanmıştır. Son olarak da bu senaryoların ekonomik analizi yapılarak, senaryoların uygulanabilirliği araştırılmıştır.

4.4.1 Konutun Fiziksel Yapısında İyileştirmeler Yapan Senaryoların Uygulanması

Bu kısımda konutun enerji tüketimini azaltmak için, fiziksel yapısında iyileştirmeleri öngören senaryolar açıklanmıştır.

4.4.1.1 Pencere İzolasyonunun İyileştirilmesi

Konutlarda pencere camında yapılacak iyileştirmenin ısıtma ve soğutma yüküne etkisini inceleyen birçok çalışma yapılmıştır ([70], [10], [42]). Bu çalışmalarda pencere cam sayısı, cam yönü ve cam kaplamasının enerji tüketiminde oldukça etkili olduğu görülmüştür. Bu sebeple bu çalışmada da pencere camlarının izolasyonunun iyileştirilmesi senaryoları uygulanmıştır.

Pencere camında ısı yalıtımını etkileyen üç ana faktör vardır;

- Ara boşluk genişliği:

Birden çok cam içeren pencerelerde, pencere camları arasındaki boşluğun genişliği standart olarak 6-16 mm arasında değişmektedir. Ara boşluk genişliği 6 mm'den başlayarak 16 mm'e doğru arttıkça çift cam ünitesinin yalıtım değeri de artmaktadır.

- Ara boşluk gaz dolgusu:

Standart olarak kuru havadır. Hava yerine ara boşluğa doldurulan Argon gibi ağır gazlar çift cam ünitesinin yalıtım değerini artırır.

- Cam üzerine uygulanan kaplamanın yayınım (emissivity) değeri:

Yayınım(ϵ) bir cisim üzerinden elektromanyetik yolla enerji transferinin ölçüsüdür. Yayınım değeri teorik olarak 0 ile 1 arasında değişir. “Mutlak siyah” cisimlerin yayınım değeri 1’dir. Düşük yayınım daha iyi yalıtım demektir. Camın yayınım değerinin azaltılması ve dolayısıyla da ısı transferinin yavaşlatılması cam üzerine yapılan low E kaplamalar ile sağlanır [85].

Bu çalışmada, mevcut cam arasındaki boşluğun aralık uzunluğunun artırılması, cam boşluğunda farklı gaz kullanılması ve çift cam yerine üçlü cam kullanılması durumlarında oluşan enerji tüketimleri belirlenerek elde edilecek enerji tasarrufları hesaplanmıştır. Pencere camı üzerine uygulanan kaplama senaryosu yapılmamıştır.

4.4.1.2 Dış Duvar Yalıtım Malzemesinin İyileştirilmesi

Konutlarda dış duvar yalıtımının ısıtma yüküne etkisini inceleyen birçok çalışma yapılmıştır ([67], [68]). Bu çalışmalarda binanın dış duvarında yapılacak yalıtımın/iyileştirmenin ısıtma yükünde oldukça etkili olduğu görülmüştür. Model konutun dış duvarında yalıtım mevcuttur. Bu sebeple, mevcut yalıtımın iyileştirilmesi senaryosu uygulanmıştır.

Konutta mevcut yalıtımın kalınlığının artırılması ve ısı iletkenlik katsayısı daha düşük bir malzeme kullanılması durumunda oluşan enerji tüketimi hesaplanmıştır.

4.4.1.3 Çatı Yalıtım Malzemesinin İyileştirilmesi

Konutlarda çatı yalıtımının ısıtma ve soğutma yüküne etkisini inceleyen birçok çalışma yapılmıştır ([62], [63], [68], [65] [66]). Bu çalışmalarda binanın çatısında yapılacak yalıtım ve renk değişikliğinin ısıtma ve soğutma yükünde oldukça etkili olduğu görülmüştür. Model konutta soğutma olmaması ve çatıda yalıtımın bulunmaması sebebi ile, çatıya yalıtım uygulanması senaryosu öngörülmüş, çatıya yalıtım yapılması durumunda enerji tüketimi hesaplanmıştır [86].

4.4.1.4 Yapısal Senaryoların Birlikte Uygulanması

Yapısal iyileştirme senaryoları tek tek uygulandıktan sonra, enerji tasarrufu en yüksek olan pencere, çatı ve dış duvar senaryosu modele aynı anda uygulanarak konutun enerji tüketimi hesaplanmıştır.

4.4.2 Konutta Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Kullanılmasını Öngören Senaryoların Uygulanması

Bu kısımda konutun enerji tüketimini azaltmak için yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılmasını öngören senaryolar açıklanmıştır.

4.4.2.1 Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Teknolojik Değerlendirilmesi

Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyeli sebebi ile konutta Fotovoltaik Panel (FVP) ile elektrik üretimi ve güneş enerjisi ile sıcak su temini senaryoları uygulanmıştır.

Ayrıca, konutun ısıtma sistemi Toprak Kaynaklı Isı Pompası (TKIP) kullanılarak modellenmiştir.

Ankara'nın rüzgâr potansiyelinin düşük olması sebebi ile elektrik üretimi için rüzgâr enerjisi kullanmanın anlamlı olmayacağı düşünülmüştür.

4.4.2.2 Fotovoltaik Panel

Bina enerji simülasyon yazılımı kullanarak konutlarda FVP kullanılmasını öngören birçok çalışma vardır. Bu çalışmaların bazılarında FVP'in yönünün elektrik üretimine etkisi incelenmiş([32], [34], [36]), bazılarında ise kullanılan FVP'in yapısı incelenmiştir. Bu çalışmada, FVP konutun güneydoğu ve güney batıya bakan çatısına yerleştirilmiş, güneydoğu ve güney batıya bakan çatılardaki FVP'lerin ürettiği elektrik iki yön için ayrı ayrı hesaplanmış, daha sonra da toplam elektrik üretimi hesaplanmıştır. Fotovoltaik sistemlerin performansına sistemin yaşının etkisinin incelendiği bir çalışmada, literatürden toplanan yaklaşık 2000 değerlerin ortalama değeri fotovoltaik performansının % 0,5 azalma olacağı görülmüştür [87]. Bu sebepten bu çalışmada FVP'in performansının her yıl % 0,5 azalacağı varsayılmıştır.

Güneş panelleri genel olarak monokristal, polikristal ve ince film teknolojisi olmak üzere 3'e ayrılırlar [88]. Bu çalışmada fiyatının monokristal panele göre daha uygun

olması ve kar gibi dış etkilerden monokristale göre daha az etkilenmesi sebebi ile [89] 80-Watt polikristal FV modülü modele uygulanmıştır. Fotovoltaik sistemin parçaları hakkında detaylı bilgi EK-4'de verilmiştir.

İlk olarak, mevsimlere göre ve günün saat aralıklarında elde edilecek enerji üretiminin tüketim içindeki payının belirlenmesi amacı ile konutta yıllık elektrik tüketimi bir yıl boyunca saatlik olarak ölçülmüştür. Daha sonra oluşturulan model üzerinde, konutun güneydoğu ve güneybatıya bakan çatılarına FVP eklenmesi durumunda oluşacak elektrik üretimi bina enerji simülasyon programı kullanılarak hesaplanmıştır.

Şebekeye bağlı FVP sistemlerinde EnerjiSA ve TEDAŞ proje onayı gerekmekte ve bu hizmetin proje maliyeti yaklaşık 7000 € [90]'dur. Bu sebeple bu çalışmada şebekeden bağımsız sistem kullanılmasına karar verilmiştir. Şebekeden bağımsız sistemler proje onay gerektirmemektedir. Buna ek olarak, şebekeden bağımsız (akülü) sistemler hem sürekli güç kaynağı olabilmekte hem de her hangi bir anahtara gerek duymadan yönlendirmeyi otomatik yaparak yüksek tüketimde şebekeden elektrik alabilmektedir [90].

4.4.2.3 Güneş Enerjisi ile Su Isıtma Sistemi

Güneş enerjisinin kullanıldığı alanlardan birisi de akışkan ısıtmasıdır. Bu akışkanların başında su, hava ve yağ gelir. Ülkemizde en yaygın kullanım alanı ise sıcak su üretimidir. Güneş enerjisi ile su ısıtma sistemleri (GESIS), hazırlanacak suyun kullanım yerine, suyun ısıtılma şekline ve sistemdeki suyun dolaşımına göre değişiklik gösterirler. Güneşten gelen radyasyonun suya aktarımı ise düz yüzeyli panel veya vakum tüplü kolektörler ile yapılabilmektedir [91].

GESIS parçaları hakkında detaylı bilgiler EK-6'de yer almaktadır. Çizelge EK-6 1'de GESIS'lerinin avantaj ve dezavantajlarından bahsedilmiştir. Çizelge EK-6 1'de yer alan bilgiler doğrultusunda; konutun don tehlikesi olan bir bölgede yer alması sebebi ile zorlanmış dolaşımli sisteme sahip olması gerekmektedir. Buna ek olarak, vakum tüplü güneş enerjili su ısıtma sistemleri panel kollektörlü sistemlere göre daha pahalıdır ve bulutlu havalarda/kış aylarında yüksek verim beklentisi gerçekleşmemektedir. Bu sebeplerden dolayı bu çalışmada, konutun ihtiyacı olan sıcak su miktarını karşılayabilmesi amacı ile 1000 litre depo hacime sahip, suyun

dolaşımını zorlanmış (pompa) dolaşımli sistemle sağlayan, 10 adet panel kolektörlü GESIS kullanılmasına karar verilmiştir.

Konutun sıcak su tüketim miktarı ve sıcak su temini için tüketilen günlük enerji miktarı kısım 4.2.3.2'de açıklanan yöntemle hesaplanmıştır. Daha sonra, yapılan hesaplamalar doğrultusunda konutun sıcak su ihtiyacını karşılayacak kapasitede GESIS için fiyat teklifi alınmıştır. Alınan teklif EK-5'de yer almaktadır.

GESIS'in enerji üretiminin, talebin ne kadar kısmını karşıladığının tespit etmek amacı ile GESIS'in üreteceği enerji Eşitlik 4-7 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$E_{\text{GESIS}} = GR \times EF_{\text{GESIS}} \times KA \quad 4-7$$

Bu eşitlikte;

E_{GESIS} :GESIS'in üreteceği günlük enerji miktarı, kWh/gün

GR :Güneşten gelen günlük radyasyon, kWh/gün-m²

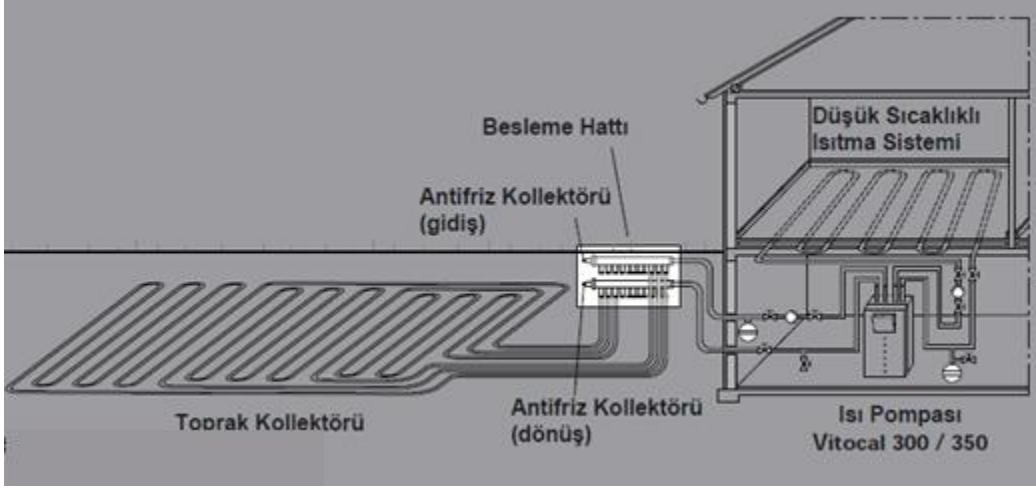
EF_{GESIS} :GESIS'in verimi

KA :Kolektör alanı, m²

Son olarak konutun sıcak su temini için günlük enerji ihtiyacı ile GESIS'in üreteceği enerji miktarı kıyaslanarak, sistemin talebi ne kadar karşıladığı tespit edilmiştir.

4.4.2.4 Toprak Kaynaklı Isı Pompası

Isı pompaları ısıyı düşük sıcaklıktaki ısı kaynağından yüksek sıcaklıktaki ısı kaynağına aktarırlar. Toprağın iki metre altında tüm yıl boyunca toprak ısı 7-13°C arasında sabit bir sıcaklığa sahiptir ve toprak yüzeyinden beş metre derine kadar olan tabaka ısı kaynağı olarak kabul edilir [92]. Yatay toprak kolektörleri veya dikey sondajlar bu depolanan enerjiyi antifriz-su karışımı ile ısı pompasının buharlaştırıcısına getirirler. Şekil 4-3'de toprak kolektörleri ile ısı çekilen TKIP sistemi görülmektedir.



Şekil 4-3 Toprak kolektörleri ile ısı çekilmesi [92]

Şekil 4-3'de görülen sistem yatay kolektörlü bir sistemdir. Dikey kolektörlü sisteme kıyasla dezavantajı kolektörlerin yerleştirilebileceği geniş bir alana ihtiyaç duyması, avantajı ise dikey kolektörlü sisteme göre fiyatının daha uygun olmasıdır [93].

Bu çalışmada, dikey kolektörlü sistemin fiyatının çok yüksek olması sebebi ile kullanılmamıştır. Yatay kolektörlü sistem ise konutun ısıtma talebini karşılayabilecek genişlikte kolektörlerin yerleştirileceği bahçe alanı bulunmamasından dolayı konuta uygulanamamaktadır. Bu çalışmada yeterli bahçe alanının olduğu varsayılarak teorik olarak yatay kolektörlü TKIP uygulanmıştır.

ESP-r ortamında oluşturulan konutun modelinin ısıtma sisteminin TKIP olarak değiştirilmesi ile konutun ısıtma talebi tekrar hesaplanmıştır.

En düşük sıcaklığın $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ olması durumunda konutun ısı yükü 32 kW olarak hesaplanmıştır. Konutun ısıtma ihtiyacını karşılayabilmesi açısından 29,9 kW kapasitede ve tesir katsayısı 4,4 olan TKIP için fiyat alınmış ve TKIP ESP-r bina enerji simülasyon programında modellenmiştir. Bu verilerle oluşturulan modelde konutun ısıtma sistemi TKIP olarak tanımlanmış ve konutun ısıtma amaçlı enerji tüketimi tekrar hesaplanmıştır.

4.5 Senaryo Sonuçları Analizleri

Konutta uygulanan senaryolar ile doğalgaz ve elektrik tüketiminde tasarruflar sağlanmıştır. Bu tasarruflar doğrultusunda; enerji tasarruf miktarı (kWh, $\text{m}^3/\text{yıl}$), CO_2

salımındaki azalma (kg/yıl) ve tasarrufun ekonomik analizi için kullanılan yöntemler bu kısımda açıklanmıştır.

4.5.1 Enerji Tasarrufu

Kısım 4.4'de, senaryoların uygulanması durumunda konutta tüketilecek enerji miktarlarının hesaplanması açıklanmıştır. Senaryoların uygulanması ile elde edilen enerji tasarrufu, her senaryo için konutta senaryo uygulandıktan sonra tüketilen enerji, orijinal halinde tüketilen enerjiden çıkartılarak hesaplanmıştır.

Elektrik tüketiminde tasarruf (kWh/yıl) elde edilmesini hedefleyen çatıya FVP eklenmesi senaryosu ile elde edilen enerji tasarrufu, panelin ürettiği elektrik miktarının bina enerji simülasyon programı ile hesaplanması ile elde edilmiştir.

4.5.2 CO₂ Salımı Azalması

CO₂ salımındaki azalma (kg/yıl); doğalgaz tüketiminde azalmayı sağlayan senaryolar için doğalgaz özel salım faktörü (DSF), elektrik tüketiminde azalma sağlayan FVP senaryosu için Çizelge 5-10'den hareketle hesaplanan elektrik için salım faktörü (ESF) kullanılarak hesaplanmıştır.

Senaryoların uygulanması ile elde edilen enerji tasarrufu miktarı simülasyon sonuçları ile hesaplanmıştır. CO₂ salımındaki azalma miktarı enerji tasarrufu ve kısım 5.2'de hesaplanan salım faktörü kullanılarak Eşitlik 4-8 ile hesaplanmıştır.

$$CSA_i = ET_i \times SF_e \quad 4-8$$

Bu eşitlikte;

- CSA_i :CO₂ salımındaki azalma, kg/yıl
ET :Enerji tasarrufu, m³/yıl, kWh/yıl
i :Senaryo tipi
SF :Salım faktörü, kg-CO₂/m³,kg-CO₂/kWh
e :Enerji tipi, Elektrik-doğalgaz

4.5.3 Ekonomik Analiz

Bu kısımda, senaryolardan elde edilen tasarrufun ekonomik analizi, yapısal iyileştirmeler yapılması ve yenilenebilir enerji kaynakları kullanılması olmak üzere iki başlık altında incelenmiştir.

Senaryoların geri ödeme sürelerinin hesaplanması için ilk olarak mevcut yapıların ve kullanılması öngörülen yapıların mali değeri firmalardan talep edilmiştir. Konutta enerji tüketim ölçümleri 2013 yılının sonunda tamamlanmıştır. Bu sebeple firmalardan fiyat teklifleri 2014 yılında alınmıştır. Firmalardan alınan tekliflerden uygun görülen teklifler baz alınarak senaryonun maliyet değeri elde edilmiştir. Uygulanması öngörülen senaryolardan pencere camı ve dış duvar yalıtımının iyileştirilmesi senaryoları konutta halihazırda bulunan senaryolardır. Konutun ısıtma talebi mevcut pencere camı ve dış duvar yalıtımı ile hesaplanmıştır. Bu sebeple bu senaryolarda, senaryo maliyetinden mevcut yapının maliyeti çıkarılarak senaryo maliyeti elde edilmiştir.

GÖS'nin hesaplanmasında gelecek yılların elektrik ve doğalgaz fiyat bilgisi gerekmektedir. Son sekiz yıla ait elektriğin ve son on yıla ait doğalgazın konutlara satış fiyatı verileri Şekil 5-19 ve Şekil 5-20'de verilmiştir. Bu şekillerde verilerin eğim çizgisi denklemi kullanılarak önümüzdeki yıllara ait elektrik ve doğalgaz fiyat verisi tahmini de yapılmıştır.

4.5.3.1 Yapısal İyileştirmelerde Ekonomik Analiz

Yapısal iyileştirilmenin öngörüldüğü senaryolarda, ekonomik analiz konutun orijinal halinde kullanılan malzemenin 2014 yılı maliyeti ile senaryoda kullanılması öngörülen malzemelerin fiyatı ve elde edilen enerji tasarrufu göz önüne alınarak yapılmıştır.

Yapısal iyileştirilmenin öngörüldüğü senaryolarda maliyet çözümlemesi; yatırım maliyetinde elde edilen kar ve GÖS olmak üzere iki başlık altında incelenmiştir.

- Yatırım Maliyeti

Yatırım maliyetinin belirlenmesi için her bir malzeme grubu için firmalardan temin edilen fiyatlar EK-5'de yer almaktadır.

- Net Bugünkü Değer ve Geri Ödeme Süresi

Senaryoda kullanılması öngörülen yapı ile konutta mevcut olan yapının şu anki maliyeti ve iki durumda tüketilen enerji miktarları göz önüne alınarak GÖS hesaplanmıştır. GÖS'nin hesaplanması için öncelikle yıllık Net Nakit Akışı (NNA) hesaplanmalıdır. Yıllık NNA Eşitlik 4-9 ile hesaplanmıştır.

$$NNA_j^{yi} = OYYET_j - SYYET_j \quad 4-9$$

Bu eşitlikte;

NNA_j^{yi} :Belirli bir yılda yapısal iyileştirme senaryosu için net nakit akışı, TL/yıl

j :Yıl

yi :Yapısal iyileştirme senaryosu

OYYET :Oriijinal yapı ile yıllık enerji tüketim maliyeti, TL/yıl

SYYET :Senaryolu yapı ile yıllık enerji tüketim maliyeti, TL/yıl

Net Bugünkü Değer (NBD) ve GÖS Eşitlik 4-13 kullanılarak hesaplanmıştır.

4.5.3.2 Yenilenebilir Enerji Kaynaklarında Ekonomik Analiz

Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılmasının öngörüldüğü senaryolarda maliyet çözümlenmesi; yatırım maliyeti, güç üretim maliyeti ve GÖS olmak üzere üç başlık altında incelenmiştir.

Yatırım maliyetinin hesaplanmasında kullanılan FVP, GESIS ve TKIP sistemlerine ait firmalardan temin edilen fiyat teklifleri EK-5'de yer almaktadır.

NBD, sistemin kendisini ne kadar sürede geri ödeyeceği hesaplanmasında kullanılan başlıca ölçüttür.

Yatırım maliyetinden, sistemin NNA her işletim dönemi için çıkartılarak NBD hesaplanabilir. NBD'in pozitif olduğu durumda sistem kendisini geri ödemiştir.

İlgilenilen yıl (j) için NNA, sistemin ürettiği enerji sayesinde kazanılan para ile sistem için harcanan paradan arda kalan miktardır. Fotovoltaik sistem için NNA Eşitlik 4-10 ile hesaplanabilir.

$$NNA_j^{fv} = NG_j^{fv} - N\mathcal{C}_j^{fv} = (f_{e,j}(E_{fv} - E_{fvk})) \quad 4-10$$

Bu eşitlikte;

- NNA_j^{fv} :Belirli bir yılda FVP senaryosu için net nakit akışı, TL/yıl
 NG_j^{fv} :Belirli bir yılda FVP senaryosu için nakit girişi, TL/yıl
 $N\mathcal{C}_j^{fv}$:Belirli bir yılda FVP senaryosu için nakit çıkışı, TL/yıl
j :Yıl
fv :Fotovoltaik panel senaryosu
 f_e :Elektrik satış tarifesi, TL/kWh
 E_{fv} :FVP tarafından üretilen elektrik, kWh/yıl
 E_{fvk} :FVP'in kendisi için kullandığı elektrik miktarı, kWh/yıl

TKIP için NNA Eşitlik 4-11 ile hesaplanabilir.

$$NNA_j^{TKIP} = NG_j^{TKIP} - N\mathcal{C}_j^{TKIP} = (E_K \times DF_j) - (E_{TKIP,k} \times f_{e,j}) \quad 4-11$$

Bu eşitlikte;

- NNA_j^{TKIP} :Belirli bir yılda TKIP senaryosu için net nakit akışı, TL/yıl
 NG_j^{TKIP} :Belirli bir yılda TKIP senaryosu için nakit girişi, TL/yıl
 $N\mathcal{C}_j^{TKIP}$:Belirli bir yılda TKIP senaryosu için nakit çıkışı, TL/yıl
j :Yıl

- E_k :Konutta TKIP kullanmadan önce, konut kombi ile ısıtılırken ısıtma için enerji talebi, m³/yıl
 DF :Doğalgaz fiyatı, TL/m³
 $E_{TKIP,k}$:TKIP'nın kendisi için kullandığı elektrik, kWh/yıl
 f_e :Elektrik satış tarifesi, TL/kWh

Sıcak su üreten güneş enerjisi sistemi için NNA Eşitlik 4-12 ile hesaplanabilir.

$$\begin{aligned} NNA_j^{GESIS} &= NG_j^{GESIS} - NÇ_j^{GESIS} \\ &= (SSTD \times DF_j) - (SIM_j^{GESIS} + (DG_{gey} \times DF_j)) \end{aligned} \quad 4-12$$

Bu eşitlikte;

NNA_j^{GESIS} :Belirli bir yılda GESIS Senaryosu için net nakit akışı, TL/yıl

NG_j^{GESIS} :Belirli bir yılda GESIS Senaryosu için nakit girişi, TL/yıl

$NÇ_j^{GESIS}$:Belirli bir yılda GESIS Senaryosu için nakit çıkışı, TL/yıl

j :Yıl

DF :Doğalgaz Fiyatı, TL/m³

$SSTD$:Mevcut durumda sıcak su için tüketilen doğalgaz miktarı, m³/yıl

SIM_j^{GESIS} :Sistem İşletim maliyeti, TL/yıl

DG_{gey} :Güneş enerjisi yetersiz iken sıcak su temini için doğalgaz tüketimi, m³/yıl

Faiz değerinin yıllar bazında sabit kalması durumunda [94] NBD'i Eşitlik 4-13 ile hesaplanabilir.

$$\begin{aligned} NBD &= \frac{NNA_1}{(1 + nf)} + \frac{NNA_2}{(1 + nf)^2} \dots + \frac{NNA_N}{(1 + nf)^N} \\ &= \sum_{j=1}^N \frac{NNA_j}{(1 + nf)^j} \end{aligned} \quad 4-13$$

Bu eşitlikte;

- NBD :Net Bugünkü Değer, TL
NNA_j :Belirli bir yılda net nakit akışı, TL/yıl
nf :Nominal faiz
j :Yıl
N :Sistemin işletim süresi, yıl

NBD'nin pozitif değer almasını sağlayan en düşük j değeri, Geri Ödeme Süresi (GÖS) olarak tanımlanır [94].

4.6 Konutun Enerji Kimlik Belgesinin Belirlenmesi

Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği'nde [54] Birincil Enerji Tüketimlerine Göre Enerji Sınıfı (EP) ve Nihai Enerji Tüketimlerine Göre Sera Gazı Emisyon Sınıfı (SEG) değerleri mevcuttur. Bu veriler kullanılarak, 2013 yılı enerji tüketimi belirlenen konutun enerji sınıfı ve sera gazı emisyon sınıfı belirlenmiştir. Daha sonra uygulanacak senaryolar sonucunda her senaryo için konutun yeni enerji sınıfı ve sera gazı emisyon sınıfı belirlenmiştir.

4.7 Senaryo Sonuçlarının Genelleştirilmesi

Ankara'da 2015 yılı Mayıs ayı itibari ile Enerji Kimlik Belgesi (EKB) bulunan konutlardan her enerji sınıfında bulunan konut sayısı Çevre ve Şehircilik bakanlığından sözlü görüşme ile temin edilmiş ve bu veriler Çizelge 5-22'de verilmiştir. Daha sonra, EKB bulunan konutların her enerji sınıfı için oranı belirlenmiş ve bu oran yine Çizelge 5-22'de verilmiştir.

Ankara'da 2005 yılından sonra yapılan müstakil bir daireli konutların toplan alanı TUIK'den temin edilmiştir. Toplam müstakil bir daireli bina alanı her enerji sınıfı için Çizelge 5-22'de hesaplanan oranlar kullanılarak bölünmüştür. Böylece 2005 yılından sonra yapılan bir daireli binaların her enerji sınıfı için alan dağılımı hesaplanmıştır.

Daha sonra her senaryo için elde edilen enerji kazancı konutun toplam alanına bölünerek her senaryo için metre kare başına yıllık enerji kazancı hesaplanmıştır. Bu veriler kullanılarak, 2005 yılından sonra yapılan bir dairesel binalardan model konut ile aynı enerji sınıfına sahip olan konutlara uygun görülen senaryoların uygulandığı varsayılmıştır. Konutun enerji sınıfı ile aynı enerji sınıfında olan toplam bir dairesel bina alanı, metre kare başına enerji tasarrufu ile çarpılmıştır. Böylece senaryoların Ankara ilinde bulunan model konut ile aynı enerji sınıfında olan bir dairesel müstakil konutlara uygulanması ile elde edilebilecek toplam enerji tasarrufu ve CO₂ salımındaki azalma hesaplanmıştır.

4.8 Bölüm Sonucu

Bu bölümde, ilk olarak çalışmada kullanılan konutun seçilmesi, modellemede kullanılacak verilerin belirlenmesi ve temin edilmesi sırasında izlenen yöntemler açıklanmıştır. Daha sonra konutun ısıtma talebinin modellenirken izlenen adımlar sırasıyla (geometrik modelinin oluşturulması, iklim verilerinin ve ısı kazançlarının modele eklenmesi, konutun ısıtma sistemi ve hava akış ağının oluşturulması) açıklanmıştır. Model tamamlandıktan sonra ise modele hangi senaryoların nasıl uygulandığı ve senaryolardan elde edilen enerji tasarrufu ve CO₂ salımındaki azalmanın hesaplamasının ve tekno-ekonomik analizin nasıl yapıldığına dair yöntemler ayrıntılı olarak açıklanmıştır. Daha sonra model konutun EKB'nin belirlenmesi için uygulanan yöntemler açıklanmıştır. Son olarak da senaryoların Ankara'da 2005 yılından sonra inşa edilen konut ile aynı enerji sınıfında olan müstakil bir dairesel konutlara uygulanması durumunda elde edilebilecek toplam enerji tasarrufu ve CO₂ salımındaki azalmanın nasıl hesaplandığı açıklanmıştır.

5 KULLANILAN VERİLER

Bu bölümde bu çalışmada kullanılan verilere yer verilmiştir. İlk olarak, model oluşturulurken kullanılan anket verileri (konutun mimari çizimi, konutun inşasında kullanılan malzemelerin özellikleri, ısı kazanç bilgileri v.b.), bir yıl süresince ölçülen doğalgaz ve elektrik tüketim verileri, Ankara için saatlik iklim verileri ve yer altı toprak sıcaklığı verisine yer verilmiştir. Modelin tamamlanmasından sonra senaryolarda kullanılan verilerden bahsedilmiştir. Daha sonra ekonomik analiz sırasında kullanılan, senaryoların yatırım maliyeti, elektrik/doğalgaz fiyat verisi ve faiz oranı bilgisine yer verilmiştir. Son olarak EKB belirlenirken ve Ankara iline enerji tasarrufu hesaplamaları genelleştirilirken kullanılan verilere yer verilmiştir.

5.1 Modellemede Kullanılan Veriler

Konutun bina enerji simülasyon programında modellemesi yapılırken kullanılan veriler hakkında detaylı bilgi bu kısımda verilmiştir.

5.1.1 Konutun Mimari Çizimi ve Fiziksel Özellikleri

Çalışmada modellenen konut, Ankara, Çankaya ilçesi Beytepe mahallesinde bulunmaktadır. Konut, üç katlı ve toplam 700 m² alana sahiptir. Konutun ısıtılan alanı 500 m², iç duvar alanı 367 m², oturma alanı 228 m², pencere alanı ise 73 m²'dir. Konutun mimari çizimi ve inşasında kullanılan malzemelere ait teknik dökümanlar konut sahibinden temin edilmiştir. Daha sonra binanın teknik hesaplarını yapan ilgili mühendislik şirketi ile görüşülüp bu belgeler teyit edilmiştir. Konutun dış ortama bakan yapıları ve bu yapılarda kullanılan malzemelerin özellikleri Çizelge 5-1'de gösterilmiştir.

Çizelge 5-1 Konutun dış ortama bakan yapılarının ve malzemelerinin özellikleri

Yapının özellikleri		Malzemenin özellikleri									
Yapı Adı	Optik Özelliği	Malzeme adı	Kalınlık (mm)	Isıl İletkenlik, W/m-K	Yoğunluk, kg/m ³	Özısı, J/kg-K	Dışarı emisivite	İçeri emisivite	Dışarı absorptivite	İçeri absorptivite	Su buharı direnci, MNs g ⁻¹ m ⁻¹
Dış duvar	Opak	Çimento Harcı	30	1,4	2100	650	0,91	0,91	0,650	0,650	19
		Yatay Delikli Tuğla (TS 4563)	85	0,44	1500	650	0,9	0,9	0,650	0,650	15
		Polistrenpartikülerköpük (TS 7316)	80	0,04	105	1800	0,9	0,9	0,6	0,6	>15
		Yatay Delikli Tuğla (TS 4563)	85	0,44	1500	650	0,9	0,9	0,650	0,650	15
		Kireç çimento harcı	20	0,8	1800	1100	0,91	0,91	0,7	0,7	75
Dış duvar kolon	Opak	Anorganik asıllı hafif agregalardan yapılmış siva harçları	30	0,35	1200	840	0,9	0,9	0,8	0,8	30
		Normal beton (TS 500)	250	2,1	2400	1000	0,9	0,9	0,7	0,7	13
		Yüzeyi Pürüzlü ve kanallı levha	50	0,03	30	837	0,9	0,9	0,5	0,5	90
		Kireç çimento harcı	20	0,8	1800	1100	0,91	0,91	0,7	0,7	75
Çatı zemin	Opak	Normal beton (TS 500)	200	2,1	2400	1000	0,9	0,9	0,7	0,7	13
		Normal beton (TS 500)	120	2,1	2400	1000	0,9	0,9	0,7	0,7	13
		Kireç çimento harcı	20	0,8	1800	1100	0,91	0,91	0,7	0,7	75
Zemin	Opak	Normal beton (TS 500)	150	2,1	2400	1000	0,9	0,9	0,7	0,7	13
		Kristal yapılı püskürük ve metamorfik taşlar	100	2,9	2650	900	0,9	0,9	0,550	0,550	77
		Cam tülü armatürlü polimer bitümlü membran	2	0,19	960	950	0,9	0,9	0,9	0,9	15
		Polistrenpartiküler köpük (TS 7316)	100	0,04	105	1800	0,9	0,9	0,6	0,6	1
		Polimer bitümlü su yalıtım örtüleri	2	0,19	960	950	0,9	0,9	0,550	0,550	15
		Çimento Harcı	50	1,4	2100	650	0,91	0,91	0,650	0,650	19
		Beton	50	1,4	2100	653	0,9	0,9	0,650	0,650	19
		Çimento Harcı	50	1,4	2100	650	0,91	0,91	0,650	0,650	19
	Opak	Çimento Harcı	30	1,4	2100	650	0,91	0,91	0,650	0,650	19

Isıtılmayan ortam tavanı		Yüzeyi Pürüzlü ve kanallı levha	50	0,03	30	837	0,9	0,9	0,5	0,5	90
		Normal beton (TS 500)	150	2,1	2400	1000	0,9	0,9	0,7	0,7	13
		Normal beton (TS 500)	150	2,1	2400	1000	0,9	0,9	0,7	0,7	13
		Çimento Harcı	50	1,4	2100	650	0,91	0,91	0,650	0,650	19
Teras	Opak	Kireç çimento harcı	20	0,8	1800	1100	0,91	0,91	0,7	0,7	75
		Normal beton (TS 500)	70	2,1	2400	1000	0,9	0,9	0,7	0,7	13
		Normal beton (TS 500)	250	2,1	2400	1000	0,9	0,9	0,7	0,7	13
		Çimento Harcı	30	1,4	2100	650	0,91	0,91	0,650	0,650	19
		Polistrenpartiküler köpük (TS 7316)	50	0,04	105	1800	0,9	0,9	0,6	0,6	1
		Bitümlü karton	2	0,19	730	1050	0,9	0,9	0,7	0,7	10
		Çimento Harcı	50	1,4	2100	650	0,91	0,91	0,650	0,650	19
Kapı	Opak	Ahşap	25	0,19	700	2390	0,9	0,9	0,650	0,650	12
Pencere camı	Şeffaf	Cam	6	0,76	2710	837	0,83	0,83	0,05	0,05	19200
		Hava boşluğu	12	0	0	0	0,99	0,99	0,99	0,99	1
		Cam	6	0,76	2710	837	0,83	0,83	0,05	0,05	19200
Panjur	Opak	PVC	10	0,16	1379	1004	0,9	0,9	0,6	0,6	70
Pencere çerçevesi	Opak	Ahşap	50	0,16	800	2093	0,9	0,9	0,650	0,650	11

5.1.2 Konutun Isı Kazanç Verileri

Konutta aydınlatmadan, hanehalkından ve elektrikli cihazlardan kaynaklanan ısı kazançları hakkında detaylı bilgi bu kısımda verilmiştir.

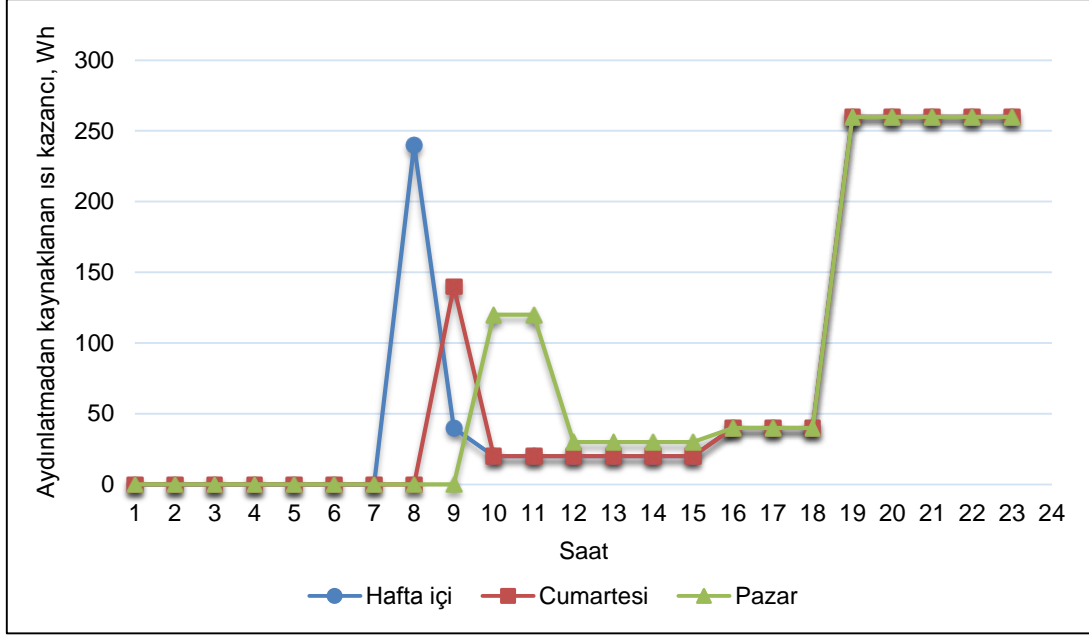
5.1.2.1 Aydınlatmadan Kaynaklanan Isı Kazancı

Aydınlatmadan kaynaklanan ısı kazancı duyulur ısı kazancıdır. Aydınlatmadan kaynaklanan ısı kazanç listesi; konutun odalarında bulunan lambaların güç değerleri, lambaların kullanım süreleri ve saatleri hakkında bilgi temin edilmesi ile oluşturulmuştur. Konutta bulunan lambaların % 96'sı kompakt floresan lamba, % 4'ü ise akkor lambadır. Belirli saat aralıklarında konutta aydınlatma amacı ile kullanılan lambaların toplam güç değeri Çizelge 5-2'de verilmiştir.

Çizelge 5-2 Konutta aydınlatma amacı ile kullanılan lambaların güç değeri ve kullanım saatleri, W

	Saatler	Bodrum Kat		1. Kat		2. Kat		Toplam, W
		Depo	Oda	Oda	Banyo	Oda	Banyo	
Hafta içi	0_8	0	0	0	0	0	0	0
	8_9	20	20	60	40	60	40	240
	9_10	0	0	20	0	20	0	40
	10_16	0	0	20	0	0	0	20
	16_19	0	0	20	0	20	0	40
	19_23	0	20	180	0	60	0	260
	23_24	0	20	100	40	60	40	260
Cumartesi	0_9	0	0	0	0	0	0	0
	9_10	20	0	20	40	20	40	140
	10_16	0	0	20	0	0	0	20
	16_19	0	0	20	0	20	0	40
	19_23	0	20	180	0	60	0	260
	23_24	0	20	100	40	60	40	260
Pazar	0_10	0	0	0	0	0	0	0
	10_12	20	20	0	40	0	40	120
	12_16	0	0	30	0	0	0	30
	16_19	0	0	20	0	20	0	40
	19_23	0	20	180	0	60	0	260
	23_24	0	20	100	40	60	40	260

Bu veriler bina enerji simülasyon yazılımına girilerek Şekil 5-1'de görülen aydınlatmadan kaynaklanan enerji kazancı grafiği elde edilmiştir.



Şekil 5-1 Aydınlatmadan kaynaklanan ısı kazancı, Wh

5.1.2.2 Hanehalkından Kaynaklanan Isı Kazancı

Hanehalkından kaynaklanan ısı kazancı hem duyulur (DİK) ve hem de gizli ısı kazancıdır(GİK). Hanehalkından kaynaklanan ısı kazanç listesi; konutta belirli saat aralıklarında odalarda bulunan kişi sayısı ve bu kişiler tarafından yapılan aktiviteler hakkında bilgi temin edilmesi ile oluşturulmuştur.

Hanehalkından kaynaklanan ısı kazancı kişinin yaptığı fiziksel aktiviteye göre farklılık göstermektedir. Bu konuda birçok referans değer vardır. ASHRAE 2009 ((Fundamentals (SI) Chapter 18.4 Table 1.), [95]) kataloğuna göre farklı aktivitelerde hanehalkından kaynaklanan ısı kazançları ve ASHRAE kataloğundaki aktivitelerin model konutta hangi koşullarda kullandığı Çizelge 5-3'de gösterilmiştir.

Çizelge 5-3 Farklı aktiviteler için hanehalkından kaynaklanan ısı kazancı [96]

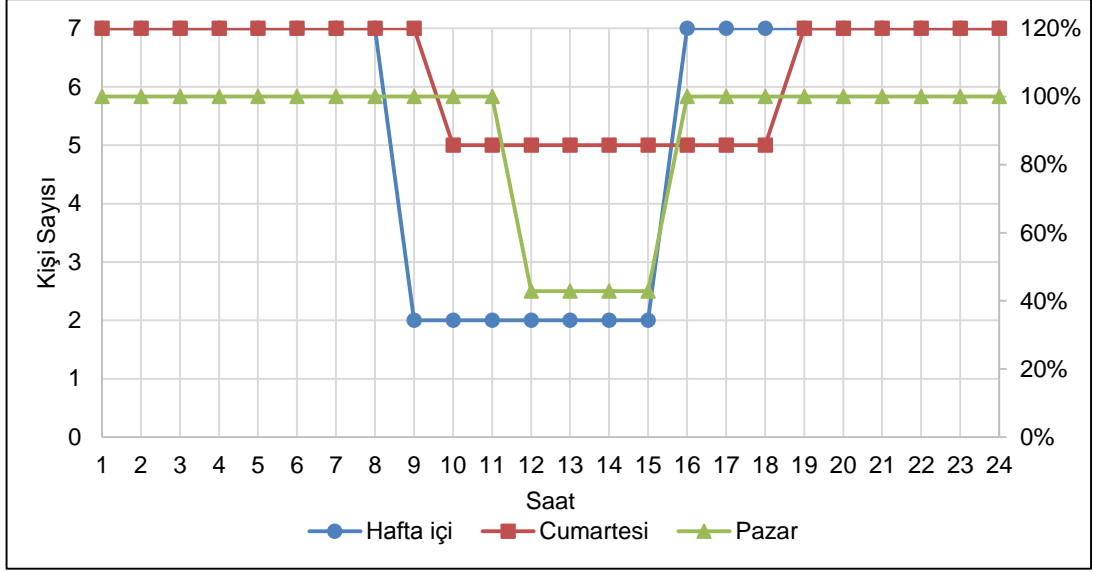
ASHRAE kataloğundaki ısı kazanç aktivitesi [96]	Konuttaki Eşdeğer Aktivite	Aktivite Kodu	ASHRAE kataloğundaki ısı kazancı, W [96]	
			DIK	GİK
Tiyatroda oturma	Evde oturma	1	65	30
Tiyatroda gece oturmak	Akşam evde oturma	2	70	35
Otmak, çok hafif iş	Evde masa başı çalışma	3	70	45
Aktif iş ortamı	Ev işleri ile uğraşma	4	75	55
Ayakta durmak, hafif işler, yürümek	Temizlik yapma	5	75	55
Hafif tezgâh işi	Büyük temizlik yapma	6	80	80

Bodrum kat, 1. Kat ve 2. Katta; hafta içi, Cumartesi ve Pazar günleri belirli saat aralıklarında konutta bulunan kişi sayısı Çizelge 5-4'de verilmiştir.

Çizelge 5-4 Konutta odalarda bulunan kişi sayısı

Gün	Saat	Bodrum Kat		1. Kat		2. Kat		Toplam
		Depo	Oda	Oda	Banyo	Oda	Banyo	
Hafta içi	0-8	0	3	2	0	2	0	7
	8-9	0	2	3	1	0	1	7
	9-10	0	0	2	0	0	0	2
	10-16	0	0	2	0	0	0	2
	16-19	0	2	5	0	0	0	7
	19-23	0	3	2	0	2	0	7
	23-24	0	3	2	0	2	0	7
Cumartesi	0-9	0	3	2	0	2	0	7
	9-10	0	2	3	1	0	1	7
	10-16	0	2	3	0	0	0	5
	16-19	0	2	3	0	0	0	5
	19-23	0	3	2	0	2	0	7
	23-24	0	3	2	0	2	0	7
Pazar	0-10	0	3	2	0	2	0	7
	10-12	1	3	1	1	0	1	7
	12-16	0	3	0	0	0	0	3
	16-19	0	2	5	0	0	0	7
	19-23	0	3	4	0	0	0	7
	23-24	0	3	2	0	2	0	7

Bu verilerden elde edilen konutun doluluk oranı grafiği Şekil 5-2'de verilmiştir.



Şekil 5-2 Konut doluluk oranı, Kişi/saat

Konutta hanehalkından kaynaklanan ısı kazancı; Çizelge 5-3, Çizelge 5-4 ve Eşitlik 4-5 kullanarak hesaplanmış ve Çizelge 5-5’de verilmiştir.

Çizelge 5-5 Hanehalkından kaynaklanan toplam ısı kazancı, W

Gün	Saat	Bodrum/Depo			Bodrum/Oda			1. Kat/Oda			1. Kat/Banyo			2. Kat/Oda			2. Kat/Banyo		
		DIK	GİK	Aktivite Kodu	DIK	GİK	Aktivite Kodu	DIK	GİK	Aktivite Kodu	DIK	GİK	Aktivite Kodu	DIK	GİK	Aktivite Kodu	DIK	GİK	Aktivite Kodu
Hafta içi	0-8	0	0		195	90	1	130	60	1	0	0		130	60	1	0	0	
	8-9	0	0		150	110	4	210	135	3	75	55	4	0	0		75	55	4
	9-10	0	0		0	0		150	110	4	0	0		0	0		0	0	
	10-16	0	0		0	0		150	110	5	0	0		0	0		0	0	
	16-19	0	0		150	110	4	350	175	2	0	0		0	0		0	0	
	19-23	0	0		210	105	2	140	70	2	0	0		140	90	3	0	0	
	23-24	0	0		210	135	3	140	70	2	0	0		140	70	2	0	0	
Cumartesi	0-9	0	0		195	90	1	130	60	1	0	0		130	60	1	0	0	
	9-10	0	0		130	60	1	210	105	2	75	55	4	0	0		75	55	4
	10-16	0	0		150	110	4	210	135	3	0	0		0	0		0	0	
	16-19	0	0		140	70	2	210	135	3	0	0		0	0		0	0	
	19-23	0	0		210	105	2	140	70	2	0	0		140	70	2	0	0	
	23-24	0	0		210	135	3	140	90	3	0	0		140	90	3	0	0	
Pazar	0-10	0	0		195	90	1	130	60	1	0	0		130	60	1	0	0	
	10-12	75	55	4	225	165	5	70	45	3	75	55	4	0	0		75	55	4
	12-16	0	0		210	135	3	0	0		0	0		0	0		0	0	
	16-19	0	0		140	70	2	350	175	2	0	0		0	0		0	0	
	19-23	0	0		210	105	2	280	140	2	0	0		0	0		0	0	
	23-24	0	0		195	90	1	140	70	2	0	0		150	110	4	0	0	

Çizelge 5-2 ve Çizelge 5-5'de bulunan veriler kullanılarak, konutta hafta içi ve haftasonu (Cumartesi ve Pazar günlerinin ortalaması alınarak elde edilmiştir) günlük toplam ısı kazancı miktarı hesaplanmış ve sonuçlar Çizelge 5-6'da verilmiştir.

Çizelge 5-6 Günlük ortalama ısı kazancı, W

	Haftaiçi	Haftasonu
AKIK	2.080	1.990
KSKIS	4.355	4.130
Günlük Toplam Isı Kazancı	6.435	6.120

Çizelge 5-6'da görüldüğü gibi aydınlatma ve hanehalkından kaynaklanan ısı kazancı miktarları hafta içi ve hafta sonu birbirine çok yakındır.

5.1.2.3 Elektrikli Cihazlardan Kaynaklanan Isı Kazancı

Elektrikli cihazlardan kaynaklanan ısı kazanç listesi; konutta bulunan elektrikli cihazların tespiti ve kullanım süreleri hakkında bilgi temin edilmesi ile oluşturulmuştur. Konutta bulunan cihazların tipi, kullanım süresi ve cihazlardan kaynaklanan ısı kazancı Çizelge 5-7'da verilmiştir.

Çizelge 5-7 Cihazlardan kaynaklanan ısı kazancı miktarları

Cihaz Adı	Cihaz Tipi	Kullanım Süresi, saat/gün	Isı Kazancı, W
Kombi	Yoğuşmalı	24	50
Buzdolabı	İki kapılı derin dondurucu üstte	24	180
	İki kapılı derindondurucu üstte	24	180
Derin Dondurucu	Yatık	24	180
Set üstü Ocak	Gazlı	2	100
Fırın	Ocak Altı	0,1	700
	Mikrodalga	0,1	700
Aspiratör	Davlumbaz tipi	1	100
TV	LCD 94 inch	3	80
	Plazma 127 inch	4	80
Bilgisayar	Dizüstü	6	40
Çamaşır Makinesi		1	500
Çamaşır Kurutma Mak.		1,5	500
Bulaşık Mak.		2	500
Elektrikli Süpürge	Su Filtreli	1	700
Ütü Buharlı	Buhar Jeneratörlü	1	1.000
Çay Makinesi		0,1	500
Tost Makinesi	Izgaralı Büyük Boy	0,1	700
Elektrikli/Buharlı Pişirici		0,1	1.000

Konutta bulunan cihazların konutun modelinde oluşturulan bölgelerde oluşturduğu ısı kazancı Çizelge 5-8'de verilmiştir.

Çizelge 5-8 Modelde oluşturulan bölgelerde günlük elektrikli cihazlardan kaynaklanan ısı kazancı, W

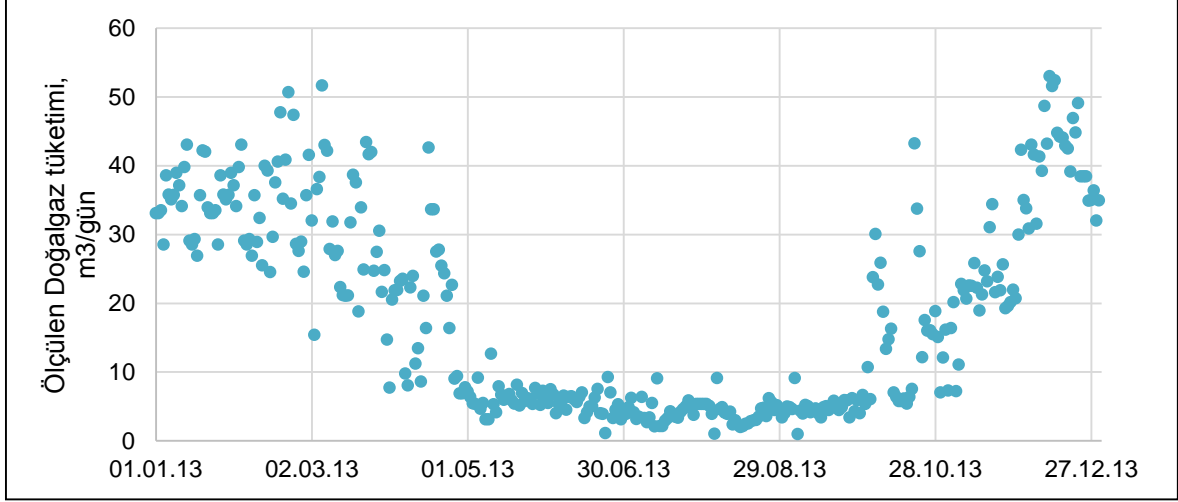
Cihaz adı	Kullanım Süresi, saat/gün	Bodrum / Depo		Bodrum/O da		1. Kat/ Oda		1. Kat/ Banyo		2. Kat/ Oda		2. Kat/ Banyo		Toplam ısı Kazancı, W/gün
		DIK	GİK	DIK	GİK	DIK	GİK	DIK	GİK	DIK	GİK	DIK	GİK	
Kombi	24	50												1.200
Buzdolabı 1	24			180										4.320
Buzdolabı 2	24					180								4.320
Derin Dondurucu	24					180								4.320
Setüstü Ocak	2			50	50	50	50							400
Ocakaltı Fırın	0,1					350	350							70
Mikrodalga fırın	0,1					350	350							70
Aspiratör	1					50								50
TV 1	3					40								120
TV 2	4					40								160
Bilgisayar	6					40				40				240
Çamaşır Makinesi	1					500								500
Çamaşır Kurutma Mak.	1,5					500								750
Bulaşık Mak.	2					250	250							1.000
Elektrikli Süpürge	1					350								350
Ütü Buharlı	1					500	500							1.000
Çay Makinesi	0,1					250	250							50
Tost Makinesi	0,1					700								70
Elektrikli/Buharlı Yemek Pişirici	0,1					500	500							100
Toplam														19.090

5.1.3 Doğalgaz Tüketim Verisi

Konut yakıt olarak doğalgaz kullanan ve % 98 verim ile çalışan [97] Buderus marka yoğuşmalı kombi ile ısıtılmaktadır. Konutta doğalgaz tüketimi günlük olarak bir yıl süresince ölçülmüştür.

Bu çalışmada günlük doğalgaz tüketim verisi bina enerji simülasyon programında oluşturulan modelin performansını izlemek ve modeli kalibre etmek amacı ile

kullanılmıştır. 19.01.2013-01.02.2014 tarihleri arasında ölçülen günlük doğalgaz tüketimi Şekil 5-3'de verilmiştir.



Şekil 5-3 Ölçülen doğalgaz tüketimi, m³/gün

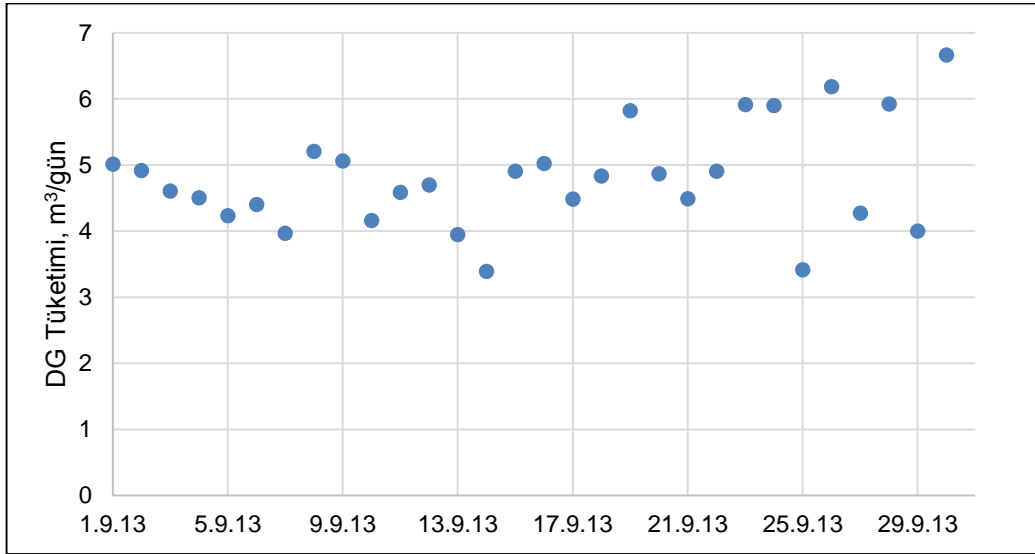
Konutun doğalgaz tüketimi 19 Ocak'da ölçülmeye başlanmıştır. Ocak ayına ait 18 günlük veri eksikliği, sıcaklık farkının çok az olması sebebi ile Ocak ayında ölçüm yapılan diğer günlerdeki veriler ile DG tüketiminin aynı olduğu varsayılarak tamamlanmıştır. 01.01.2013 Salı-18.01.2013 Cuma günleri arasındaki verileri tamamlamak için, 22.01.2013 Salı-08.02.2013 Cuma günleri arasındaki veriler kullanılmıştır. Konutun doğalgaz tüketiminin 2013 yılı süresinde ölçülmesi ile konutta toplam 6.729 m³ doğalgaz tükettiği görülmüştür.

5.1.3.1 Yemek Pişirme Amaçlı Doğalgaz Tüketim Verisi

Kısım 4.2.3.2'de açıklandığı gibi sadece yemek pişirme amaçlı doğalgaz kullanan altı kişinin ikamet ettiği bir konutta yapılan doğalgaz ölçümü sonucunda doğalgaz tüketimi, haftalık 2,6 m³ (0,37 m³/gün) olarak ölçülmüştür. Model konutta da yemek pişirme amaçlı doğalgaz tüketiminin yaklaşık 6 kişilik konutla aynı olacağı varsayılmış ve yemek pişirme amacı ile 0,37 m³/gün (135 m³/yıl) doğalgaz kullanıldığı varsayılmıştır.

5.1.3.2 Sıcak Su Tüketimi Verisi

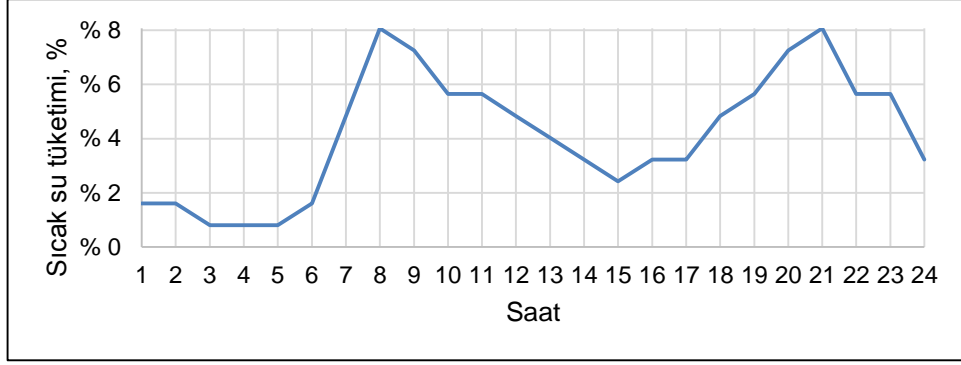
Kombinin ısıtma amaçlı kullanılmadığı aylarda, doğalgaz tüketimi sadece sıcak su ve yemek pişirmeden kaynaklanmaktadır. Eylül ayında konutta sadece yemek pişirme ve sıcak su için doğalgaz kullanılması ve bütün hanehalkının konutta bulunması sebebi ile sıcak su tüketiminin hesaplanması için Eylül ayı doğalgaz tüketim verisi kullanılmıştır. 1-30 Eylül tarihleri arasında ölçülen doğalgaz tüketimi Şekil 5-4'de gösterilmiştir.



Şekil 5-4 Kombinin ısıtma amaçlı kullanılmadığı Eylül ayında doğalgaz tüketimi, m³/gün

Eylül ayı günlük doğalgaz tüketiminden 0,37 (Yemek pişirme amaçlı DG tüketimi) çıkarılarak günlük sıcak su temini için doğalgaz tüketimi hesaplanmıştır. Eylül ayında sıcak su temini için tüketilen DG miktarı (DG_{E_ss}) hesaplandıktan sonra Eşitlik 4-1 kullanılarak, sıcak su temini için tüketilen günlük enerji miktarı (Q_{ss}) hesaplanmıştır. Daha sonra, Eşitlik 4-2 kullanılarak konutun günlük sıcak su tüketimi ortalama 1.296 kg/gün olarak hesaplanmıştır. Konutta yedi kişinin ikamet etmesi sebebi ile kişi başı sıcak su tüketimi 185 kg/gün-kişi olarak hesaplanmıştır. Yüksek gelir grubunda bulunan konutlarda günlük kişi başı sıcak su tüketiminin 100-150 litre arasında değişmesi sebebi ile bu değer normal olduğu kabul edilmiştir [98].

Saatlik sıcak su tüketimi hesabı için Şekil 5-5'de görülen Portekiz'e ait mevcut bir sıcak su tüketim profili [78] kullanılmıştır.



Şekil 5-5 Portekiz'de yapılan bir çalışmada elde edilen saatlik sıcak su kullanım profili [78]

Şekil 5-5'de verilen profilde gece saatlerinde de sıcak su tüketimi yapılmaktadır. Fakat mevcut konutta sıcak su tüketimi 08:00-24:00 saatleri arasında yapılması sebebi ile Şekil 5-5'de verilen profilin 08:00-24:00 arasındaki verisi kullanılmış, 00:00-08:00 arasında sıcak su tüketimi sıfır olarak alınmıştır. Bu durumda konutun saatlik sıcak su tüketim miktarı hesaplanmış ve bu veriler Çizelge 5-9'da verilmiştir.

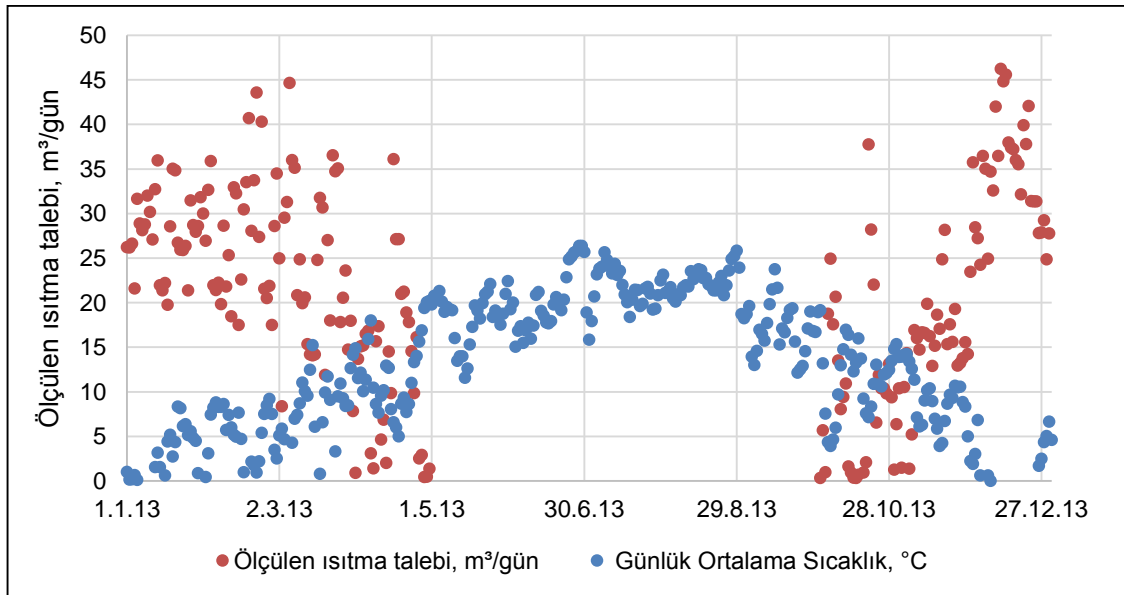
Çizelge 5-9 Saatlik sıcak su kullanım profili

Saat	Portekiz için Saatlik Sıcak Su Tüketimi, %	Model konut için Saatlik Sıcak Su Tüketimi, %	Konutun Saatlik Sıcak Su Tüketimi, kg/saat
0-1	2	0	0
1-2	2	0	0
2-3	1	0	0
3-4	1	0	0
4-5	1	0	0
5-6	2	0	0
6-7	5	0	0
7-8	8	0	0
8-9	7	8,5	110
9-10	6	6,9	90
10-11	6	6,9	90
11-12	5	6,1	79
12-13	4	5,3	69
13-14	3	4,5	58
14-15	2	3,7	48
15-16	3	4,5	58
16-17	3	4,5	58
17-18	5	6,1	79
18-19	6	6,9	90
19-20	7	8,5	110
20-21	8	9,3	121
21-22	6	6,9	90
22-23	6	6,9	90
23-24	3	4,5	58
Toplam	100	100	1.297

Son olarak sıcak su temini için tüketilen yıllık enerji miktarı eşitlik 4-4 kullanılarak hesaplanmış ve 2.059 m³/yıl (77 GJ/yıl) olarak bulunmuştur.

5.1.3.3 Konutun Isıtılması Amaçlı Doğalgaz Tüketimi

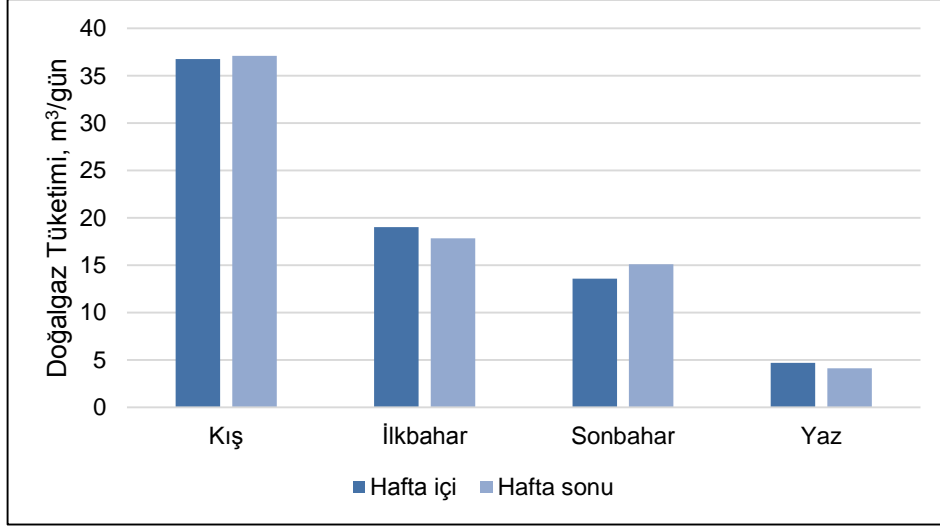
Kısım 5.1.3.1'de yemek pişirme amaçlı DG tüketimi 135 m³/yıl, kısım 5.1.3.2'de su temin etme amaçlı doğalgaz tüketimi 2.059 m³ olarak hesaplanmıştır. yıllık doğalgaz tüketiminin 6.729 m³ olması sebebi ile 4.535 m³ doğalgazın ısıtma amacı ile kullanıldığı hesaplanmıştır. Ölçülen doğalgaz tüketimi içerisinde hesaplanan günlük ısıtma amacı ile tüketilen DG miktarı Şekil 5-6'da verilmiştir.



Şekil 5-6 Isıtma amacı ile tüketilen DG miktarı, m³/gün

5.1.3.4 Doğalgaz Tüketimi Verilerinin Analizi

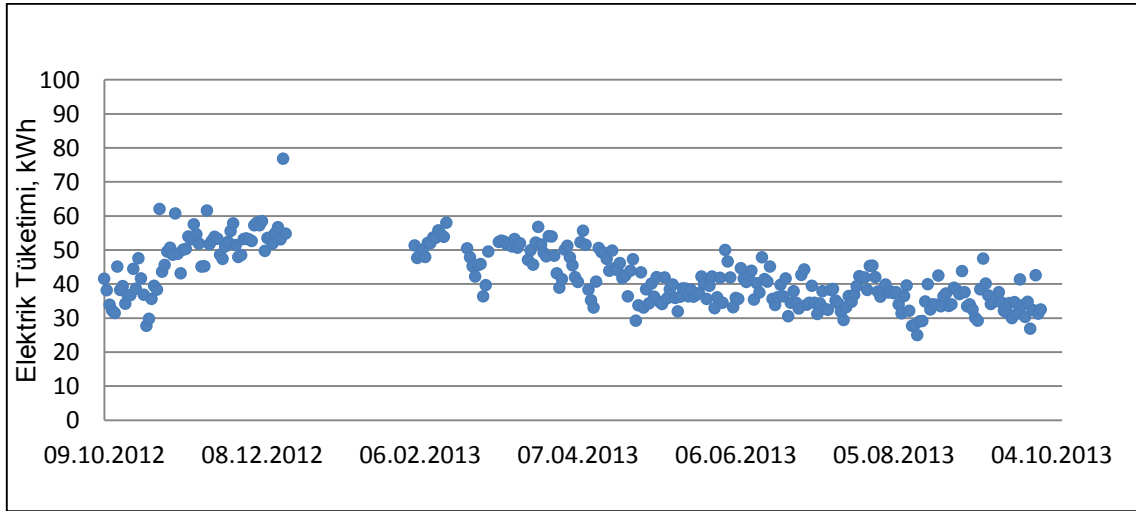
Şekil 5-7'de ölçülen günlük doğalgaz tüketiminin mevsimsel ortalama değerleri görülmektedir. Her mevsimin hafta içi ve hafta sonu sonuçları ayrı ayrı verilmiştir. Aralık, Ocak, Şubat ayları "kış"; Mart, Nisan, Mayıs ayları "ilkbahar"; Haziran, Temmuz, Ağustos ayları "yaz"; Eylül, Ekim, Kasım ayları ise "sonbahar" olarak tanımlanmıştır.



Şekil 5-7 Her mevsim için hafta içi ve hafta sonu günlük doğalgaz tüketimi ortalaması, m³/gün

5.1.4 Elektrik Tüketim Verisi

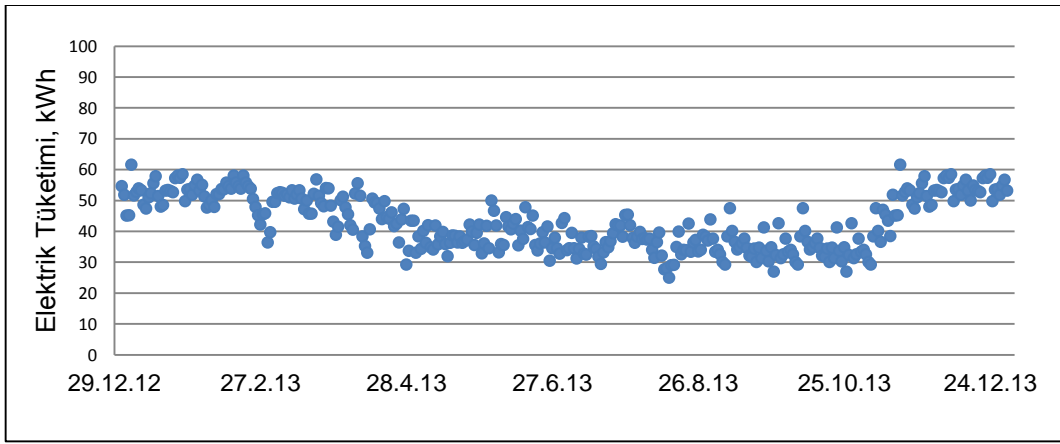
Konutun saatlik elektrik tüketimi Mikrodizayn [77] firmasından alınan uzaktan sayaç okuma sistemi ile okunmuştur. 8.10.2012-30.09.2013 tarihleri arasında okunan veriler Şekil 5-8'de gösterilmiştir..



Şekil 5-8 Günlük elektrik tüketimi, kWh

Konutta bir yıl süresince elektrik tüketimi ölçülmüş fakat Şekil 5-8'de görüldüğü gibi belirli zaman aralıklarında modem arızaları nedeniyle ölçüm yapılamamıştır. Şekil 5-8'de görüldüğü gibi, konutun ısıtılması amacı ile kombinin 24 saat kullanılması, gündüzlerin kısa olması sebebi ile aydınlatmadan daha fazla yararlanılması ve kışın

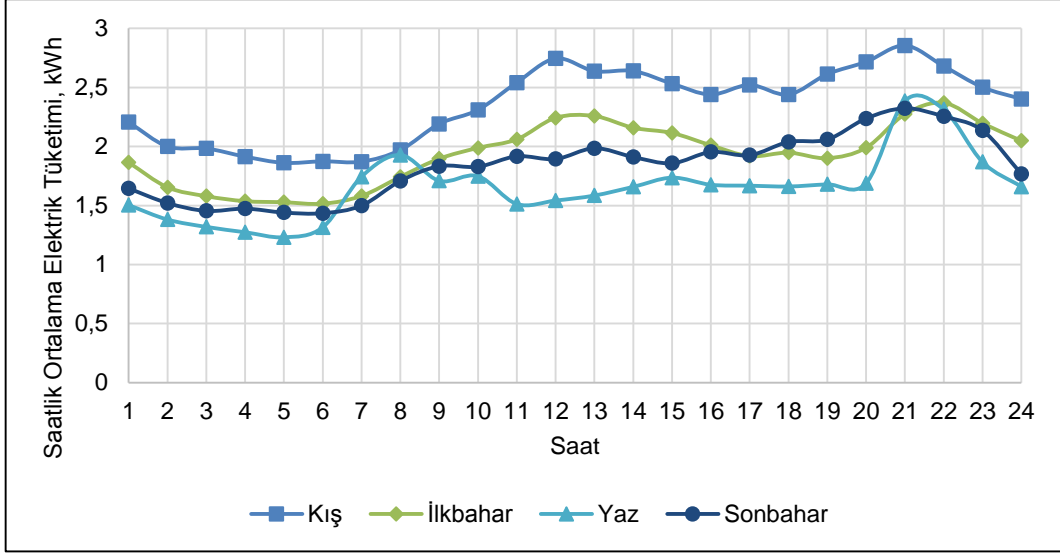
konutta en fazla zaman geçirilmesi sebepleri ile elektrik tüketimi mevsimsel değişiklikler göstermektedir. Bu sebeple ölçüm yapılamayan zaman aralıklarındaki veri eksikliklerini tamamlamak için benzer takvim özellikleri gösteren zaman aralıklarındaki veriler kullanılmış ve elektrik tüketim verisi bir yıla tamamlanarak bir yıllık saatlik elektrik tüketim verisi elde edilmiştir. Bir yıla tamamlanmış saatlik elektrik tüketim verisinden elde edilen günlük elektrik tüketimi Şekil 5-9'da gösterilmiştir. Bir yıla tamamlanan verilere göre konutun yıllık elektrik tüketimi 15.702 kWh'dir.



Şekil 5-9 Bir yıla tamamlanmış günlük elektrik tüketimi, kWh

5.1.4.1 Elektrik Tüketiminin Analizi

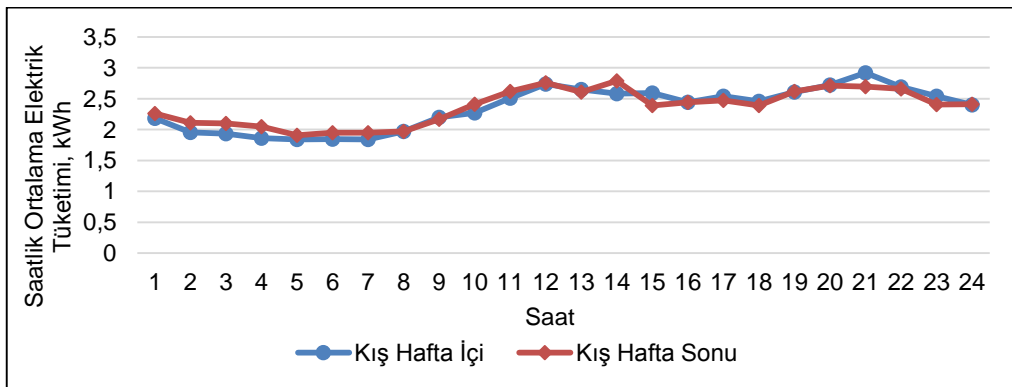
Konutun elektrik tüketimi bir yıl süresince saatlik olarak ölçülmüştür. Her mevsim için günün her saatinde ortalama elektrik tüketim Şekil 5-10'da verilmiştir.



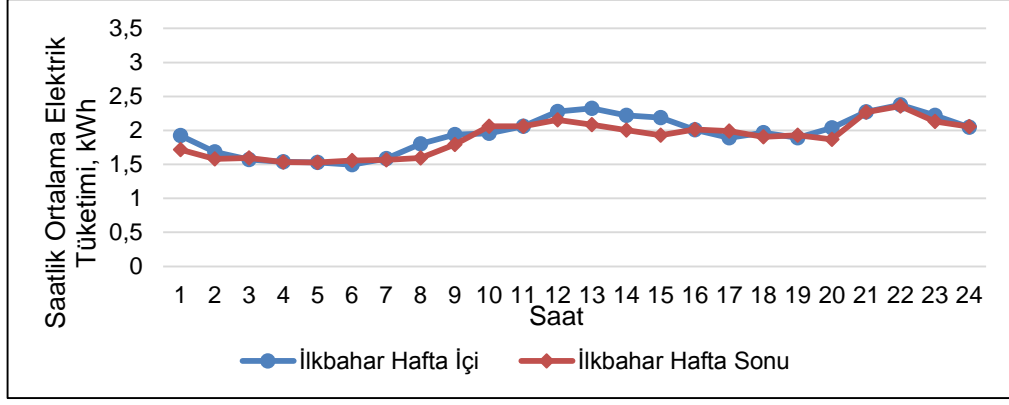
Şekil 5-10 Mevsimsel saatlik ortalama elektrik tüketimi, kWh

Şekil 5-10'de görüldüğü gibi kombinin kullanılmaması, aydınlatmadan en az yararlanan mevsimin yaz mevsimi olması ve konutta bu mevsimde daha az vakit geçirilmesi sebepleri ile en düşük elektrik tüketiminin yaz mevsiminde olduğu görülmektedir. Kış mevsiminde ise kombinin 24 saat kullanılması ve aydınlatmadan en fazla yararlanması sebepleri ile elektrik tüketimi en yüksektir. İlkbahar mevsiminde ise elektrik tüketimi yine aydınlatmanın daha fazla kullanılması sebebi ile sonbahar mevsimine kıyasla daha yüksektir.

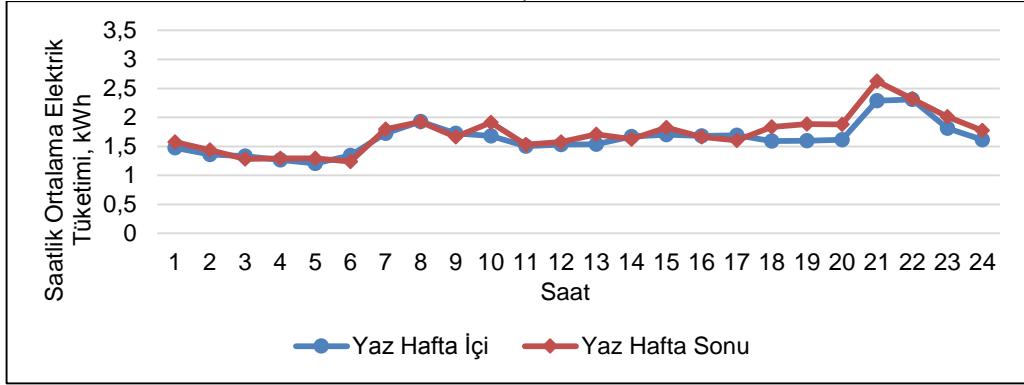
Her mevsimin hafta içi ve hafta sonu saatlik ortalama elektrik tüketimi ayrı ayrı Şekil 5-11'de verilmiştir.



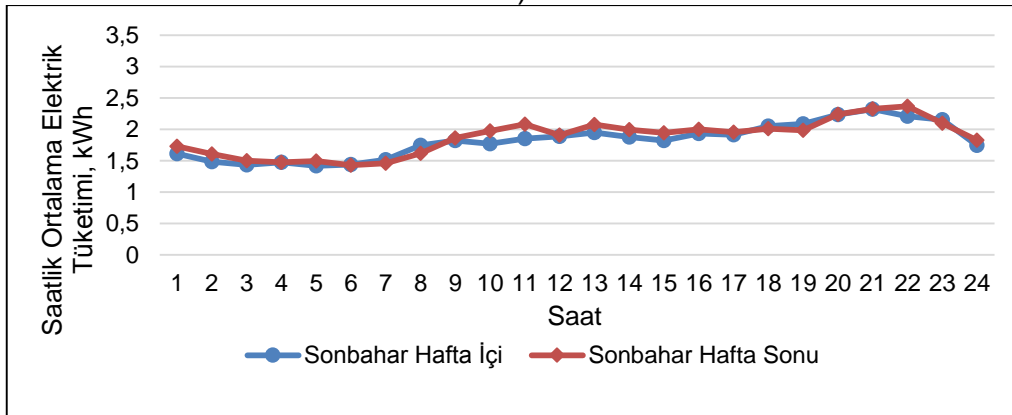
a)



b)



c)



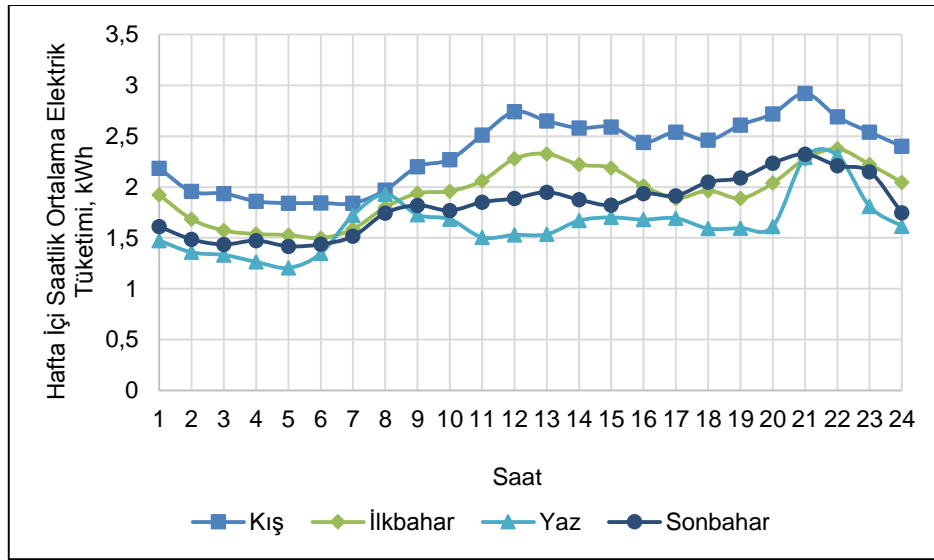
d)

Şekil 5-11 Her mevsim için saatlik ortalama elektrik tüketimi, kWh

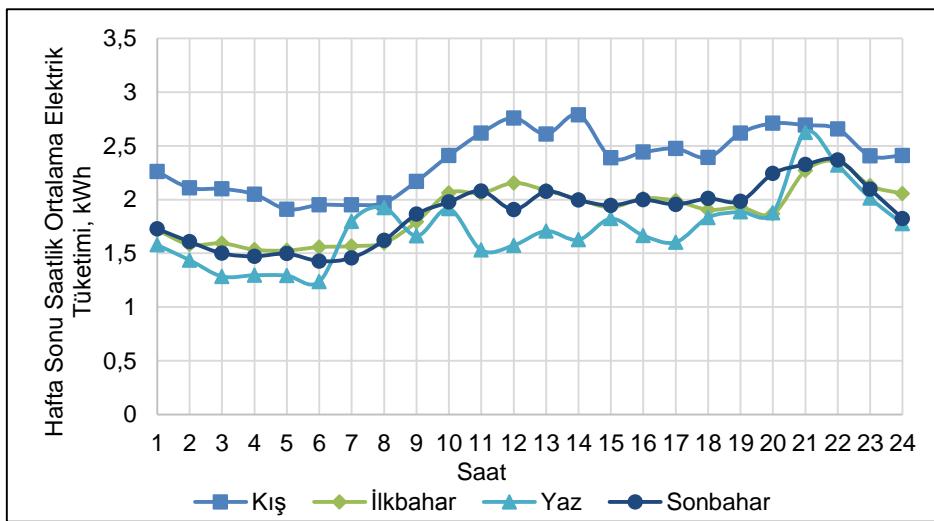
Şekil 5-11-a'da görüldüğü gibi, kışın elektrik tüketimi öğlen saatlerinde ve akşam 21:00'de artış göstermektedir. Hafta sonu ve hafta içi elektrik tüketimi arasında ise önemli bir fark görülmemektedir. Şekil 5-11-b'de ise ilkbaharda öğlen saatlerinde tüketimin artmakta ve akşam 22:00'de en yüksek tüketim değerine ulaşmakta olduğu görülmektedir. Hafta içi elektrik tüketimi yer yer hafta sonundan daha yüksek yer yer ise hafta sonu ile aynıdır. Şekil 5-11-c'de yazın elektrik tüketimi görülmektedir. Burada görüldüğü gibi yazın tüketim sabah saatlerinde artmakta ve

akşam 21:00'de en yüksek değere ulaşmaktadır. Yazın genel olarak hafta sonu elektrik tüketimi daha fazladır. Özellikle akşam saat 18:00'den sonra elektrik tüketimi hafta içine kıyasla oldukça yüksektir. Şekil 5-11-d'de ise sonbaharda elektrik tüketimi görülmektedir. Sonbaharda tüketim yalnız akşam saatlerinde artış göstermektedir. Hafta sonu ve hafta içi elektrik tüketimi oldukça yakın değerler almaktadır.

Şekil 5-12-a'da hafta içi, Şekil 5-12-b'de hafta sonu saatlik elektrik tüketimi gösterilmektedir.



a)



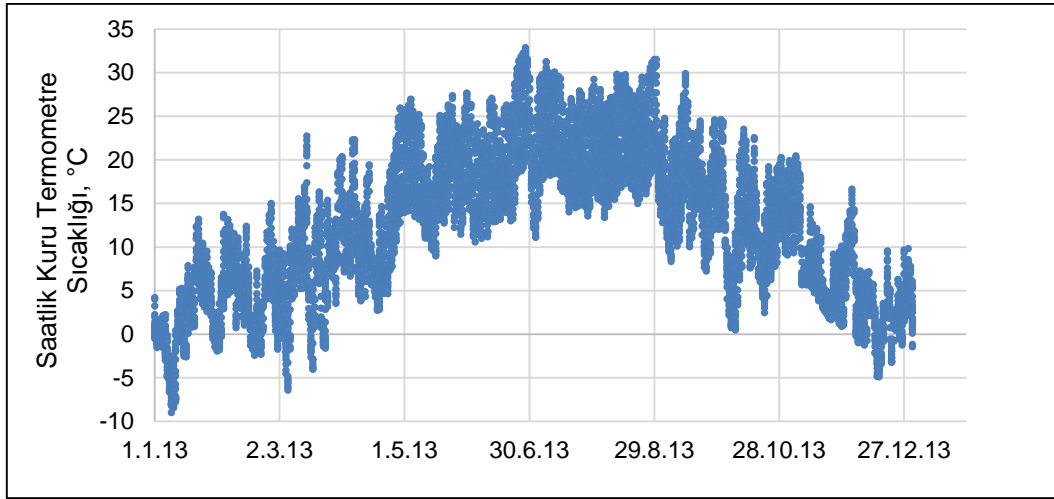
b)

Şekil 5-12 Hafta sonu ve hafta içi saatlik ortalama elektrik tüketimi, kWh

Şekil 5-12-a ve Şekil 5-12-b'de görüldüğü gibi hem hafta sonu hem hafta içi elektrik tüketiminin en yüksek kış, daha sonra ilkbahar, sonbahar ve en az da yaz mevsiminde olduğu görülmektedir.

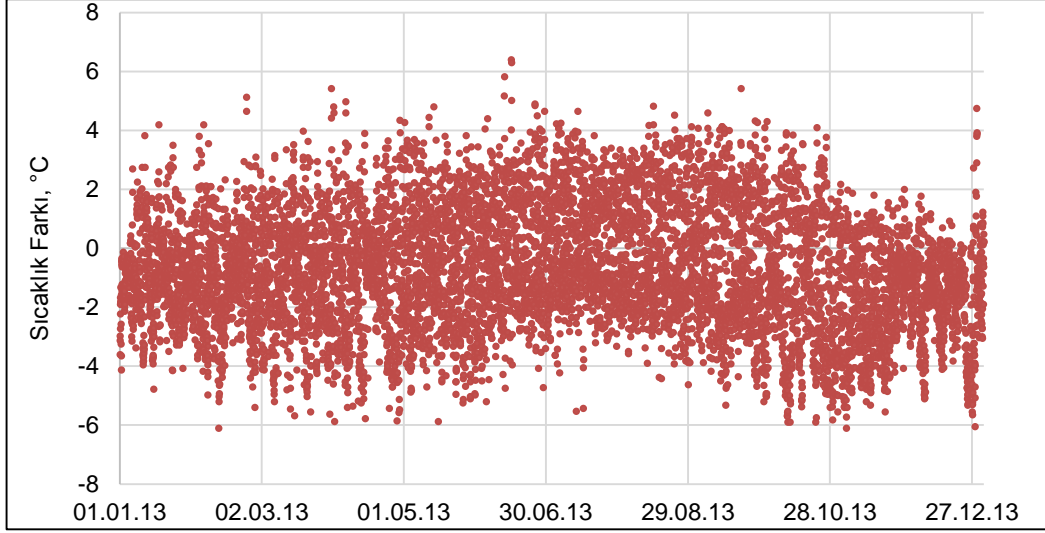
5.1.5 Meteorolojik Veriler

Ankara için 2013 yıllarına ait saatlik kuru termometre sıcaklığı, direkt güneşlenme miktarı, diffuz güneşlenme miktarı, rüzgâr hızı, rüzgâr yönü ve bağıl nem verileri Hacettepe Meteoroloji İstasyonu'ndan [11] elde edilmiştir. Kuru termometre sıcaklığı grafiği Şekil 5-13'de gösterilmiştir.



Şekil 5-13 Beytepe istasyonu 2013 yılı saatlik kuru termometre sıcaklığı, °C

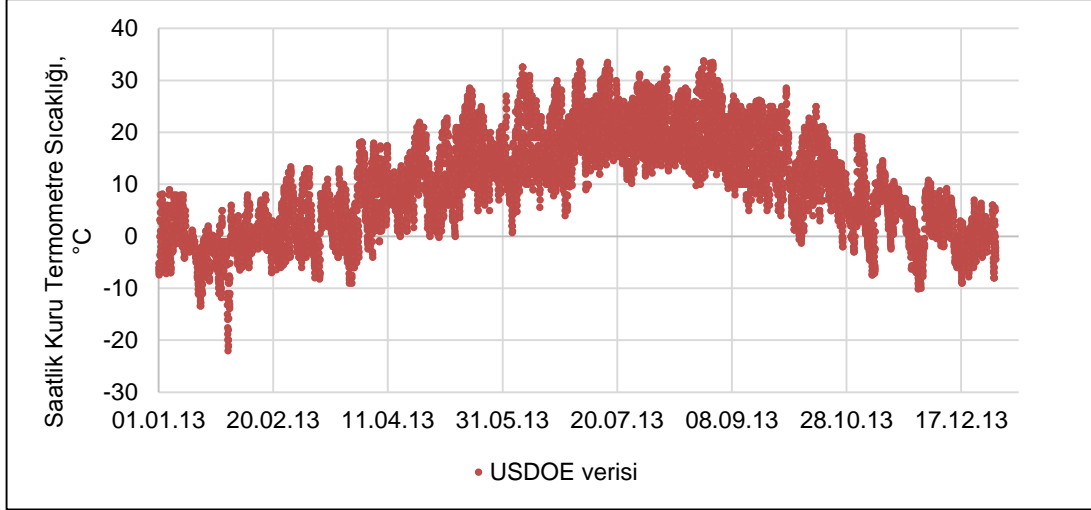
Beytepe İstasyonu'nda ölçülen veriler teyit edilmek amacı ile Meteoroloji Genel Müdürlüğü verileri [75] ile kıyaslanmıştır. Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nde ölçülen verilerden Beytepe İstasyonu'nda ölçülen veriler çıkarılarak iki veri arasındaki fark Şekil 5-14'de gösterilmiştir.



Şekil 5-14 DMI ve Beytepe istansyonundan elde edilen 2013 yılı saatlik kuru termometre sıcaklıklarının farkı, °C

Şekil 5-14'de görülen iki veri grubu arasında ortalama mutlak hata yüzdesi % 5 olarak hesaplanmıştır. Bu farkın Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün ölçümlerini Keçiören'de, Beytepe İstasyonu'nun ise Beytepe'de yapmasından kaynaklandığı ve Keçiören ile Beytepe ölçüm istasyonları arasında yaklaşık 22 km mesafe, 165 metre rakım farkı olması sebepleri ile kabul edilebilir bir fark olduğu sonucuna varılmıştır.

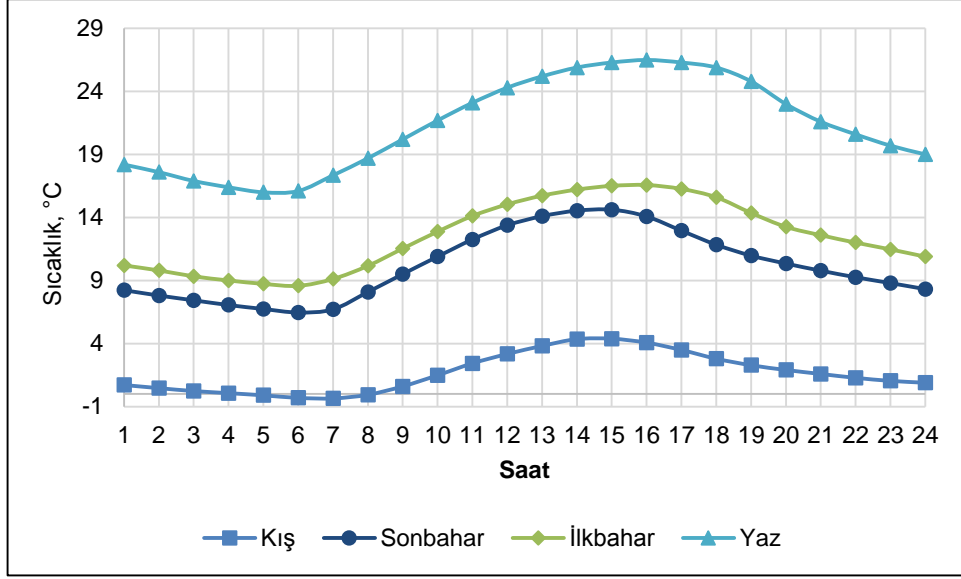
Senaryolarda ise elde edilecek enerji tasarrufunun gerçeğe daha yakın olması amacı ile simülasyon sırasında iklim verisi olarak ABDEB web sitesinden temin edilen [76] Ankara için 18 yıla ait iklim verileri kullanılarak elde edilen normal iklim verileri kullanılmıştır. Bu veri setine ait kuru termometre sıcaklığı verisi grafiği Şekil 5-15'de verilmiştir.



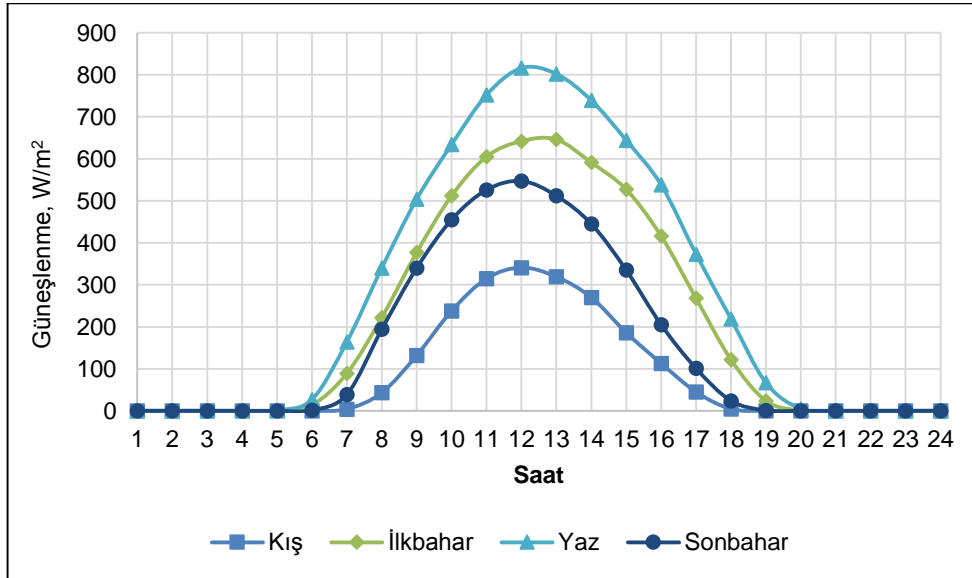
Şekil 5-15 Ankara normal saatlik kuru termometre sıcaklığı, °C

2013 yılı iklim verisi ile yıllık toplam ısıtma derece gün (IDG) değeri, ısıtma eşiği 18 °C varsayılarak hesaplanmış ve 2.563 derece gün olarak bulunmuştur. Normal iklim verisi ile ise ısıtma eşiği 18 °C varsayılarak hesaplanmış ve yıllık toplam IDG değeri 3.307 derece gün olarak bulunmuştur. Bu değerler, 2013 yılında normal iklim koşullarına oranla daha düşük bir ısıtma talebinin beklendiğini göstermektedir. Buna ek olarak, Beytepe İstasyonu'ndan elde edilen 2013 yılına ait iklim verisi ile direk güneşlenme yıllık 1.595 kW/m² iken ABDEB web sitesinden elde edilen Ankara için normal iklim verisinde direk güneşlenme yıllık 1.100 kW/m² olarak hesaplanmıştır.

Isıtma talebini etkileyen en önemli iki etken sıcaklık ve güneşlenme miktarıdır. Ankara için günün her saatinde ortalama mevsimsel (Kısım 5.1.3.4'de mevsimler için tanımlanan aylar açıklanmıştır) sıcaklık değişimi Şekil 5-16'da, güneşlenme değişimi ise Şekil 5-17'de gösterilmiştir.



Şekil 5-16 Mevsimlik 2013 yılı ortalama günlük Sıcaklık değişimi, °C



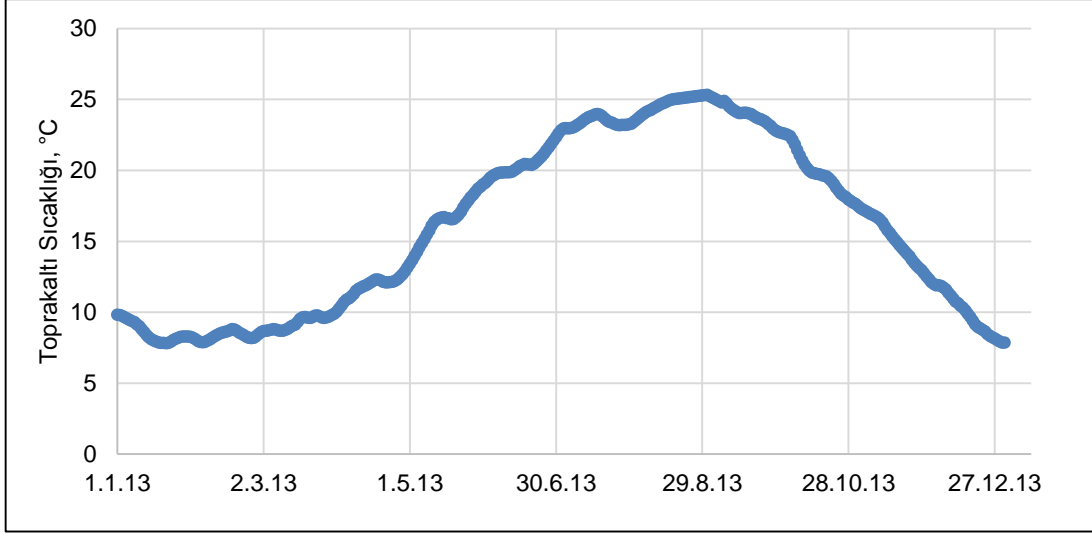
Şekil 5-17 Mevsimlik 2013 yılı ortalama günlük Güneşlenme değişimi, W/m²

Şekil 5-16 ve Şekil 5-17'de görüldüğü gibi ilbaharda sonbahara kıyasla güneşlenme ile doğru orantılı olarak sıcaklık da daha yüksektir.

5.1.6 Yeraltı Toprak Sıcaklığı Verisi

Güneş enerjisi ile sıcak su temin etme senaryosu için konutta tüketilen sıcak su miktarı bilgisine ihtiyaç vardır. Konutta sıcak su temin etmek için tüketilen doğalgaz miktarı bilinmektedir. Buradan yola çıkılarak ve Eşitlik 4-2 kullanılarak konutta

tüketilen sıcak su miktarı hesaplanmıştır. Bu eşitlikte yeraltı toprak sıcaklığı verisine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu amaçla Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden yerin 100 cm altının saatlik toprak sıcaklığı verisi talep edilmiştir. 2013 yılı 100 cm toprakaltı sıcaklığı günlük verisi Şekil 5-18'de gösterilmiştir.



Şekil 5-18 2013 yılı 100 cm toprakaltı saatlik sıcaklığı günlük verisi, °C

5.2 Senaryolarda Kullanılan Veriler

Senaryolarda kullanılan veriler hakkında detaylı bilgi bu kısımda verilmiştir.

5.2.1 Salım Faktörleri

Doğalgaz ve elektrik enerjisinde elde edilen tasarruftan kaynaklanan CO₂ salımındaki azalmayı hesaplayabilmek için doğalgaz salım faktörü (DSF) ve elektrik için salım faktörüne (ESF) ihtiyaç duyulmaktadır.

5.2.1.1 Doğalgaz Salım Faktörü (DSF)

Doğalgaz Salım Faktörü (DSF) 56.100 kg CO₂/TJ'dür [99]. Doğalgazın üst ısıl değeri 9155 kcal/m³'dür (10,62 kWh/ m³) [100]. Bu durumda DSF 2,14 kg-CO₂/m³ olarak hesaplanmıştır.

5.2.1.2 Elektrik için Salım Faktörü (ESF)

Çizelge 5-10'de elektrik üretiminde kullanılan enerji kaynaklarının salım faktörleri verilmiştir. Bu kısımda, elektrik tasarrufu sonucunda CO₂ salımındaki azalma hesaplaması yapılırken kullanılan veriler hakkında detaylı bilgi verilmiştir. CO₂ salım hesaplaması yapmak için öncelikle Türkiye'nin 2013 yılı için elektrik üretiminin birincil enerji türüne göre dağılımından ve bu enerji kaynaklarının özel salım faktörlerinden yararlanılmıştır. Türkiye'nin 2013 yılı için elektrik üretiminin birincil enerji türüne göre dağılımı ve bu enerji kaynaklarının özel salım faktörleri de Çizelge 5-10'da verilmiştir.

Çizelge 5-10 2013 Yılı Elektrik Üretiminin Birincil Enerji Kaynağına Göre Dağılımı ve Bu Kaynakların Özel Salım Faktörleri

Birincil Enerji Kaynağı	Elektrik Üretim Yüzdesi (%), [6]	Özel Salım Faktörleri (kg CO ₂ /kWh), [101]
Doğalgaz	43,81	0,374
Fueloil	1,63	0,755
Linyit	12,50	1,080
Taş Kömürü	13,20	1,018
Hidrolik	24,76	0
Jeotermal	3,66	0
Rüzgâr		0
Yenilenebilir+ atık	0,44	0
TOPLAM	100	

Çizelge 5-10'dan hareketle, elektrik için salım faktörü, kullanılan her yakıt için kullanım oranı ve o yakıtın özel salım faktörü çarpılarak hesaplanmış ve 0,446 kg-CO₂/kWh olarak hesaplanmıştır.

5.2.2 Fiziksel İyileştirme Verileri

Konutta fiziksel iyileştirme yapılmasının öngörüldüğü senaryolarda yeni kullanılacak malzemeler hakkındaki veriler Çizelge 5-11'de verilmiştir.

Çizelge 5-11 Senaryoda kullanılacak yeni malzemelerin özellikleri

Senaryo	Toplam yüzey alanı, m ²	Kullanılacak malzeme	Isıl iletkenlik değeri, W/mK	Yoğunluk, kg/m ³	Isıl kapasite, J/kg K	Su buharı difüzyon direnç faktörü	Kalınlık (mm)
Pencere camı	73	Argon	0,01774 [102]	1,78 [103]	520,33 [103]		16
Mevcut Duvar Yalıtımı	367	Polistren Partiküler Köpük	0,040 [104]	15 [104]	1500 [105]	20-250 [104]	80
Duvar Yalıtımı	367	Foamboard 2500 P (XPS)	0,035 [106]	28-32 [106]	1500 [105]	100 [106]	80-90
Çatı Yalıtımı	228	Foamboard 1500 D (XPS)	0,035 [107]	20 [104]	1500 [108]	100 [106]	100

5.2.3 Fotovoltaik Panel Verileri

Fotovoltaik sistemler kullanım amaçları ve tasarımlarına göre değişik parçalardan meydana gelirler. Fotovoltaik sisteme ait parçalar ve bu parçaların kullanım şekilleri hakkında detaylı bilgi EK-4'de, kullanılacak fotovoltaik sisteme ait proforma fatura EK-5'de verilmiştir.

Konutun çatısı 23° eğime sahiptir ve fotovoltaik panel eklenebilecek yaklaşık 45 m² çatı alanı mevcuttur.

Bina enerji simülasyon programında konuta uygulanan BP 380, 80-WattPolykristal FV modülünün verileri Çizelge 5-12'de yer almaktadır.

Çizelge 5-12 FVP verisi

Giriş Parametresi	Birim	Açıklama	Kullanılan değer
Açık devre gerilimi (Voc)	V	Kullanıcı tanımlı	22,1
Kısa devre akımı (Isc)	A	Kullanıcı tanımlı	4,8
En yüksek güçteki gerilim değeri (Vmpp)	V	Kullanıcı tanımlı	17,6
En yüksek güçteki akım değeri (Impp)	A	Kullanıcı tanımlı	4,55
Referans güneşlenme (H _{ref})	W/m ²	Sabit	1000
Referans sıcaklık	K	Sabit	298
Isc Sıcaklık katsayısı (alpha)	/K	Kullanıcı tanımlı	0,00059
Voc Sıcaklık katsayısı (gamma)	/K	Kullanıcı tanımlı	-0,00381
Vochesaplanmasında kullanılan Ampirik katsayı (beta)	-	Kullanıcı tanımlı	0,0578
Seri bağlı hücre sayısı (panel değil)	-	Kullanıcı tanımlı	36
Paralel bağlı dalların sayısı	-	Kullanıcı tanımlı	1
Panel sayısı (N)	-	Çatı alanı ve FV verimine bağlıdır	10

Yük Tipi	-	0-maksimum güç, 1-sabit voltaj	0
Yük Değeri	V	Kullanıcı tanımlı	0
Gölgelendirme kaybının telafisi	-	0-varsayılan,1-orantılı güç kaybı, 2-toplam güç kaybı, 3-Doğrudan radyasyon güç kaybı (yalnızca diffüz bileşeni)	0
Çeşitli kayıp faktörü	-	Kullanıcı tanımlı	0,1
Verim (η)	%		11,7

5.2.4 Güneş Enerjisi İle Su Isıtma Sistemi verileri

Güneş enerjisi sistemine ait parçalar ve bu parçaların kullanım şekilleri hakkında detaylı bilgi EK-6'da verilmiştir, sisteme ait proforma fatura EK-5'de verilmiştir.

Konutta kullanılması öngörülen güneş enerjisi sisteminin tasarımında kullanılan veriler Çizelge 5-13'de verilmiştir.

Çizelge 5-13 Güneş enerjisi sistemi verileri

Ürün Tanımı	Miktar	Birim
940x1940x95 mm Güneş Kollektörü	10	Adet
10 adet güneş kollektörü	18	m ²
Elektrostatik Boyalı Demonte Sehpa	3	Adet
Bağlantı Elemanı (Basınç Düşürücü,HavaPrujörü,EmniyetVentili,Çekvalf,v.s.)	3	Adet
300 Lt Poliüretan İzoleli Emaye İç Depo Flanşlı	3	Adet
Konutun Yıllık Sıcak Su İçin Enerji Tüketimi	2.059	m ³ /yıl
Konutun Sıcak Su Tüketimi	1.296	kg/gün
Sistem Yatırım Maliyeti	10.000	TL
Sistem Yıllık İşletme Maliyeti	50	TL

5.2.5 Toprak Kaynaklı Isı Pompası Verileri

TKIP sistemine ait parçalar ve bu parçaların kullanım şekilleri hakkında detaylı bilgi EK-7'de verilmiştir, sisteme ait proforma fatura EK-5'de verilmiştir.

5.3 Ekonomik Analizlerde Kullanılan Veriler

Bu kısımda model konuta uygulanan senaryoların ekonomik analizinde kullanılan yatırım maliyeti verileri, elektrik tarifesi, doğalgaz tarifesi ve faiz verileri verilmiştir.

5.3.1 Yalıtım Maliyet Verileri

Senaryolarda kullanılması öngörülen ve model konutta mevcut olan sistem parçaları ve diğer kurulum giderleri için temin edilen fiyatlar EK-5’de yer almaktadır.

5.3.2 Elektrik Tarifesi

Son sekiz yıla ait elektrik fiyat tarifelerinden elde edilen elektrik fiyat verisinin [109] analizi Çizelge 5-14’de gösterilmektedir.

Çizelge 5-14 Elektrik tarifesi veri analizi

Tarih	Yıllık Ortalama Fiyatı, TL/kWh	Yıllık Artış, kr/kWh	Yıllık Artış, %
01.01.2008	0,16		
07.01.2009	0,18	3,24	12
14.01.2010	0,20	1,61	12
21.01.2011	0,22	0,51	11
28.01.2012	0,24	3,25	10
03.01.2013	0,26	2,95	8
10.01.2014	0,28	0,07	8
01.04.2015	0,31	2,59	9

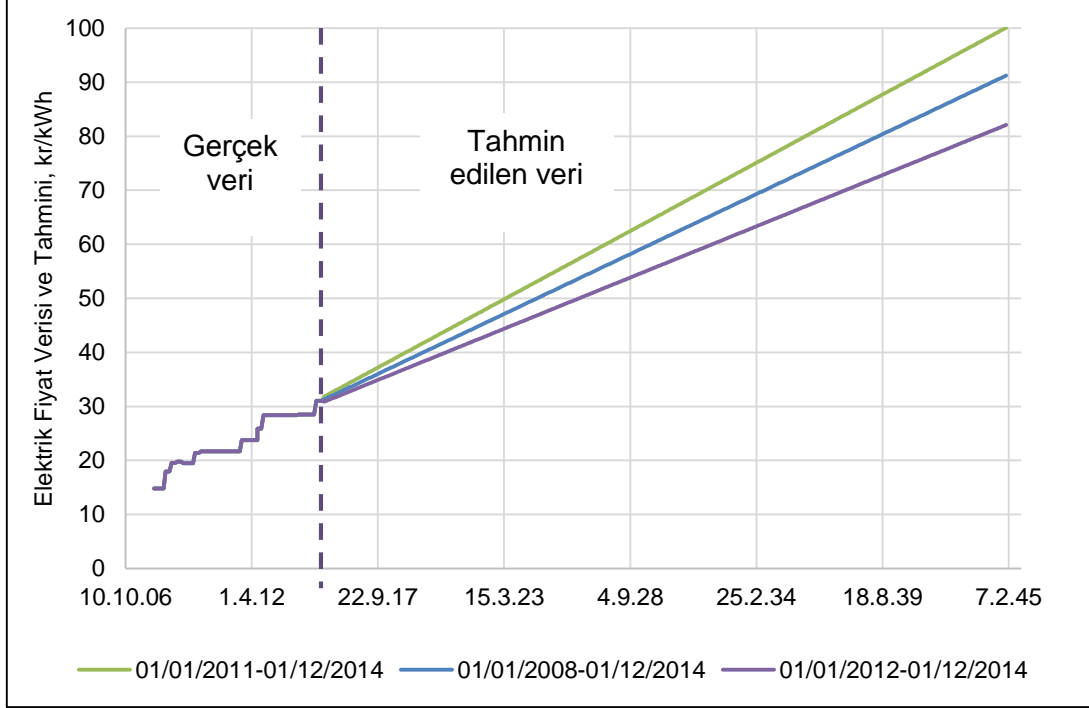
Farklı tarih aralığındaki elektrik verileri kullanılarak her aralık için eğri denklemi oluşturulmuş ve bu denklemler kullanılarak gelecek yıllara ait elektrik fiyatı tahmin edilmiştir. Farklı tarih aralıkları için elde edilen elektrik fiyat tahmin denklemleri Çizelge 5-15’de verilmiştir.

Çizelge 5-15 Farklı tarih aralıkları için elektrik fiyat tahmin denklemleri

Tahmin No	Elektrik Fiyat Tahmini İçin Kullanılan Veri Aralığı	Eşitlik
E1	01/01/2011-01/04/2015	$y = 0,0063x - 2$
E2	01/01/2008-01/14/2015	$y = 0,0055x - 2$
E3	01/01/2012-01/04/2015	$y = 0,0047x - 1$

Çizelge 5-15’de eşitlik sütununda görülen eşitliklerde x hesaplamının yapıldığı güne ait tarihi, y ise hesaplamının yapıldığı gün için elektrik fiyatı tahmin sonucunu vermektedir. Çizelge 5-15’de bulunan denklemlerin kullanılması ile gelecek yıllar

için yapılan elektrik fiyat tahmini eğrileri tahminin yapıldığı her tarih aralığı için Şekil 5-19'da görüldüğü gibi elde edilmiştir.



Şekil 5-19 Elektrik fiyat verisi ve tahmini, kr/kWh

Diğer iki tahminin ortasında olması sebebi ile senaryoların GÖS hesaplanırken, E2 kodlu fiyat tahmini kullanılmıştır.

5.3.3 Doğalgaz Tarifesi

Son on yıla ait doğalgaz fiyat tarifesine göre elde edilen doğalgaz fiyat verisinin ([110], [111]) analizi Çizelge 5-16'da gösterilmiştir.

Çizelge 5-16 Doğalgaz tarifesi veri analizi

	Yıllık Ortalama Fiyatı, TL/m ³	Yıllık Artış, TL/m ³	Yıllık Artış, %
1.12.2005	0,44	0,10	30
1.12.2006	0,55	0,10	24
1.12.2007	0,62	0,07	13
1.12.2008	0,70	0,08	14
1.12.2009	0,73	0,02	3
1.12.2010	0,72	0,00	-1
1.12.2011	0,75	0,03	4

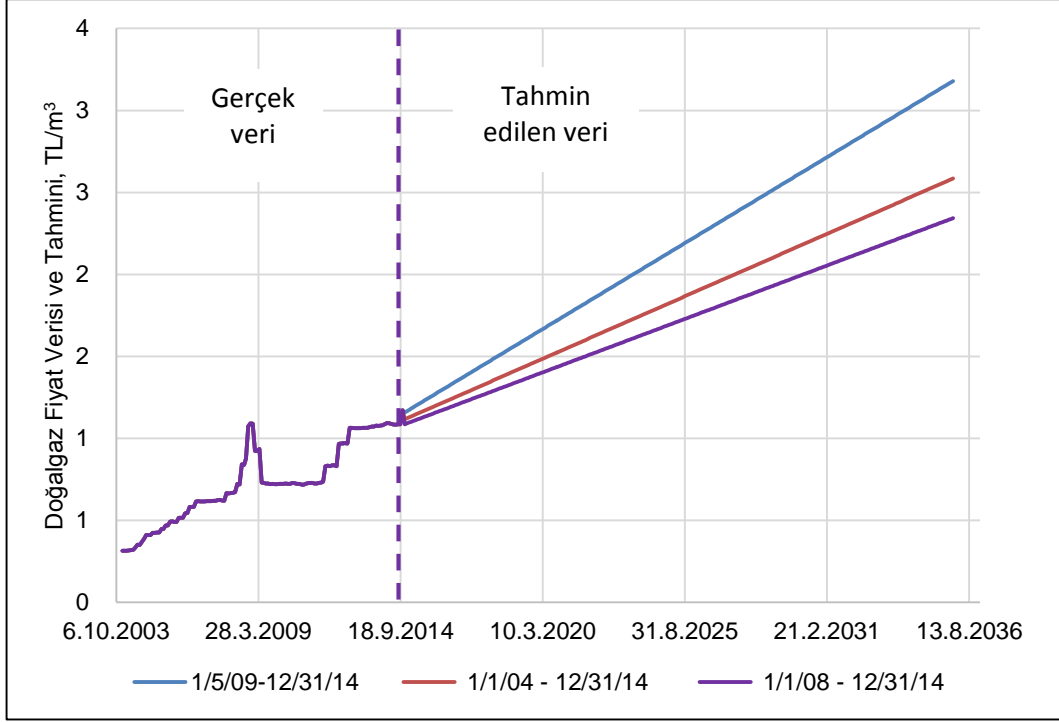
1.12.2012	0,96	0,21	27
1.12.2013	1,07	0,11	11
1.12.2014	1,09	0,03	2
1.04.2015	1,18	0,07	6,9

Farklı tarih aralığındaki doğalgaz verileri kullanılarak her aralık için eğri denklemi oluşturulmuş ve bu denklemler kullanılarak gelecek yıllara ait doğalgaz fiyatı tahmin edilmiştir. Farklı tarih aralıkları için elde edilen doğalgaz fiyat tahmin denklemleri Çizelge 5-17'de verilmiştir.

Çizelge 5-17 Farklı tarih aralıkları için doğalgaz fiyat tahmin denklemleri

Tahmin No	Doğalgaz Fiyat Tahmini İçin Kullanılan Veri Aralığı	Eşitlik
D1	01/05/09 - 01/01/15	$y=0,00026x - 9,8$
D2	01/01/04 - 01/01/15	$y=0,00019x - 6,9$
D3	01/01/08- 01/01/15	$y=0,00016x - 5,7$

Çizelge 5-17'de eşitlik sütununda görülen eşitliklerde x hesaplamasının yapıldığı güne ait tarihi, y ise hesaplamasının yapıldığı gün için doğalgaz fiyatı tahmin sonucunu vermektedir. Çizelge 5-17'de bulunan denklemlerin kullanılması ile gelecek yıllar için yapılan doğalgaz fiyat tahmini eğrileri Şekil 5-20'de görüldüğü gibi elde edilmiştir.



Şekil 5-20 Doğalgaz fiyat verisi ve tahmini, TL/m³

Diğer iki tahminin ortasında olması sebebi ile senaryoların GÖS hesaplanırken, D2 kodlu fiyat tahmini kullanılmıştır.

5.3.4 Enflasyon ve Faiz Oranları

Türkiye İstatistik Kurumu tarafından Ocak-Aralık 2013 ayları arasında açıklanan yıllık nominal faiz değerlerinin ortalaması alınarak 2013 yılı ortalama yıllık nominal faiz oranı 0,065 olarak hesaplanmıştır [112]. Bu sebeple, bu çalışmada GÖS hesaplanırken yıllık nominal faiz 0,065 olarak kullanılmıştır. Yıllık nominal faizin geçmiş yıllarda büyük değişiklik göstermesinden dolayı uzun dönemde 0,04 ve 0,08 değerleri arasında olabileceği durumlarda da GÖS hesaplamaları yapılmıştır.

5.4 Konutun Enerji Kimlik Belgesi Verileri

Enerji Kimlik Belgesi hakkında detaylı bilgi EK-8'de yer almaktadır. Binalarda enerji performansı yönetmeliğinde yer alan Birincil Enerjiye Göre Referans Göstergesi (RG), binanın enerji tüketimi ile kıyaslanarak binanın enerji sınıfı belirlenir. Her enerji sınıfı için enerji tüketimi değerinin değiştiği aralık Çizelge 5-18'de verilmiştir [54].

Çizelge 5-18 Birincil Enerji Tüketimlerine Göre Enerji Sınıfı Endeksi (EP), kg eşd.CO₂ / m²-yıl [54]

Bina Enerji Sınıfı	Birincil Enerji Tüketimlerine Göre Enerji Sınıfı Endeksi (EP)	
A	EP <	0,40*RG
B	0,40*RG ≤ EP <	0,80*RG
C	0,80*RG ≤ EP <	RG
D	RG ≤ EP <	1,20*RG
E	1,20*RG ≤ EP <	1,40*RG
F	1,40*RG ≤ EP <	1,75*RG
G	1,75*RG ≤ EP	

Binalarda enerji performansı yönetmeliğinde yer alan Sera Gazı Referans Göstergesi (SRG), binanın sera gazı salımı ile kıyaslanarak binanın emisyon sınıfı belirlenir. Her emisyon sınıfı için sera gazı salım sınıfı değerinin değiştiği aralık Çizelge 5-19'da verilmiştir [54].

Çizelge 5-19 Nihai Enerji Tüketimlerine Göre Sera Gazı Emisyon Sınıfı (SEG), kg eşd. CO₂/m²-yıl [54]

Bina Enerji Sınıfı	Nihai Enerji Tüketimlerine Göre Sera Gazı Emisyon Sınıfı Endeksi (SEG)	
A	SEG <	0,40*SRG
B	0,40*SRG ≤ SEG <	0,80*SRG
C	0,80*SRG ≤ SEG <	SRG
D	SRG ≤ SEG <	1,20*SRG
E	1,20*SRG ≤ SEG <	1,40*SRG
F	1,40*SRG ≤ SEG <	1,75*SRG
G	1,75*SRG ≤ SEG	

Çizelge 5-18 ve Çizelge 5-19'da görüldüğü üzere, Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü mevzuatında yer alan EP ve SEG değerleri eşdeğer CO₂ üzerinden verilmiştir. Konutlarda kullanılan kombilerde doğalgazın tam yanması sonucunda yanma ürünlerinin sadece CO₂ ve H₂O olduğu varsayılmıştır. Bu durumda CO₂ eşdeğeri olarak verilen değerlerin CO₂ emisyonu ile aynı olduğu varsayılmıştır.

EK-8'de binalarda Enerji Kimlik Belgesi uygulamaları hakkında detaylı bilgi verilmiştir. Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği'nde yer alan Türkiye'de ısıtma bölgelerine göre konutların referans enerji tüketimi Çizelge EK-8 1'de verilmiştir [54].

Ankara 3. Isıtma Bölgesi'nde yer almaktadır [113]. Bu durumda Ankara'da müstakil konutlarda referans enerji tüketimi (RG) Çizelge EK-8 1'e göre 285 kWh/m²-yıl'dır. Bu RG değeri kullanılarak Ankara'da bulunan müstakil konutlar için her enerji sınıfında bulunan konutların enerji tüketim değerinin değiştiği aralık Çizelge 5-18 kullanılarak hesaplanmış ve sonuçlar Çizelge 5-20'de verilmiştir.

Çizelge 5-20 Ankara'da müstakil konutlar için birincil enerji tüketimlerine göre enerji sınıfı endeksi (EP), kWh/m²-yıl

Bina Enerji Sınıfı	Birincil Enerji Tüketimlerine Göre Enerji Sınıfı Endeksi (EP)
A	EP < 114
B	114 ≤ EP < 228
C	228 ≤ EP < 285
D	285 ≤ EP < 342
E	342 ≤ EP < 399
F	399 ≤ EP < 499
G	499 ≤ EP

Ankara'da müstakil konutlar için referans sera gazı salımı (SRG) Çizelge EK-8 2'e göre 47 kg-CO₂/m²-yıl olmaktadır. Bu SRG değeri kullanılarak Ankara'da bulunan müstakil konutlar için her enerji sınıfında bulunan konutların sera gazı salım değerinin değiştiği aralık Çizelge 5-19 kullanılarak hesaplanmış ve sonuçlar Çizelge 5-21'de verilmiştir.

Çizelge 5-21 Ankara'da müstakil konutlar için Nihai Enerji Tüketimlerine Göre Sera Gazı Emisyon Sınıfı Endeksi (SEG), kg-CO₂/m²-yıl

Bina Enerji Sınıfı	Nihai Enerji Tüketimlerine Göre Sera Gazı Emisyon Sınıfı Endeksi (SEG)
A	SEG < 19
B	19 ≤ SEG < 38
C	38 ≤ SEG < 47
D	47 ≤ SEG < 56
E	56 ≤ SEG < 66
F	66 ≤ SEG < 82
G	82 ≤ SEG

5.5 Senaryo Sonuçlarının Genelleştirilmesinde Kullanılan Veriler

5 Haziran 2015 tarihi itibari ile Türkiye’de ve Ankara’da bulunan müstakil konutların enerji sınıfı Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Mekansal Hizmetler Genel Müdürlüğü, Enerji Verimliliği Dairesi Başkanlığı’ndan temin edilmiş ve bu veriler Çizelge 5-22’de verilmiştir. Daha sonra her enerji sınıfının toplam bina sayısına oranı hesaplanarak Ankara’da EKB’si bulunan binaların oranı hesaplanmış ve Çizelge 5-22’de verilmiştir.

Çizelge 5-22 Ankara’da EKB bulunan konutların enerji sınıfı dağılımı

Bina Enerji Sınıfı	Ankara’da EKB Bulunan Bina Sayısı	Ankara’da EKB Bulunan Binaların Her Enerji Sınıfı İçin Oranı, %
A	26	0,12
B	8.166	38,76
C	12.704	60,31
D	83	0,39
E	21	0,10
F	52	0,25
G	14	0,07

TUIK istatistiklerine göre 2005 yılından itibaren Ankara’da tamamen veya kısmen biten bir daireli müstakil yeni ve ilave yapıların yüzölçümü Çizelge 5-23’de verilmiştir.

Çizelge 5-23 Ankara’da Tamamen veya kısmen biten yeni ve ilave yapıların yüzölçümü [4]

YIL	İkamet amaçlı bir daireli binalar, m ²
2005	265.270
2006	238.005
2007	269.536
2008	273.336
2009	300.359
2010	457.422
2011	560.403
2012	372.377
2013	693.270
2014	672.145
Toplam	4.102.123

Çizelge 5-23'de verilen verilere göre 2005 yılından itibaren Ankara'da 4.102.123 m² bir dairesel müstakil bina yapılmıştır. Bu alan Çizelge 5-22'de bulunan her enerji sınıfının oranı ile çarpılması sonucunda Çizelge 5-24 elde edilmiştir.

Çizelge 5-24 Her enerji sınıfında Ankara'da 2005'den itibaren yapılan bir dairesel bina alanı dağılımı

Bina Enerji Sınıfı	Ankara'da EKB Bulunan Binaların Her Enerji Sınıfı İçin Oranı, %	Ankara'da 2005'den itibaren yapılan bir dairesel bina alanı, m ²
A	0,12	5.063
B	38,76	1.590.142
C	60,31	2.473.814
D	0,39	16.162
E	0,10	4.089
F	0,25	10.126
G	0,07	2.726

5.6 Bölüm Sonucu

Bu bölümde konutun modellemesinde kullanılan mimari çizim ve fiziksel özellik verileri, ısı kazanç verileri, saatlik elektrik tüketim verisi, iklim verisi, yer altı toprak sıcaklığı verisi ve modelin kalibrasyonunda kullanılan doğalgaz ölçüm verisi verilmiştir. Buna ek olarak senaryolarda ve senaryoların ekonomik analizinde kullanılan veriler de verilmiştir. Son olarak konutun EKB belirlenirken kullanılan veriler ve senaryoların Ankara iline uygulanması durumunda kullanılan veriler verilmiştir.

6 MODELİN OLUŞTURULMASI VE SENARYOLARIN UYGULANMASI

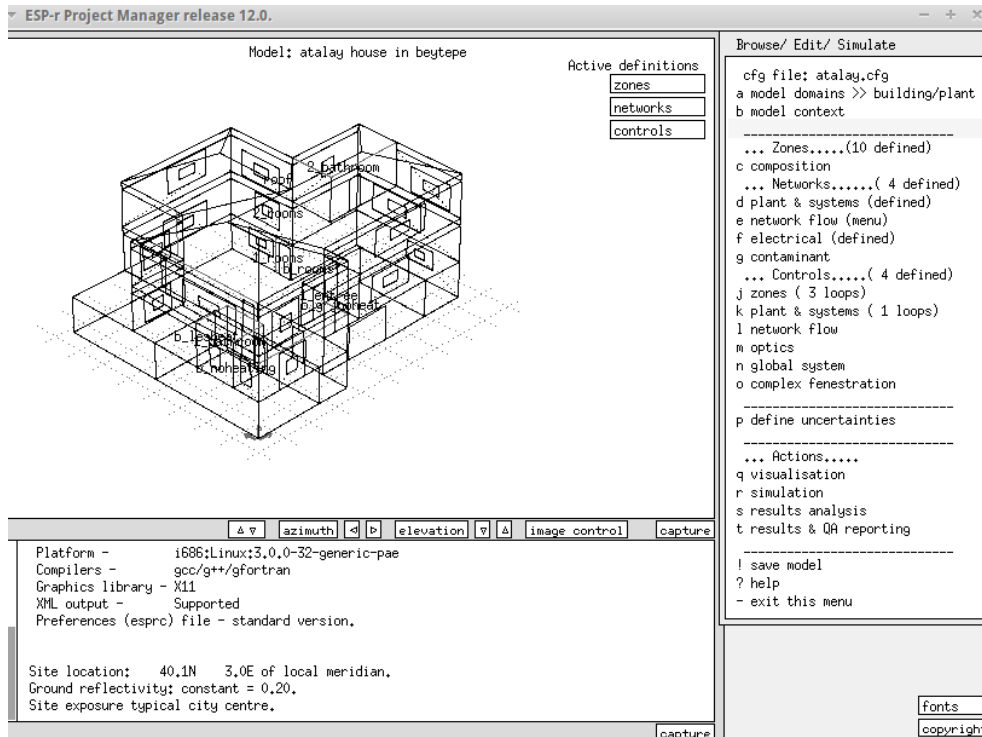
Bu bölümde elde edilen veriler doğrultusunda konutun ESP-r bina enerji simülasyon yazılımları ortamında modelinin oluşturulması, modelin kalibre edilmesi ve oluşturulan modele senaryoların uygulanması anlatılmaktadır.

6.1 Modelin Oluşturulması

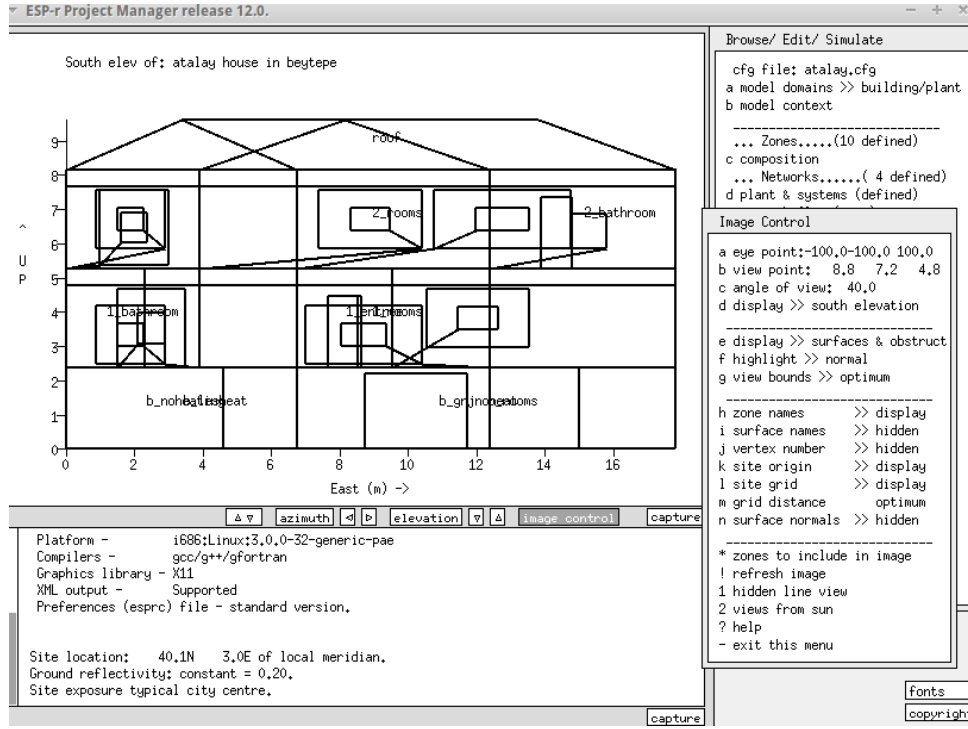
Bu çalışmada Ankara'da bulunan müstakil bir konutun bilgisayar ortamında saatlik ısıtma talebi modeli ESP-r bina simülasyon programı kullanılarak yapılmıştır. Bu bölümde ESP-r programında yapılan modelleme çalışması hakkında detaylı bilgi verilmiştir.

6.1.1 Geometrik Modelin Oluşturulması

Hane sahibinden alınan mimari çizim kullanılarak konutun ESP-r'da oluşturulan geometrik modeli Şekil 6-1'de, konutun güney yönünden görüntüsü Şekil 6-2'de verilmiştir.



Şekil 6-1 Konutun geometrik modeli



Şekil 6-2 Konutun güney görüntüsü

Konutta zemin kat, birinci ve ikinci kat olmak üzere toplam üç kat vardır. Konutun geometrik şekli oluşturulurken odaların sıcaklıkları göz önüne alınarak konut on bölgeye bölünmüştür.

Model konutta her katta farklı sıcaklıklarda tutulan odalar vardır. Konutta 15 °C'de tutulan depo odaları, 22 °C'de tutulan odalar, 24 °C'de tutulan banyolar ve ısıtılmayan bölgeler vardır. Oluşturulan bölgeler ve özellikleri Çizelge 6-1'de verilmiştir.

Çizelge 6-1 Geometrik modelde oluşturulan bölgelerin özellikleri

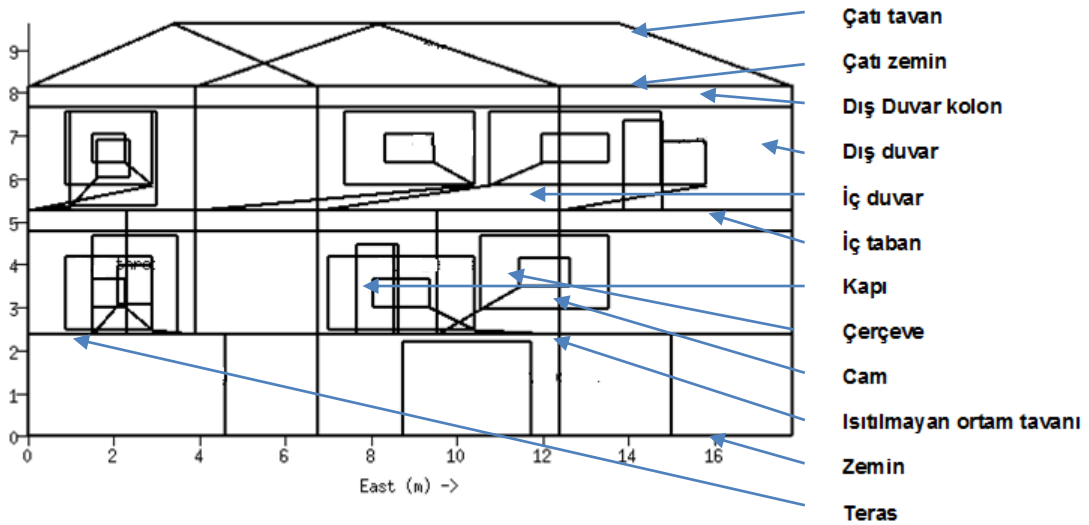
Bölge No	Bölge adı	Konumu	Açıklaması	Bölge sıcaklığı
1	b_ısıtmayok	Zemin kat	Zemin katta ısıtılmayan odaları içerir	Isıtma yok
2	b_azısıtma	Zemin kat	Zemin katta az ısıtılan depolama odalarını içerir	15 °C
3	b_odalar	Zemin kat	Zemin katta ikamet amaçlı kullanılan odaları içerir	22 °C
4	b_garaj	Zemin kat	Zemin katta ısıtılmayan garajı içerir	Isıtma yok
5	1_odalar	Birinci kat	Birinci katta ikamet amaçlı kullanılan odaları içerir	22 °C
6	1_banyo	Birinci kat	Birinci katta bulunan banyoları içerir	24 °C
7	1_antre	Birinci kat	Birinci katta bulunan antreyi içerir	Isıtma yok
8	2_odalar	İkinci kat	İkinci katta ikamet amaçlı kullanılan odaları içerir	22 °C

9	2_banyo	İkinci kat	İkinci katta bulunan banyoları içerir	24 °C
10	Çatı	Çatı katı	Çatı boşluğunu içerir	Isıtma yok

6.1.2 Malzeme Ve Yapıların Oluşturulması

ESP-r programında malzeme veri tabanı mevcuttur fakat mevcut konutta kullanılan bazı malzemeler bu veri tabanında bulunmadığından ESP-r'ın malzeme veri tabanına yeni malzemeler eklenmiştir.

ESP-r'ın aynı zamanda konutta kullanılan duvar, pencere camı, kapı gibi inşaat yapılarını içeren yapı veri tabanı bulunmaktadır. Yapı veri tabanındaki yapılar, malzeme veri tabanından istenilen malzemelerin seçilmesi ile oluşturulmuştur. Modellenen konut için ESP-r'ın yapı veri tabanında bulunmayan inşaat yapıları için ESP-r'ın yapı veri tabanına yeni yapılar eklenmiştir. Çizelge 5-1'de verilen konutun inşasında kullanılan yapılar, ESP-r ortamında oluşturulmuş ve bu yapıların konumu Şekil 6-3'de verilmiştir.



Şekil 6-3 Binaın modelinde kullanılan yapılar

Konutun modelinde farklı katlardaki farklı sıcaklık bölgeler için oluşturulan on adet bölgede kullanılan yapılar Çizelge 6-2'de verilmiştir

Çizelge 6-2 Bölgelerde kullanılan yapılar

Yapı adı	Bölge adı									
	Bölge 1 (b_ısıtmayok)	Bölge 2 (b_azısıtma)	Bölge 3 (b_odalar)	Bölge 4 (b_garaj)	Bölge 5 (1_odalar)	Bölge 6 (1_banyo)	Bölge 7 (2_odalar)	Bölge 8 (2_banyo)	Bölge 9 (Çatı)	Bölge 10 (1_antre)
Dış duvar	√	√	√	√	√	√	√	√		√
Dış Duvar kolon					√	√	√	√		
İç duvar	√	√	√		√			√		
Zemin	√	√	√	√						
İç taban					√	√	√	√		√
Kapı	√	√	√	√	√	√	√	√		√
Çerçeve			√		√					
Cam			√		√	√	√	√		
Panjurlu cam					√		√			
Çatı zemin							√	√		
Çatı tavan									√	
Isıtılmayan ortam tavanı	√			√						
Teras		√								

6.1.3 Yapıların Isı İletkenlik Katsayılarının (U Değeri) Hesaplanması

Yapıların ısı geçirgenlik katsayıları (U değeri) ESP-r programı tarafından, yapıda kullanılan malzemelerin özelliklerine göre hesaplanmaktadır. Bu kısımda dış ortam ile ısıtılan ortam arasındaki ısı kaybına neden olan yapıların ısı geçirgenlik katsayısı hesaplamaları verilmiştir. Yapıların U değerlerini hesaplamak için, ilk olarak Çizelge 5-1'de bulunan malzemelerin kalınlık ve ısı iletkenlik katsayısı (k) değerlerini kullanarak Eşitlik 6-1 ile her bir malzemenin termal direnç (R) değerleri hesaplanmıştır.

$$R_i = \frac{x}{k} \quad 6-1$$

Bu eşitlikte;

- R_i :Malzemenin termal direnci, m²K/W
 k :Isı iletkenlik katsayısı, W/mK
 x :Malzemenin kalınlığı, m

Yapının toplam direnci, yapıyı oluşturan bütün malzemelerin dirençleri toplanarak Eşitlik 6-2 kullanılarak elde edilmiştir.

$$R = \sum_{i=1}^n R_i \quad 6-2$$

Bu eşitlikte;

- R :Toplam direnç, m²K/W
 n :Malzeme sayısı

Daha sonra, ısı kaybına neden olan Şekil 6-3'de gösterilen yapıların toplam ısı geçirgenlik katsayıları (U değeri) Eşitlik 6-3 kullanılarak hesaplanmış ve bu değerler Çizelge 6-3'da verilmiştir.

$$U = \frac{1}{R}$$

6-3

Bu eşitlikte;

U :Isı geçirgenlik katsayısı, W/m²K

6.1.3.1 Genel Çizelge

Dış cephe ile temas eden yapıların termal direnç değerleri (R) ve ısı geçirgenlik katsayısı (U) hesaplamaları detaylı olarak EK-9'da, genel çizelge olarak ise Çizelge 6-3'de verilmiştir.

Çizelge 6-3 Yapıların termal direnç (R) ve ısı geçirgenlik katsayıları (U)

Yapı adı	Termal Direnç, R _i , m ² K/W	Isı geçirgenlik katsayısı, U, W/m ² K
Dış duvar	2,43	0,41
Dış duvar kolonu	1,89	0,52
Çatı (2. Kat tavanı)	0,17	5,63
Çatı (Dış ortam ile temas eden)	0,22	4,53
Pencere (cam-panjur)	0,08	12,77
Pencere(cam)	0,02	63,33
Çerçeve (çerçeve-panjur)	0,38	2,66
Çerçeve (çerçeve)	0,31	3,20
Kapı	0,13	7,60
Zemin (Toprağa temas eden)	2,73	0,36
Isıtılmayan ortam tavanı	1,86	0,53

6.1.4 Isı Kazançlarının Oluşturulması

Isı kazanç bilgileri Çizelge 5-2, Çizelge 5-3 ve Çizelge 5-5'de yer alan veriler kullanılarak ESP-r'a girilmiştir.

6.1.5 Isıtma Sisteminin Oluşturulması

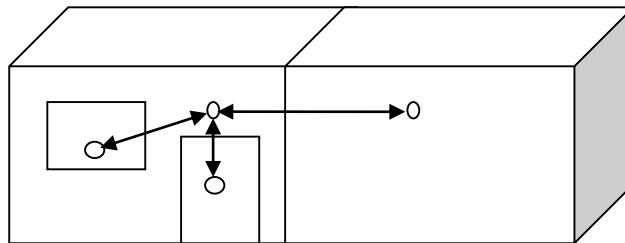
Modellenecek konut doğalgaz kullanan kombi ile ısıtılmaktadır. Konutun enerji tüketiminin ESP-r ortamında modellenmesi ile konutun toplam ısıtma talebi belirlenmiştir. Elektrikli ısıtma sisteminin % 100 verim ile çalışması nedeni ile konutun ısıtma sistemi elektrik ısıtma sistemi olarak tanımlanmıştır. Daha sonra, kombinin çalışma verimi ve Türkiye'de kullanılan doğalgazın üst ısıl değeri (UID) göz önüne alınarak ESP-r'ın hesapladığı enerji tüketim miktarının doğalgaz eşdeğeri hesaplanmıştır.

Konut modellenirken oda sıcaklıklarının tanımlanması için bir kontrol döngüsü tanımlanmıştır. Çizelge 6-1'de konutta ısıtılan odaların sıcaklık dereceleri verilmiştir. Farklı sıcaklıklarda tutulan depo, oda ve banyolar için ayrı ayrı toplam üç adet kontrol döngüsü tanımlanmıştır.

Konutta yapılan doğalgaz ölçümü sonucunda, ısıtma sisteminin 30 Nisan-30 Eylül tarihleri arasında kullanılmadığı gözlenmiştir. Bu sebepten, bütün kontrol döngülerinde ısıtma sistemi 1 Ocak- 30 Nisan (1.-120. Günler) ve 28 Eylül-31 Aralık (271.-365. günler) arasında çalışmaktadır.

6.1.6 Hava Akış Ağı Oluşturulması

Konutta kapılardan ve pencerelerden giren havanın simülasyon yazılımı tarafından algılanabilmesi için "Hava Akış Ağı" tanımlanmıştır. Hava akış ağını tanımlamak için her oda, pencere ve kapı için bir düğüm noktası tanımlanır. Oluşturulan düğüm noktaları arasında bağlantı oluşturulurken; her bir oda-oda, oda-pencere, oda-kapı arasında bağlantı tanımlanmalıdır. Şekil 6-4'de iki odalı örnek bir ev için tanımlanması gereken düğüm noktası bağlantıları gösterilmiştir.



Şekil 6-4 Hava akış ağı için düğüm noktası bağlantıları

ESP-r'da pencerelerden doğal havalandırma ile giren havanın miktarını belirlemek için pencerelere belirli bir açıklık alanı tanımlanır. Bu modelde pencereler için yılın belirli tarih aralıklarında her mevsim için farklı açıklıklar tanımlanmıştır.

Simülasyon sonucunda elde edilen ısıtma talebi tahminine ölçülen ısıtma talebinin en yakın olduğu havalandırma miktarı konutun havalandırılması olarak kabul edilmiş ve bu yöntemle konutun havalandırma miktarı tespit edilmiştir.

Konutun toplam pencere alanı 73 m²'dir. Konutta ısıtma sisteminin çalıştırıldığı tarihlerde pencereler için tanımlanan açıklık miktarı ve açık alanın toplam alana oranı Çizelge 6-4'de gösterilmiştir.

Çizelge 6-4 Pencerelerin açılma yüzey alanı ve tarihleri

Tarih	Pencere açıklık alanı, m ²	Pencere açıklık yüzdesi, %
Ocak	0,15	0,21
Şubat		
1-8 Mart	0,75	1,03
9-16 Mart	0,25	0,34
17-30 Mart	0,50	0,68
31 Mart-13 Nisan	0,25	0,34
14-30 Nisan	1,75	2,40
1-11 Ekim	1,00	1,37
12-19 Ekim	0,10	0,14
20-31 Ekim	1,50	2,05
Kasım	0,25	0,34
Aralık		

Çizelge 6-4'de yer alan pencere açıklık oranına göre konutun saatlik hava değişim oranı (ACH: Air Changing per Hour) ortalama 0,62 ACH olarak hesaplanmıştır. Konutların havalandırılmasında ASHRAE standartlarına göre saatlik hava değişim oranının en az 0,35 ACH olması uygun görülmüştür [114]. Bu sebeple konutun mevcut havalandırma miktarının kabul edilebilir olduğu sonucuna varılmıştır.

6.2 Modelin Kalibre Edilmesi

Konutta ölçülen ısıtma amaçlı doğalgaz tüketiminin simülasyon sonuçları ile kalibre edilmesi hakkında detaylı bilgi kısım 4.3.7'de verilmiştir. Bina enerji simülasyon

programının konutun ısıtılması amaçlı enerji tüketimi tahmin performansını analiz etmek için uygulanan değerlendirme yöntemleri hakkında detaylı bilgi EK-3'de verilmiştir.

6.3 Senaryoların Modele Uygulanması

Konutlarda ısıtma talebinin modellenmesi ile ilgili çalışmaların incelenmesi ve Ankara'nın iklimine uygun olan enerji tüketimini azaltma metotlarının gözden geçirilmesi sonucunda bu çalışmada, Çizelge 6-5'de görülen senaryoların uygulanmasına karar verilmiştir. Bu senaryolar, oluşturulan modele uygulanarak enerji tüketimindeki ve CO₂ salımındaki azalmalar hesaplanmıştır.

Çizelge 6-5 Konutun enerji tüketimini azaltmak için modele uygulanacak senaryolar

Senaryo	Senaryo Kodu	Mevcut Durum	Uygulanacak Durum
PENCERE CAMI TİPİ	S.1-a	Konutta 12 mm hava boşluklu çift cam bulunmaktadır	Argon ile doldurulmuş, 16 mm boşluklu, şeffaf çift cam uygulanması
	S.1-b		Argon ile doldurulmuş, 16 mm boşluklu, şeffaf üç kat cam uygulanması
YALITIM	S.2-a	Konutun dış duvarında ısı iletkenlik katsayısı $k=0,04$ W/mK olan 80 mm yalıtım bulunmaktadır	$k=0,04$ W/mK ve kalınlığı 90 mm olan polistren köpük yalıtım uygulanması
	S.2-b		$k=0,035$ W/mK ve kalınlığı 80 mm olan Foamboard 2500 P (XPS) yalıtım uygulanması
	S.2-c		$k=0,035$ W/mK ve kalınlığı 90 mm olan yalıtım uygulanması
	S.2-d	Konutun çatısında yalıtım bulunmamaktadır	Çatıya $k=0,035$ W/mK ve kalınlığı 100 mm olan XPS yalıtım uygulanması [107]
CAM + YALITIM	S.3	Konutta 12 mm hava boşluklu çift cam, dış duvarda $k=0,04$ W/mK olan 80 mm yalıtım vardır ve çatıda yalıtım bulunmamaktadır	Pencere camlarına 3 camlı argon, dış duvara $k=0,035$ W/Mk olan 90 mm Foamboard 2500 P (XPS) yalıtım ve çatıya 100 mm XPS yalıtım [107] levhasının aynı anda uygulanması
FV	S.4	Konutta FVP bulunmamakta	Konutun güney doğu ve güney batıya bakan çatısına FV eklenmesi
SICAK SU	S.5	Konutun sıcak su ihtiyacı kombi ile doğalgaz kullanılarak sağlanmakta	Konuta güneş enerjisi sisteminin eklenmesi
TKIP	S.6	Konut ısıtma ihtiyacını doğalgaz kullanan kombi ile sağlamaktadır Kaynaklı	Konuta ısıtma ihtiyacını karşılamak için TKIP eklenmesi

		Isı Pompası bulunmamaktadır	
--	--	-----------------------------	--

Konutta doğalgaz tüketiminin 2013 yılında ölçülmesi sebebi ile modelin kalibrasyonu 2013 iklim verisi kullanılarak yapılmıştır. Modelin kalibrasyonu tamamlandıktan sonra modele normal iklim verisi girilip senaryolar uygulanmıştır. Normal iklim verisi ise ABDEB tarafından Ankara için oluşturulan iklim verisidir [115]. Bu veri IWEC (International Weather for Energy Calculations) formatındadır. IWEC dosyaları “ASHRAE Research Project 1015 by Numerical Logics and Bodycote Materials Testing Canada for ASHRAE Technical Committee 4.2 Weather Information” çalışmasının bir sonucudur. IWEC dosyaları bina enerji simülasyon programlarının kullanımına uygun formatta olan normal iklim verileridir. Bu veriler, orjinalleri ABDEB Milli İklim Veri Merkezi’nde arşivlenen, 18 yıllık saatlik verilerden oluşturulmuştur [76].

6.3.1 Fiziksel Yapıda İyileştirme Senaryoları

Bu kısımda konutun fiziksel yapısında iyileştirmeleri öngören senaryolar açıklanmıştır.

6.3.1.1 Pencerelerin İyileştirilmesi

Konutta 12 mm hava boşluklu çift cam kullanılmaktadır. Bu durumda konuttun bir yıl boyunca ısıtma talebi bilinmektedir.

- Mevcut camın 16 mm argon boşluklu çift cam olması durumunda oluşan enerji tüketimi hesaplanmıştır.
- Mevcut camın 16 mm argon boşluklu üçlü cam olması durumunda oluşan enerji tüketimi hesaplanmıştır.

6.3.1.2 Yalıtım Malzemesinin İyileştirilmesi

Konutta dış duvarda ısı iletkenlik katsayısı 0,04 W/mK olan 80 mm kalınlıkta yalıtım malzemesi kullanılmaktadır. Konutun çatısında ise yalıtım bulunmamaktadır. Bu durumda konuttun bir yıl boyunca ısıtma talebi belirlenmiştir.

- Konutun dış duvarında bulunan mevcut yalıtımın kalınlığının 90 mm'ye çıkarılması durumunda oluşan enerji tüketimi hesaplanmıştır.
- Konutun dış duvarında bulunan mevcut yalıtım yerine ısı iletkenlik katsayısı $k=0,035$ W/mK olan 80 mm Foamboard 2500 P (XPS) Isı Yalıtım Levhaları [116] kullanılması durumunda oluşan enerji tüketimi hesaplanmıştır.
- Konutun dış duvarında bulunan mevcut yalıtım yerine ısı iletkenlik katsayısı $k=0,035$ W/mK olan 90 mm Foamboard 2500 P (XPS) Isı Yalıtım Levhaları [116] kullanılması durumunda oluşan enerji tüketimi hesaplanmıştır.
- Konutun çatısına ısı iletkenlik katsayısı $k=0,035$ W/mK olan 100 mm XPS Isı Yalıtım Levhaları [107] uygulanması durumunda oluşan enerji tüketimi hesaplanmıştır.

6.3.1.3 Yapısal Senaryoların Birlikte Uygulanması

Konutta 12 mm hava boşluklu çift cam, dış duvarda ısı iletkenlik katsayısı 0,04 W/mK olan 80 mm yalıtım malzemesi bulunmakta ve çatıda yalıtım bulunmamaktadır.

Mevcut cam yerine 16 mm argon boşluklu üçlü cam olması, mevcut dış duvar yalıtımı yerine ısı iletkenlik katsayısı $k=0,035$ W/mK olan 90 mm Foamboard 2500 P (XPS) ısı yalıtım levhaları kullanılması ve çatıya ısı iletkenlik katsayısı $k=0,035$ W/mK olan 100 mm XPS ısı yalıtım levhaları [107] uygulanması durumunda oluşan enerji tüketimi hesaplanmıştır.

6.3.2 Yenilenebilir Enerji Senaryoları

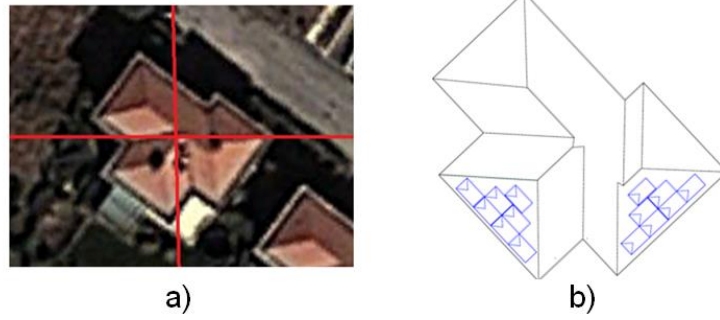
Konutta yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılmasını öngören senaryolarda; ülkemizdeki güneş enerjisi potansiyeli göz önüne alınarak çatıya FVP eklenmesi, GESIS eklenmesi ve mevcut ısıtma sisteminin yerine TKIP kullanılması senaryoları uygulanmıştır.

6.3.2.1 Fotovoltaik Panel Senaryosu

Konutun saatlik elektrik tüketimi bir yıl boyunca ölçülmüştür. Konutun güneydoğu ve güneybatıya bakan çatılarına FVP eklenmesi durumunda oluşacak elektrik üretimi

bina enerji simülasyon programı ile hesaplanmıştır. Fotovoltaik panelin ürettiği elektrik yıllık elektrik tüketimindeki tasarrufu oluşturmaktadır.

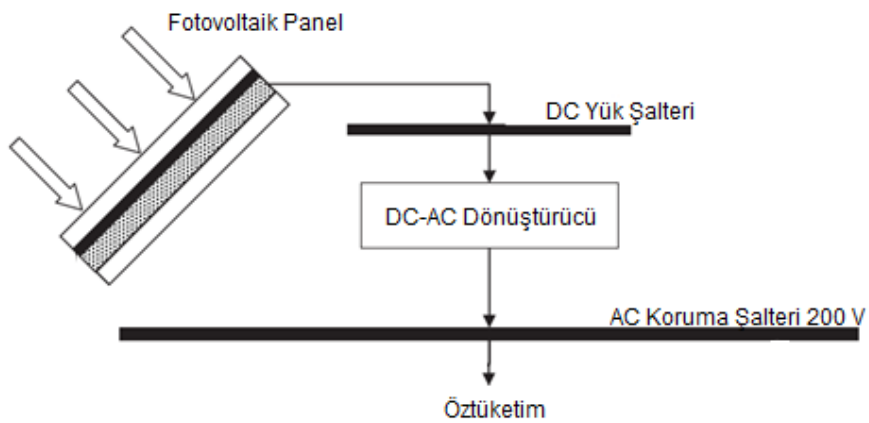
Konutta hali hazırda elektrik ihtiyacı şebekeden sağlanmaktadır. Konutun çatı görünümü ve çatıda FVP eklenebilecek güney-doğu ve güney-batıya bakan çatının bölümleri Şekil 6-5'de verilmiştir.



Şekil 6-5 a) Konutun çatı görünümü b) Çatının FVP eklenebilecek güney-doğu ve güney-batıya bakan bölümleri

Konutun çatısında panel yerleştirilebilecek alan 45 m^2 ve çatının eğimi 23° 'dir. Bu çalışmada ESP-r programının içinde bulunan örnek modellerden "cellular_pv" modelinde yer alan FVP modülü mevcut konuta uygulanmıştır.

ESP-r bina enerji simülasyon yazılımına Mottillo [117] tarafından uygulanan fotovoltaik model; Thevanard [35] tarafından önerilen bir-diyot devre modeline (WATSUN-PV modeli) dayanmaktadır ve fotovoltaik sistemin mimarisi Şekil 6-6'da gösterilmiştir.



Şekil 6-6 Fotovoltaik sistemin mimarisi [118]

BP 380, 80-Watt polykristal FVP modülü kullanılan panelin verileri Çizelge 5-12'de yer almaktadır. Bu veriler kullanılarak “cellular_pv” modeli ile konutun ESP-r ortamında yıllık elektrik üretimi hesaplanmıştır.

6.3.2.2 Toprak Kaynaklı Isı Pompası Senaryosu

Konutta toprak kaynaklı ısı pompası (TKIP) kullanılması senaryosunda ısıtma ihtiyacını karşılayabilmek için gerekli enerji miktarı ESP-r bina enerji simülasyon programı ile hesaplanmıştır.

Konutun ısıtma talebini karşılayabilecek kapasitede olan TKIP'nin özellikleri taşıyan bir TKIP ESP-r'da konutun ısıtma sistemi olarak modellenmiştir. TKIP 32 kW kapasitede ve tesir katsayısı 4,4'dür. Bu verilerle ESP-r programında oluşturulan modele ısıtma sistemi olarak TKIP tanımlanmış ve konutun ısıtma talebi elde edilmiştir.

6.3.2.3 Güneş Enerjisi ile Su Isıtma Sistemi Senaryosu

Konut doğalgaz kullanan kombi ile sıcak su ihtiyacını karşılamaktadır. Konutta bir yıl boyunca sıcak su temini için tüketilen doğalgaz miktarı bölüm 5.1.3.2'de verilmiştir. Konutun sıcak su için enerji talebi ve GESIS'in üreteceği enerji miktarı 4.4.2.3'de açıklanan yöntemlerle hesaplanmıştır. ESP-r'da güneş enerjisi ile su ısıtma sistemine ait bir modül henüz eklenmemiş olması sebebi ile bu bölümde yapılan hesaplamalar MS Excel'de yapılmıştır

6.4 Bölüm Sonucu

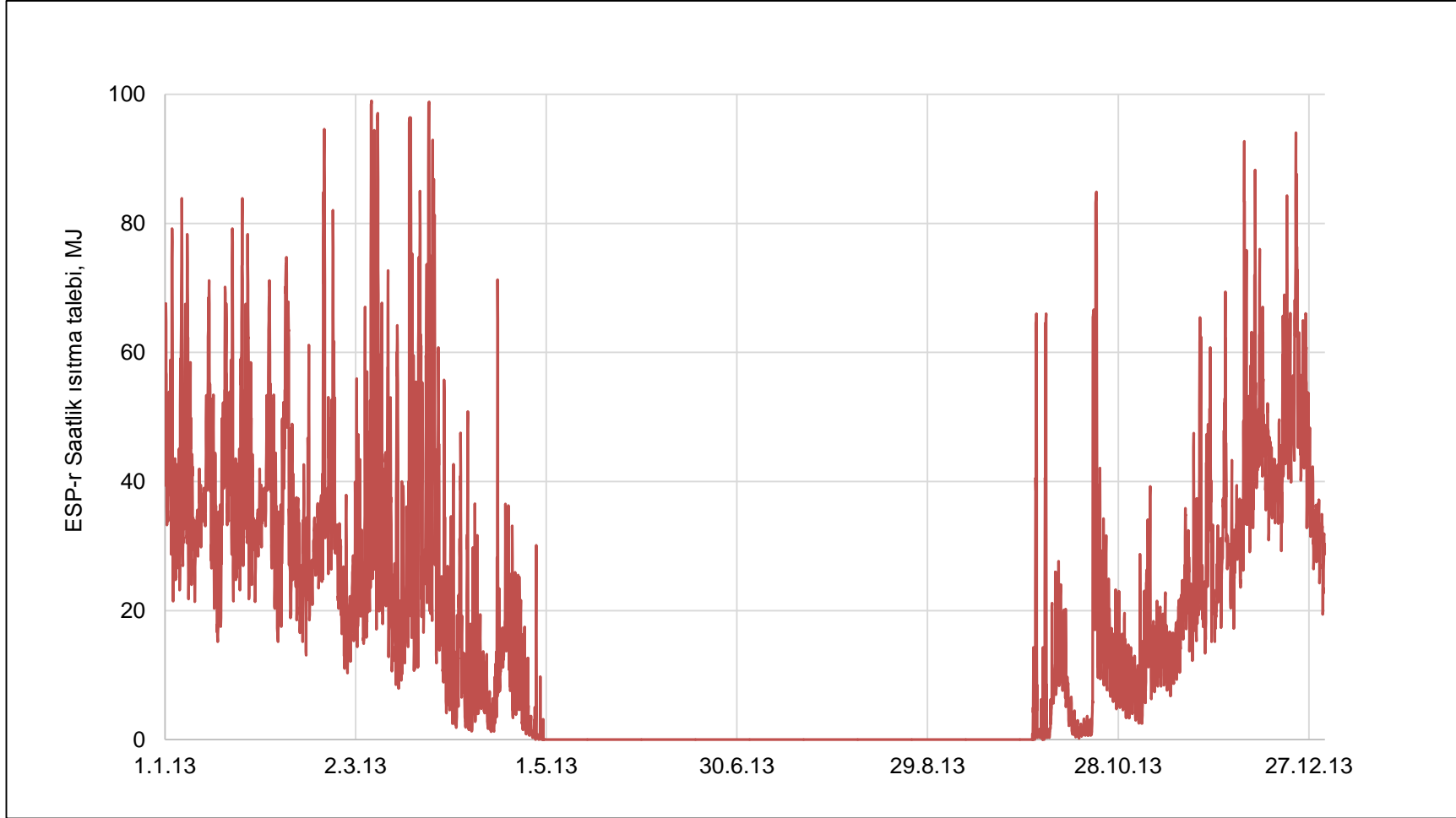
Bu bölümde modelin nasıl oluşturulduğu detaylı olarak anlatılmıştır. İlk olarak geometrik modelinin nasıl oluşturulduğu, malzeme ve yapı bilgisinin nasıl eklendiği, yapıların ısı iletkenlik katsayılarının nasıl hesaplandığı, iç mekânda oluşan ısı kazançlarının nasıl hesaplandığı, modelin ısıtma sisteminin ve hava akış ağının nasıl oluşturulduğu anlatılmıştır. Daha sonra modelin kalibre edilmesi için uygulanan yöntemlerden bahsedilmiştir. Modelin kalibrasyonundan sonra ise modele uygulanan senaryolar açıklanmıştır.

7 SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde modelleme çalışması neticesinde elde sonuçlar ve bu sonuçların analizleri hakkında detaylı bilgiler verilmiştir.

7.1 Modelleme ve Kalibrasyon Sonuçları

Konutun modellemesi ESP-r bina enerji simülasyon programı [12] ile yapılmıştır. Modelin oluşturulduğu ESP-r programının ekran görüntüleri Şekil 6-1 ve Şekil 6-2'de verilmiştir. ESP-r tarafından tahmin edilen konutun 2013 yılı için saatlik ısıtma talebi Şekil 7-1'de verilmiştir.



Şekil 7-1 ESP-r tarafından tahmin edilen 2013 yılı için saatlik ısıtma talebi, MJ

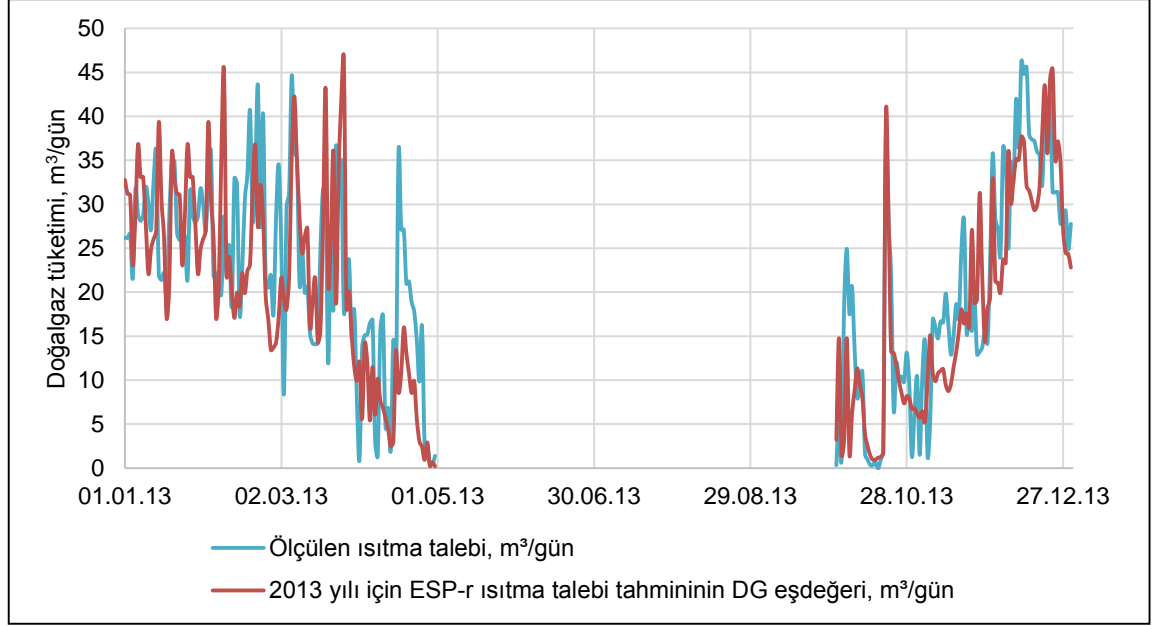
2013 yılı iklim verileri kullanılarak yapılan simülasyon sonuçlarına göre ESP-r'in konut için ısıtma talebi tahmini Şekil 7-1'de verilmiş ve toplam 141 GJ/yıl olarak hesaplanmıştır. Konutun ısıtma alanının 500 m² olması sebebi ile 2013 yılının ısıtma eşiği 18°C olarak hesaplanmış 2.563 derece günlük IDG değeri için ısıtma alanı başına ısıtma talebi 0,28 GJ/yıl-m² olarak hesaplanmıştır.

Belçika'nın, Bruksel şehrinde 2009 yılı iklim verisi kullanılarak yapılan bir çalışmada, 2008-2012 yılları arasında inşa edilen müstakil konutlarda ısıtma alanı başına ısıtma talebi 0,26 GJ/yıl-m² [119] olarak hesaplanmıştır. Buna ek olarak, ısıtma eşiği 18 °C varsayıldığında Bruksel için 2009 yılı toplam IDG değeri 2.444 derece gün [120] olarak hesaplanmıştır. Bu değer Ankara ikliminde 2013 yılı için 2.563 derece günlük IDG değeri için ısıtma alanı başına ısıtma talebine oldukça yakın olduğu görülmektedir. Kanada'da ise 2011 yılında güncellenen istatistik sonuçlarına göre müstakil konutların ısıtma alanı başına ısıtma talebi 0,51 GJ/yıl-m² olarak belirlenmiştir [121]. Buna karşılık ısıtma eşiği 18°C varsayıldığında 2011 yılı iklim verisi ile yıllık toplam IDG değeri, Montreal için 4.643 derece gün, Halifax için 3.640 [122] derece gün olarak hesaplanmıştır. Amerika'nın Kuzeydoğu bölgesi için 2009 yılında güncellenen verilere göre müstakil konutların ısıtma alanı başına ısıtma talebi 0,35 GJ/yıl-m² olarak belirlenmiştir [123]. Buna karşılık ısıtma eşiği 18°C varsayıldığında 2009 yılı iklim verisi ile yıllık toplam IDG değeri, New York için 2.485 derece gün, Boston için 3.046 [122] derece gün olarak hesaplanmıştır.

Konutun 141 GJ/yıl ısıtma talebinin doğalgaz tüketim eşdeğeri, %98 verim ile çalışan kombi kullanılması durumunda 3.753 m³/yıl olarak hesaplanmıştır. 2013 yılı ortalama doğalgaz fiyatı [111] gözönüne alındığında konutun 2013 yılında ısıtma amaçlı doğalgaz gideri 4.009 TL/yıl, ısıtma amaçlı doğalgaz tüketiminden kaynaklanan CO₂ salımı 8.058 kg-CO₂/yıl olarak hesaplanmıştır.

Doğalgaz tüketiminin 2013 yılı süresinde ölçülmesi ile konutta toplam 6.729 m³ doğalgaz tükettiği görülmüştür. Kısım 4.2.3.2'de anlatılan yöntemlerle; bu tüketim içerisinde yılda 135 m³ doğalgaz yemek pişirme, 2.059 m³ doğalgaz sıcak su temin etme, 4.535 m³ doğalgaz ise ısıtma amacı ile kullanıldığı hesaplanmıştır ve bu sonuçlar kısım 5.1.3'de verilmiştir.

2013 yılı için ESP-r simülasyon sonuçlarından elde edilen ve aynı yılda ölçülen günlük ısıtma amaçlı doğalgaz tüketimi Şekil 7-2'de gösterilmiştir.



Şekil 7-2 ESP-r tarafından 2013 yılı için tahmin edilen ve aynı yılda ölçülen günlük ısıtma talepleri, m³/gün

Şekil 7-2’de görüldüğü gibi ilkbahar-yaz ve yaz-sonbahar geçiş ayları olan Nisan ve Ekim aylarında, hanehalkının iklim koşullarına bağlı olarak tahmin edilenden fazla enerji tüketmesi sebebi ile ısıtma amaçlı ölçülen doğalgaz tüketimi ESP-r tahmininden yüksek olmuştur.

Model tamamlandıktan sonra, modelin kalibre edilmesi amacı ile uygulanan değerlendirme yöntemlerinin detaylı açıklaması EK-3’de verilmiştir. Bu yöntemler ile elde edilen değerlendirme analizlerinin sonuçları ısıtma sisteminin çalıştırıldığı her ay için ayrı ayrı ve tüm ısıtma ayları için hesaplanmış ve Çizelge 7-1’de verilmiştir.

Çizelge 7-1 Değerlendirme analizleri sonuçları

	Regresyon Katsayısı, R²	Ortalama mutlak hata yüzdesi, MAPE
Ocak	0,99	% 18
Şubat	0,93	% 25
Mart	0,96	% 22
Nisan	0,90	% 33
Ekim	0,96	% 26
Kasım	0,95	% 28
Aralık	0,96	% 19
Tüm Isıtma Ayları	0,95	% 24

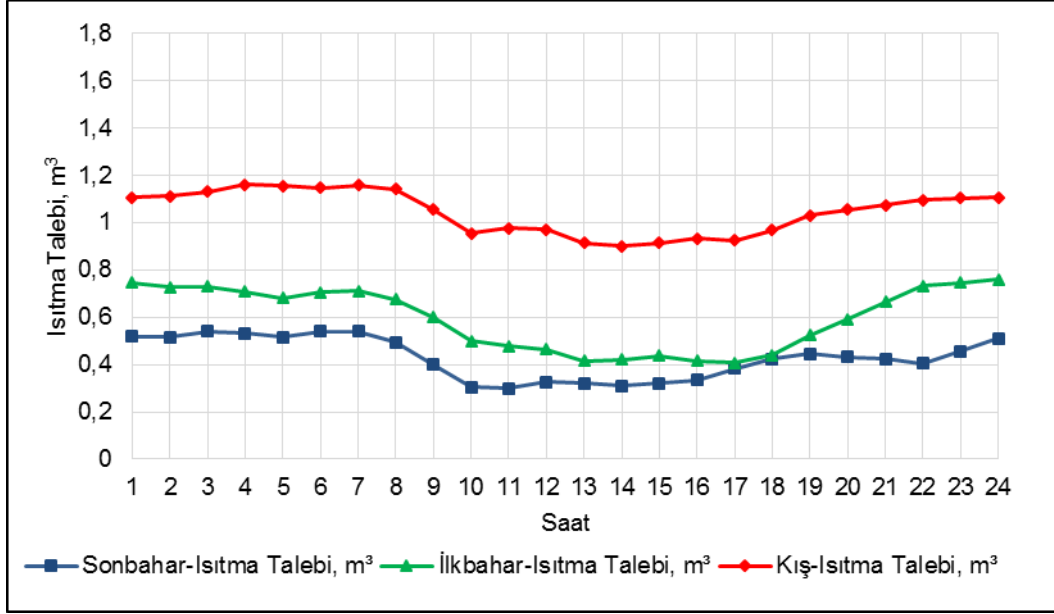
Çizelge 7-1'de görüldüğü gibi konutun bütün yıl için ortalama regresyon katsayısı 0,95, ortalama mutlak hata yüzdesi ise % 24 çıkmıştır. Isıtma sisteminin çalıştığı son ay olan Nisan ayında, ölçüm yapılan konutta ısıtma sisteminin belirli günlerde açılıp kapatılması sebebi ile verilerde hata oranı en yüksek değere ulaşmıştır.

Diğer çalışmalarda, yapılan ölçümler ve simülasyon programı tarafından üretilen verilerin analizi için farklı yöntemler kullanılmıştır. Onaltı yaşında bir FVP'in performansının araştırıldığı bir çalışmada ölçülen ve simülasyon ile hesaplanan elektrik üretim verisi arasında regresyon katsayısı (R^2) 0,95 olarak hesaplanmıştır [52]. Isıtma ve soğutma amaçlı enerji talebinin ölçüldüğü ve simülasyon programı ile tahmin edildiği bir çalışmada ise simülasyon sonuçları ile elde edilen veri arasında soğutma talebinde %5, ısıtma talebinde ise %3 hata olduğu hesaplanmıştır. Bu çalışmada geçiş ayı olmayan Ocak ayında 3 hafta süresince saatlik ısıtma amaçlı enerji tüketimi, Haziran ayında ise 3 hafta süresince saatlik soğutma amaçlı enerji tüketimi ölçülmüştür. Ölçümün saatlik olması ve geçiş mevsimi olmayan dönemde kısa bir süre için (3 hafta) yapılması sebebi ile simülasyon sonuçlarında hata oranı oldukça düşük çıkmıştır [8].

7.2 Simülasyon Sonucunda Elde Edilen Enerji Talebi Verilerinin Analizi

Bu kısımda ESP-r bina enerji simülasyon yazılımı ile tahmin edilen konutun saatlik ısıtma talebi verilerinin analizi verilmiştir.

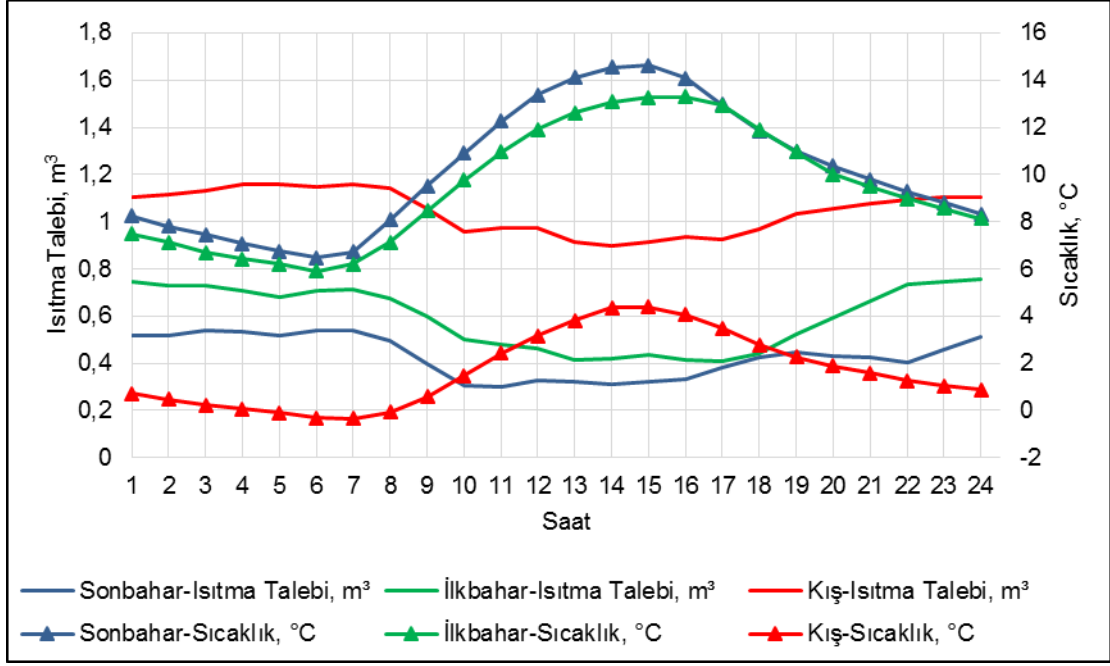
ESP-r programı tarafından tahmin edilen konutun saatlik ısıtma talebinin DG eşdeğeri, ısıtma sisteminin çalıştırıldığı üç mevsim için talebin saatlik ortalaması alınarak elde edilmiştir. Isıtma sistemi kış mevsiminde Aralık, Ocak, Şubat; ilkbahar mevsiminde Mart, Nisan; sonbahar mevsiminde ise Ekim, Kasım aylarında çalıştırılmaktadır. Bu aylar için elde edilen saatlik ısıtma talebi sonuçları Şekil 7-3'de gösterilmiştir.



Şekil 7-3 ESP-r'da 2013 yılı için tahmin edilen mevsimsel ve saatlik ortalama ısıtma amaçlı doğalgaz tüketimi, m³

Konutun ısıtma talebine etki eden değişkenler; konutun iç mekan sıcaklığı, iç ortamdaki enerji kazançları ve dış ortam sıcaklığıdır. ESP-r'da oluşturulan modelde konutun iç mekan sıcaklığı sabit tutulmuştur. Çizelge 5-6'da hanehalkından ve aydınlatmadan, Çizelge 5-8'da ise cihazlardan kaynaklanan ısı kazancı miktarları verilmiştir. Günlük toplam hanehalkından ve aydınlatmadan kaynaklanan ısı kazancı günün her saati için farklılık göstermektedir ve günlük toplam 22 MJ'dür (0,67 m³ DG eşdeğer). Bu değer, Ocak ayına ait bir gün için konutun ısıtma talebinin sadece % 2'sini oluşturmaktadır. Bu sebeple hanehalkından ve aydınlatmadan kaynaklanan ısı kazancının saatlik ısıtma talebine olan etkisinin çok küçük olduğu görülmektedir. Cihazlardan kaynaklanan ısı kazancı ise, cihazların kullanım saati bilgisi net olarak verilemediğinden günün 24 saatine eşit olarak dağıtılmıştır. Bu sebeple cihazlardan kaynaklanan ısı kazancının saatlik ısıtma talebine olan etkisi eşit dağılımdadır. Bu durumda Şekil 7-3'de görülen konutun saatlik ısıtma talebine etki eden tek değişken dış ortam sıcaklığıdır.

Isıtma sisteminin çalıştırıldığı mevsimlerde günün her saati için ortalama ısıtma talebi tahmininin DG eşdeğerinin sıcaklıkla değişimi Şekil 7-4'de verilmiştir.



Şekil 7-4 Kış, ilkbahar ve sonbahar mevsimlerinde ESP-r tarafından tahmin edilen ısıtma talebinin DG eşdeğerinin dış ortam sıcaklığı ile değişimi

Şekil 7-4'de görüldüğü gibi ısıtma amaçlı doğalgaz tüketimi kış, ilkbahar ve sonbahar mevsimlerinde sıcaklıkla ters orantılı olarak değişmektedir. Buna ek olarak, Şekil 7-4'de ilkbaharda ortalama sıcaklığın sonbahara kıyasla daha düşük ve dolayısıyla ısıtma talebinin sonbahar kıyasla daha yüksek olduğu görülmektedir. Kış mevsiminde ise ortalama sıcaklık en düşük ve ısıtma talebi en yüksektir.

7.3 Duyarlılık Analizi

Duyarlılık analizi, bir problemin değişkenlerdeki veya girdi değerlerindeki değişiminin etkilerinin incelenmesidir. Bu çalışmada, konutun ısıtma sisteminde oda sıcaklığı ayar derecesi ve konutun havalandırılma miktarı karşısında yıllık ısıtma talebinin değişimi incelenmiştir.

Konutun ısıtma talebinin farklı oda sıcaklıkları ayar dereceleri karşısındaki değişimini incelemek amacı ile konutun banyo ve depolarının sıcaklıkları sabit tutularak, en çok kullanım alanına sahip olan odaların farklı sıcaklık derecelerine ayarlanması ile konutun ısıtma talepleri hesaplanmış ve elde edilen sonuçlar Çizelge 7-2 verilmiştir. Bu değişimin grafiği de Şekil 7-5 görülmektedir.

Çizelge 7-2 Yıllık ısıtma talebinin oda sıcaklığı ile değişimi

Oda Sıcaklığı, °C	Isıtma Talebi, GJ/yıl
20	105
21	122
22	141
23	160
24	179

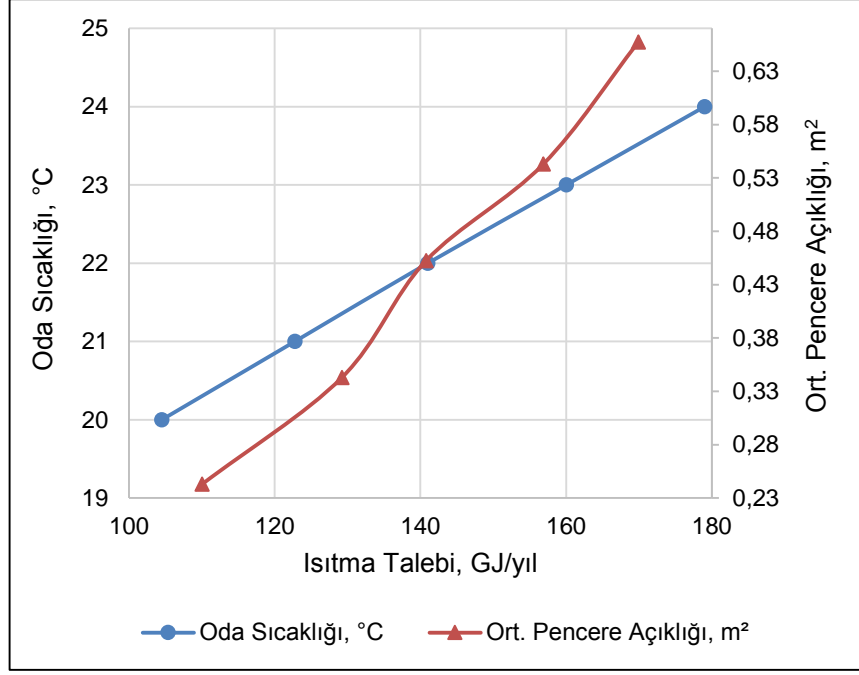
Çizelge 7-2'de konutun oda sıcaklıkları ayar dereceleri arttıkça ısıtma talebinin de arttığı görülmektedir. Konutta mevcut durumda odalar 22 °C ve banyolar 24 °C'de tutulmaktadır. Bu durumda, ESP-r programı konutun ısıtma amacı için 141 GJ/yıl enerji talebi olduğunu tahmin etmektedir.

Konutun havalandırması pencere ve kapılar açılarak doğal havalandırma ile yapılmaktadır. Konuta giren hava miktarı modelde pencereler için belirli bir açıklık tanımlanarak yapılmıştır. Çizelge 7-3'de konutun havalandırma miktarı karşısında yıllık ısıtma yükünün aldığı değerler görülmektedir.

Çizelge 7-3 Yıllık ısıtma talebinin pencere açıklığı ile değişimi

Ort. Pencere Açıklığı, m ²	Ort. pencere açıklığı, %	Isıtma Talebi, GJ/yıl
0,24	0,33	110
0,34	0,47	129
0,45	0,62	141
0,54	0,74	157
0,66	0,90	170

Çizelge 7-3'de konutun mevcut pencere açıklığı ve bu durumdaki ısıtma talebi kalın harfle gösterilmiştir. Çizelge 7-3'de görüldüğü gibi konuta dış ortamdan giren hava miktarı arttıkça konutun ısıtma talebi de artmaktadır. Şekil 7-5'de bu değişimlerin grafikleri görülmektedir.



Şekil 7-5 Duyarlılık analizi

7.4 Senaryo Sonuçları Analizleri

Modele uygulanan senaryolar ile elde edilen enerji tasarrufu ve CO₂ salımındaki azalma miktarları bu kısımda verilmiştir. Simülasyon sonuçlarına göre, konutun ısıtma talebi 2013 iklim verisi ile 141 GJ/yıl (DG eşdeğeri 3.753 m³/yıl) olarak tahmin edilmiştir. Kısım 5.1.5'de açıklandığı üzere 2013 yılı toplam IDG değeri 2013 yılının normalden daha ılıman geçmesi sebebi ile normal iklim verisi IDG değerinden daha düşüktür ve dolayısıyla 2013 yılı ısıtma talebi normalden daha düşük olarak tahmin edilmiştir. Bu sebeple, senaryoların ortalama bir yılı göstermesi amacı ile senaryolar normal iklim verisi kullanılarak yapılmıştır. Normal iklim verisi kullanılarak yapılan simülasyon sonuçlarına göre konutun ısıtma talebi 182 GJ/yıl olarak tahmin edilmiştir.

7.4.1 Fiziksel Yapıda İyileştirme Yapılan Senaryo Sonuçları ve Ekonomik Analizi

Bu kısımda konutun fiziksel yapısında iyileştirmeleri öngören senaryolar ile elde edilen enerji tasarrufu ve CO₂ salımındaki azalmaların sonuçları açıklanmıştır.

7.4.1.1 Pencere Camı Tipi

Konutun pencerelerinde 12 mm hava boşluklu çift cam bulunmaktadır. Mevcut pencere camının yerine ısı geçirgenliği daha az olan camların uygulanması olan, Çizelge 6-5'de açıklanan S.1-a ve S.1-b kodlu senaryoların sonuçları bu kısımda verilmiştir.

- **Senaryo Kodu:S.1-a, Argon ile Doldurulmuş 16 mm Boşluklu Şeffaf Çift Cam**

Konutun pencerelerinde 12 mm hava boşluklu çift cam yerine 16 mm argon boşluklu çift cam kullanılması durumunda, simülasyon sonuçlarına göre, konutun ısıtma talebi 160 GJ/yıl olarak tahmin edilmiştir. Bu senaryo ile elde edilebilecek olan enerji tasarrufu yıllık 22 GJ/yıl'dır. Bu durumda bu senaryo ile yıllık %12 enerji tasarrufu sağlanmıştır.

- **Senaryo Kodu:S.1-b, Argon ile Doldurulmuş 16 mm Boşluklu Şeffaf Üç Kat Cam**

Konutun pencerelerinde 12 mm hava boşluklu çift cam yerine 16 mm argon boşluklu üçlü cam kullanılması durumunda, simülasyon sonuçlarına göre, konutun ısıtma talebi 155 GJ/yıl olarak tahmin edilmiştir. Bu senaryo ile elde edilebilecek olan enerji tasarrufu 27 GJ/yıl'dır. Bu senaryo ile yıllık %15 enerji tasarrufu sağlanmıştır. Argon boşluklu üç kat cam ile argon boşluklu iki kat cama kıyasla 5 GJ/yıl (% 3) daha fazla enerji tasarrufu sağlanmıştır.

7.4.1.2 Yalıtım

Konutun dış duvarlarında ısı iletkenlik değeri $k=0,04$ W/mK olan, 80 mm kalınlıkta polisten partiküler köpük yalıtım malzemesi vardır. Mevcut dış duvarın ısı geçirgenlik katsayısı (U değeri) $0,411$ W/m²K'dir. Konutun çatısında ise yalıtım malzemesi bulunmamaktadır. Mevcut çatı zemininin ısı geçirgenlik katsayısı (U değeri) $5,63$ W/m²K'dir. Mevcut dış duvar yalıtımı yerine ısı iletkenlik katsayısı daha yüksek olan veya aynı ısı iletkenlik katsayısında ama kalınlığı daha fazla olan yalıtım malzemesi kullanılması ve çatıya yalıtım yapılması bu kısımda incelenmiştir. Piyasada bulunan

dış duvar yalıtım malzemeleri arasında yapılan incelemeler sonucunda dış duvara uygulanacak yalıtım malzemesi olarak; fiyat, ısı iletim katsayısı ve malzeme kalınlığı göz önüne alınarak dış duvara Foamboard 2500 P ısı yalıtım levhasının uygulanmasına karar verilmiştir [107]. Çizelge 6-5’de açıklanan; S.2-a, S.2-b, S.2-c, S.2-d ve S.3 kodlu senaryoların sonuçları bu kısımda verilmiştir.

- **Senaryo Kodu:S.2-a, Dış Duvara k=0,04 W/mK 90 mm Yalıtım**

Bu senaryoda konutun dış duvarında bulunan yalıtım malzemesinin kalınlığının 80 mm’den 90 mm’ye çıkarılmıştır. Bu durumda konutun dış duvarının ısı geçirgenlik katsayısı (U değeri) 0,411 W/m²K’den 0,372 W/m²K’e düşmüştür. Bu senaryoda simülasyon sonuçlarına göre, ısıtma amacı ile yılda 180 GJ/yıl doğalgaz tüketildiği tahmin edilmiştir. Bu senaryo ile elde edilebilecek olan enerji tasarrufu yıllık 2 GJ/yıl’dır ve %1 enerji tasarrufu sağlanmıştır. Yalıtım malzemesinin kalınlığının 10 mm (% 12) artırılması %1 enerji tasarrufu sağlamıştır.

- **Senaryo Kodu:S.2-b, Dış Duvara k=0,035 W/mK 80 mm Foamboard 2500 P (XPS) Yalıtım**

Bu senaryoda konutun dış duvarlarında bulunan ısı iletkenlik değeri k=0,04 W/mK olan, 80 mm kalınlıkta yalıtım malzemesi yerine ısı iletkenlik katsayısı daha düşük bir malzeme olan Foamboard 2500 P (XPS) kullanılmıştır. Mevcut malzeme yerine, mevcut malzeme ile aynı kalınlıkta fakat ısı iletkenlik katsayısı k=0,035 W/mK olan Foamboard 2500 P (XPS) yalıtım malzemesi kullanılması durumunda dış duvarın ısı geçirgenlik katsayısı (U değeri) 0,411 W/m²K’den 0,367 W/m²K’e düşmüştür. Bu senaryoda simülasyon sonuçlarına göre, ısıtma amacı ile yılda 178 GJ/yıl enerji tüketildiği tahmin edilmiştir. Bu senaryo ile elde edilebilecek olan enerji tasarrufu yıllık 4 GJ/yıl’dır ve % 2 enerji tasarrufu sağlanmıştır.

Yalıtım malzemesinin kalınlığının % 12 artırılması sadece %1 enerji tasarrufu sağlarken, kullanılan malzemenin ısı iletkenlik katsayısının % 12 azaltılması %2 enerji tasarrufu sağlamıştır.

- **Senaryo Kodu:S.2-c, Dış Duvara k=0,035 W/mK 90 mm Foamboard 2500 P (XPS) Yalıtım**

Bu senaryoda konutun dış duvarlarında bulunan ısı iletkenlik değeri $k=0,04$ W/mK olan, 80 mm kalınlıkta yalıtım malzemesi yerine ısı iletkenlik katsayısı daha düşük bir malzeme olan Foamboard 2500 P (XPS) kullanılmıştır. Mevcut malzeme yerine, $k=0,035$ W/mK olan 90 mm kalınlıkta Foamboard 2500 P (XPS) yalıtım malzemesi kullanılması durumunda dış duvarın ısı geçirgenlik katsayısı (U değeri) $0,411$ W/m²K'den $0,332$ W/m²K'e düşmüştür. Bu durumda simülasyon sonuçlarına göre, ısıtma amacı ile yılda 177 GJ/yıl enerji tüketildiği tahmin edilmiştir. Bu senaryo ile elde edilebilecek olan enerji tasarrufu yıllık 5 GJ/yıl'dır ve %3 enerji tasarrufu sağlanmıştır.

S.2-a kodlu senaryoda mevcut yalıtım malzemesinin aynısı kullanılarak sadece kalınlığı 90 mm'ye çıkarılmış, S.2-b kodlu senaryo ile ise yalıtım malzemesinin kalınlığı sabit tutularak ısı iletkenlik katsayısı $k=0,035$ W/mK olan Foamboard 2500 P (XPS) malzemesi kullanılmıştır. S.2-c kodlu senaryoda ise yalıtım malzemesinin kalınlığı artırılmış ve ısı iletkenlik katsayısı düşürülmüştür. S.2-a kodlu senaryo ile (yalıtım kalınlığının artırılması) 2 GJ/yıl, S.2-b senaryo ile (ısı iletkenliğinin düşürülmesi) 4 GJ/yıl enerji tasarrufu sağlanırken, S.2-c kodlu senaryo ile ise S.2-a ve S.2-b birlikte uygulanarak ($k=0,035$ W/mK ve yalıtım kalınlığı 90 mm) 5 GJ/yıl enerji tasarrufu sağlanmıştır. S.2-c ile sağlanan enerji tasarrufunun, S.2-a ve S.2-b ile sağlanan enerji tasarruflarının toplamına çok yakın olduğu görülmüştür.

- **Senaryo Kodu:S.2-d, Çatıya k=0,035 W/mK 100 mm XPS Yalıtım**

Konutun çatısında yalıtım malzemesi bulunmamaktadır. Bu durumda konutun çatısının ısı geçirgenlik katsayısı (U değeri) $5,63$ W/m²K'dir. Çatının zeminine yüzeyi düz, ısı iletkenlik katsayısı $k=0,035$ W/mK, kalınlığı 100 mm olan ve çatı yalıtımında çok tercih edilen XPS yapıda İzocam Foamboard 1500 D ısı yalıtım levhasının [107] eklenmesi ile çatının ısı geçirgenlik katsayısı (U değeri) $5,63$ W/m²K'den $0,329$ W/m²K'e düşmüştür. Bu durumda simülasyon sonuçlarına göre, ısıtma amacı ile yılda 131 GJ/yıl doğalgaz tüketildiği tahmin edilmiştir. Bu senaryo ile elde edilebilecek olan enerji tasarrufu yıllık 51 GJ/yıl'dır ve % 28 enerji tasarrufu sağlanmıştır. Konutta halihazırda dış duvar yalıtımının olması sebebi ile dış duvar

yalıtımının iyileştirilmesi ile %1-3 arasında enerji tasarrufu sağlanırken, çatıda yalıtım malzemesi kullanılması durumunda % 28 enerji tasarrufu sağlandığı görülmüştür.

- **Senaryo Kodu:S.3, Pencere ve Yalıtım İyileştirme Senaryolarının Birlikte Uygulanması**

Konutun pencere camında en yüksek performansın elde edildiği argon boşluklu 3 kat cam kullanılması (senaryo no:1-b), dış duvarında yalıtım malzemesi olarak 90 mm kalınlıkta Foamboard 2500 P (XPS) malzemesinin kullanılması (senaryo no:2-c) ve çatıya $k=0,035$ W/mK olan 100 mm XPS ısı yalıtım levhası uygulanması (senaryo no:2-d) durumunda simülasyon sonuçlarına göre, sırasıyla 27 GJ/yıl, 5 GJ/yıl ve 51 GJ/yıl, toplam 83 GJ/yıl enerji tasarrufu sağlanmıştır.

S.1-b, S.2-c ve S.2-d kodlu senaryoların birlikte uygulanması olan S.3 kodlu senaryoda ise 84 GJ/yıl enerji tasarrufu sağlanmıştır. Bu senaryoda % 46 enerji tasarrufu sağlanmıştır. Bu durum, S.1-b, S.2-c ve S.2-d kodlu senaryolarda ayrı ayrı hesaplanan ve S.3 kodlu senaryoda hesaplanan enerji tasarrufunun hemen hemen aynı olduğunu göstermektedir.

7.4.1.3 Yapısal İyileştirme Yapılan Senaryoların Toplu Sonuçları

Uygulanan bütün yapısal senaryoların yıllık enerji kazanç değerleri Çizelge 7-4'de toplu olarak verilmiştir.

Çizelge 7-4 Yapısal senaryoların enerji kazançları

Senaryo Kodu	Senaryo Açıklaması	Senaryo ile elde edilen enerji kazancı, GJ/yıl	Senaryo ile elde edilen enerji kazancı, %
S.1-a	Argon ile Doldurulmuş, 16 mm Boşluklu, Şeffaf Çift Cam	22	12
S.1-b	Argon ile Doldurulmuş, 16 mm Boşluklu, Şeffaf Üç Kat Cam	27	15
S.2-a	Dış Duvara $k=0,04$ W/mK olan 90 mm Kalınlıkta Yalıtım	2	1
S.2-b	Dış Duvara $k=0,035$ W/mK olan 80 mm Kalınlıkta Yalıtım	4	2
S.2-c	Dış Duvara $k=0,035$ W/mK olan 90 mm Kalınlıkta Yalıtım	5	3
S.2-d	Çatıya $k=0,035$ W/mK olan 100 mm Kalınlıkta Yalıtım	51	28

S.3	Yapısal Senaryoların Birlikte Uygulanması	84	46
-----	---	----	----

7.4.1.4 Yapısal İyileştirmelerde Ekonomik Analiz

Bu kısımda, yapısal iyileştirilmenin öngörüldüğü senaryoların ekonomik analiz sonuçları verilmiştir.

- **Yatırım Maliyeti**

Konutta uygulanan senaryolar ile elde edilen enerji tasarrufu ve ekonomik analiz sonuçları kısım 4.5’de açıklanan yöntemler ile hesaplanmıştır.

Yatırım maliyetinin hesaplanması için firmalardan temin edilen fiyatlar EK-5’de yer almaktadır. Çizelge 7-5’de konutta uygulanması öngörülen senaryolarının 2014 yılı maliyetleri verilmiştir.

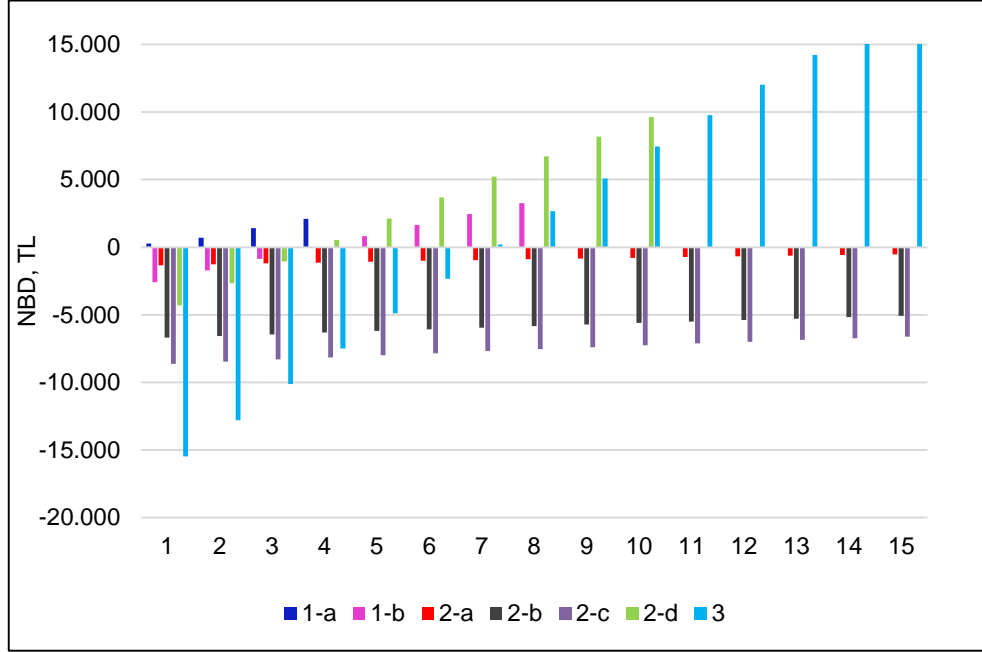
Çizelge 7-5 Senaryoların ve mevcut yapıların yatırım maliyeti

Senaryo Grubu	Senaryo Kodu	Senaryo Açıklaması	Yatırım Maliyeti, TL
Pencere Camı	Mevcut cam	12 mm hava boşluklu çift cam	5.168
	S.1-a	16 mm Argon boşluklu çift cam	5.599
	S.1-b	16 mm Argon boşluklu üç kat cam	8.614
Yalıtım	Mevcut dış duvar yalıtımı	Dış duvarda $k=0,04$ W/mK olan 80 mm Kalınlıkta Yalıtım	2.275
	S.2-a	Dış duvara $k=0,04$ W/mK olan 90 mm Kalınlıkta Yalıtım	3.670
	S.2-b	Dış duvara $k=0,035$ W/mK olan 80 mm Kalınlıkta Yalıtım	9.102
	S.2-c	Dış duvara $k=0,035$ W/mK olan 90 mm Kalınlıkta Yalıtım	11.065
	S.2-d	Çatıya $k=0,035$ W/mK olan 100 mm Kalınlıkta Yalıtım	5.928
Cam+ Yalıtım	S.3	Dış duvara $k=0,035$ W/mK olan 90 mm kalınlıkta yalıtım, çatıya $k=0,035$ W/mK olan 100 mm kalınlıkta yalıtım ve pencere camı için argon boşluklu üç kat cam uygulanması	25.607

- **Net Bugünkü Değer ve Geri Ödeme Süresi**

Yapısal iyileştirme senaryolarında NNA Eşitlik 4-9, NBD ve GÖS Eşitlik 4-13 kullanılarak hesaplanmıştır. GÖS, NBD’in pozitif değer aldığı yıldır.

Şekil 5-20’de görülen doğalgaz fiyat tahminlerinde görüldüğü gibi, D2 kodlu doğalgaz fiyat tahmini doğru çizgisinin diğer iki tahminin ortasında olması sebebi ile bu çalışmada D2 kodlu tahminin kullanılmasına karar verilmiştir. GÖS, D2 kodlu tahmin kullanılarak ve nominal faiz 0,065 alınarak hesaplanmış, elde edilen sonuçlar Şekil 7-6’de verilmiştir.



Şekil 7-6 Yapısal iyileştirme senaryoları için NBD değişimi

Şekil 7-6’yı elde etmek için kullanılan verilerin elde edildiği NBD’in değişimi Çizelge EK-10 1’de verilmiştir.

Farklı doğalgaz fiyat tahminlerine göre GÖS değişmektedir. Nominal faizin 0,065 olması durumunda farklı doğalgaz fiyat tahminleri için hesaplanan Geri Ödeme Süreleri Çizelge 7-6’da görülmektedir.

Çizelge 7-6 Yapısal iyileştirme senaryolarının Geri Ödeme Süresi

Doğalgaz Tahmin No	GÖS, Yıl						
	S.1-a	S.1-b	S.2-a	S.2-b	S.2-c	S.2-d	S.3
D1	1	5	19	>40	>40	4	7
D2	1	5	23	>40	>40	4	7
D3	1	5	26	>40	>40	4	8

Çizelge 7-6'da görüldüğü üzere, D2 kodlu doğalgaz fiyat tahminine göre, en düşük GÖS S.1-a ve S.1-b kodlu senaryolarda elde edilmiştir ve bu senaryolarda elde edilen enerji tasarrufu %12 ve %15'dir.

Konutta halihazırda dış duvar yalıtımı bulunmaktadır. Dış duvar yalıtımının 10 mm artırılması olan S.2-a kodlu senaryoda GÖS 23 yıldır. GÖS'nin oldukça yüksek olması sebebi ile dış duvarda halihazırda kullanılan yalıtım kalınlığının yeterli olduğu sonucuna varılmıştır.

Dış duvarda mevcut malzeme ile aynı kalınlıkta fakat Isıl İletkenlik Katsayısı $k=0,035$ W/mK olan Foamboard 2500 P (XPS) yalıtım malzemesi kullanılması olan S.2-b (80 mm) ve S.2-c (90 mm) kodlu senaryolarda ise, S.2-a kodlu senaryoya kıyasla maliyetin yüksek olması sebebi ile GÖS 40 yıldan yüksek çıkmıştır. Bu sebeple halihazırda dış duvarda kullanılan yalıtım malzemesinin yeterli olduğu sonucuna varılmıştır.

S.2-d kodlu senaryoda, çatıya uygulanan yalıtımın % 28 enerji tasarrufu sağlaması ve maliyetin çok yüksek olmaması sebebi ile GÖS dört yıl olarak hesaplanmıştır. Bu sebeple çatı yalıtımının oldukça yüksek enerji tasarrufu sağladığı ve ekonomik olarak uygulanabilir olduğu sonucuna varılmıştır.

S.3 kodlu senaryoda ise (S.1-b, S.2-c ve S.2-d'nin birlikte uygulanması senaryosu) maliyetinin yüksek olmasına rağmen elde edilen enerji tasarrufunun %46 olması sebebi ile GÖS yedi yıldır. Bu durumda uygulanması en çok tercih edilebilecek olan yapısal iyileştirme senaryosunun S.3 kodlu senaryo olduğu sonucuna varılmıştır.

Farklı nominal faiz değerleri ile de Geri Ödeme Süreleri hesaplanmıştır. Nominal faizin 0,050 ile 0,080 arasında değişmesi durumunda ve D2 numaralı fiyat tahmininin kullanılması ile hesaplanan geri ödeme süreleri Çizelge 7-7'de verilmiştir.

Çizelge 7-7 Yapısal iyileştirme senaryoları için GÖS'nin nominal faiz oranına göre değişimi

Nominal faiz, %	GÖS, Yıl						
	S.1-a	S.1-b	S.2-a	S.2-b	S.2-c	S.2-d	S.3
0,040	1	5	18	>40	>40	4	7
0,065	1	5	23	>40	>40	4	7
0,080	1	5	30	>40	>40	4	8

7.4.2 Yenilenebilir Enerji Senaryo Sonuçları ve Ekonomik Analizi

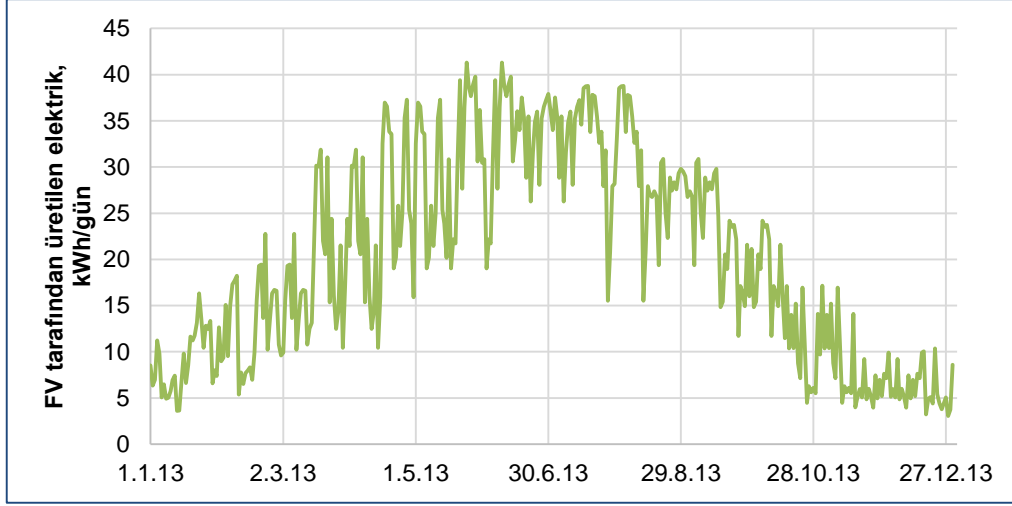
Bu kısımda konutta yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılmasını öngören senaryolar ile elde edilen enerji tasarrufu sonuçları açıklanmıştır.

7.4.2.1 Fotovoltaik Panel Senaryosu Sonuçları

Konutta FVP bulunmamakta, elektrik ihtiyacı şebekeden sağlanmaktadır. Konutun bir yıl süresince elektrik tüketimi saatlik olarak ölçülmüştür ve FVP eklenmesi durumunda bir yıl süresince saatlik elektrik üretimi bina enerji simülasyon programı kullanılarak hesaplanmıştır. FVP'in ürettiği elektrik, yıllık elektrik tüketimindeki tasarrufu oluşturmaktadır.

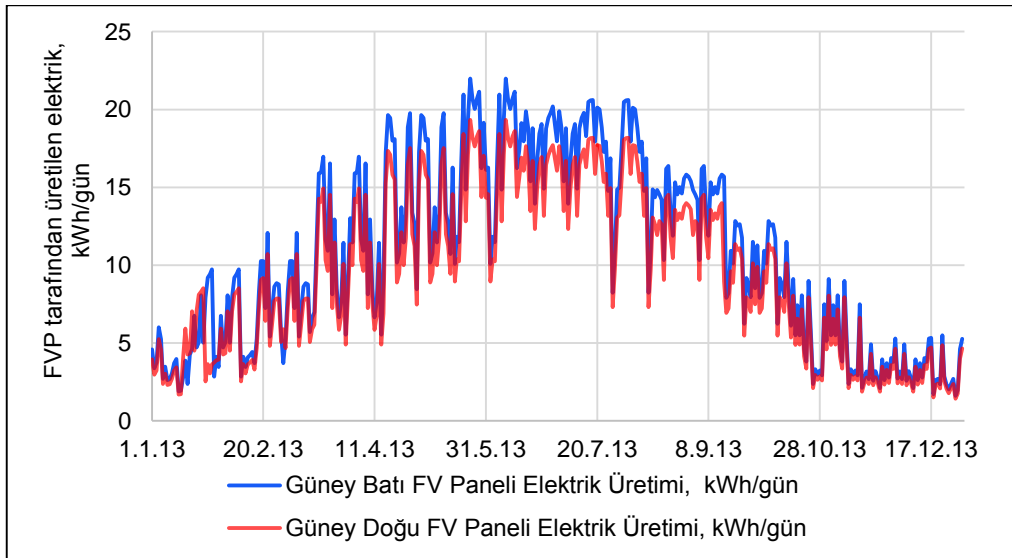
Konutta güney doğu ve güney batıya bakan çatıya FVP eklenmesi ile yıllık elektrik üretimi, ESP-r bina enerji simülasyon programında modellenmiştir. ABDEB tarafından oluşturulan Ankara için normal iklim verisi kullanılarak yapılan simülasyon sonuçlarına göre yıllık 7.375 kWh, 2013 iklim verisi kullanılarak yapılan simülasyon sonuçlarına göre ise yıllık 8.483 kWh elektrik üretileceği tahmin edilmiştir. Konutta kullanılması uygun görülen ve özellikleri modele girilen FVP için fiyat alınan firma ise yıllık yaklaşık 8.290 kWh elektrik üreteceğini tahmin etmiştir. Firmanın kullandığı iklim verisinin hangi yıla ait olduğu bilgisi verilmemiştir. Fakat simülasyon ile hesaplanan elektrik üretim miktarının fiyat alınan FVP'in yıllık tahmini elektrik üretim miktarına yakın olması yapılan hesaplamaların gerçeğe yakın olduğu sonucuna varılmasına sebep olmuştur.

Normal iklim verisi kullanılarak yapılan simülasyon sonuçlarına göre üretilen günlük elektrik miktarı Şekil 7-7'de verilmiştir.



Şekil 7-7 Normal iklim verisi ile ESP-r tarafından tahmin edilen FVP'in günlük elektrik üretimi, kWh/gün

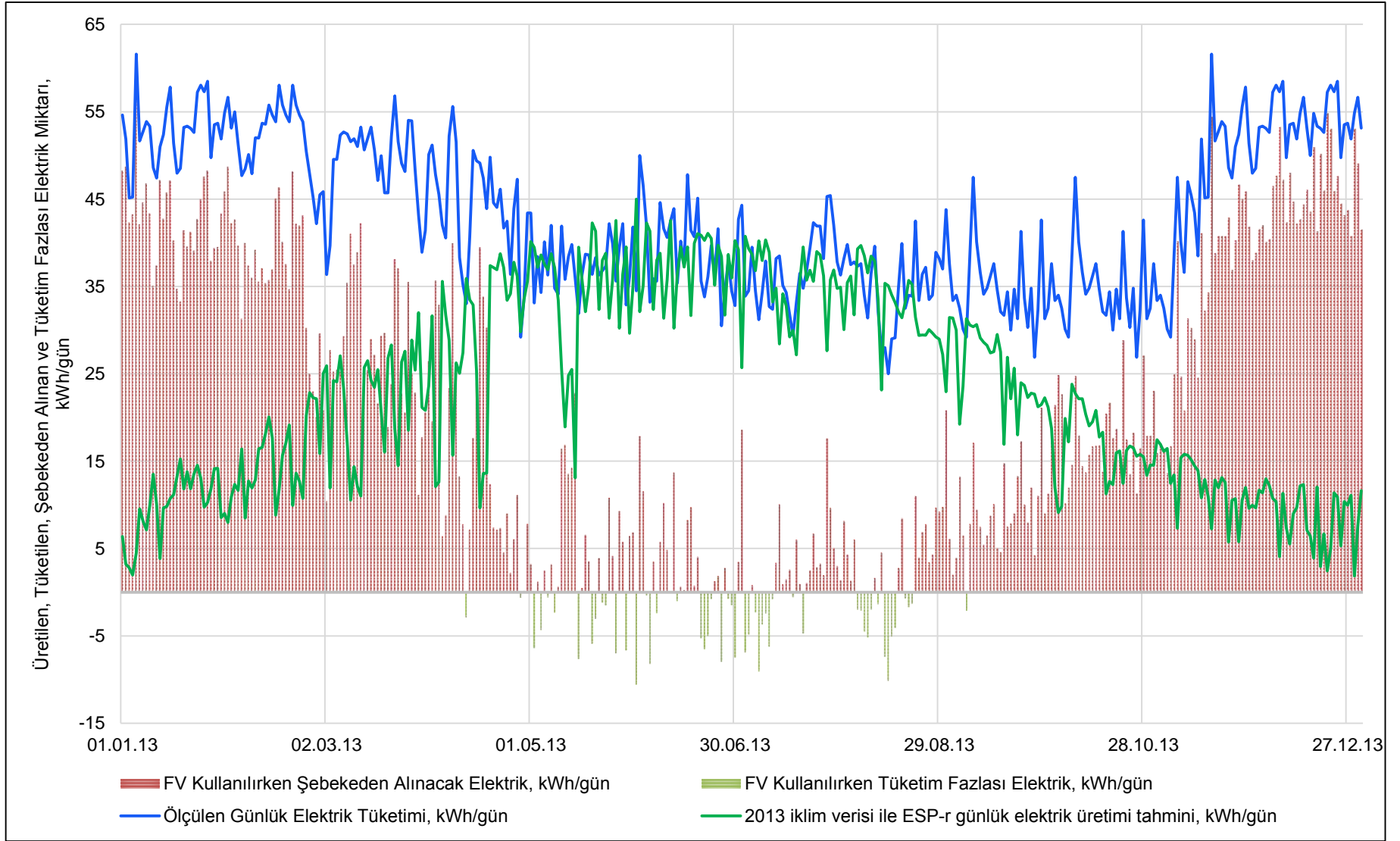
Güney Çin'de, ESP-r yazılımı kullanılarak farklı yönler için, eğimli yüzeylerinin aldığı solar radyasyon miktarının aynı FVP ile analiz edildiği bir çalışmada, güney-batıya bakan 25° eğime sahip solar kolektörün en çok radyasyon alan bölge olduğu tespit edilmiştir [32]. Bu çalışmada da konutun güneydoğu ve güneybatıya bakan çatısına yerleştirilen panellerin alanı ve teknik özellikleri tamamen aynıdır. Bu iki yöne bakan panellerin ürettiği elektrik ayrı ayrı incelendiğinde, güneybatıya bakan panelin % 12 daha fazla elektrik ürettiği görülmüştür. Panellerin elektrik üretimi Şekil 7-8'da görülmektedir.



Şekil 7-8 Normal iklim verisi ile güneydoğu ve güneybatıya bakan panellerin ürettiği elektrik, kWh/gün

Şekil 7-8'da görüldüğü gibi güneybatıya bakan panelin ürettiği elektrik, batı cephesinin güneşten gelen radyasyona daha uzun süre maruz kalması sebebi ile özellikle yaz aylarında daha yüksektir.

2013 iklim verisi kullanılarak yapılan simülasyon sonuçlarına göre FVP tarafından üretilen ve konutta tüketilen günlük elektrik miktarları Şekil 7-9'da verilmiştir. Buna ek olarak Şekil 7-9'da konutta FVP kullanılması durumunda, konutun elektrik tüketiminin panelin ürettiği elektrikten daha fazla olduğu günlerde konutun şebekeden satın alması gereken elektrik miktarı görülmektedir. Ayrıca, konutun elektrik tüketiminin panelin ürettiği elektrikten daha az olduğu günlerde konutun aküde depolaması gereken elektrik miktarı da Şekil 7-9'da verilmiştir.



Şekil 7-9 Fotovoltaik panel tarafından üretilen ve konutta tüketilen günlük elektrik, kWh/gün

Şekil 7-9'da görüldüğü gibi, 12/04/2013 ile 06/09/2013 tarihleri arasında elektrik üretimi 51 gün elektrik tüketiminden daha fazladır. Üretilen elektrik ile tüketilen elektrik yaz aylarında oldukça yakındır. Kış aylarında ise tüketilen elektrik üretilen elektriğe kıyasla oldukça yüksektir.

2013 yılı için ölçülen yıllık elektrik tüketimi 15.702 kWh'dir. 2013 yılı iklim verisi kullanılarak yapılan simülasyon sonuçlarına göre ise FVP tarafından üretilen elektrik 8.483 kWh'dir. FVP sisteminde bulunan aküler ile fazla elektrik depolanıp ertesi gün kullanılabilir. Bu durumda, elektrik tüketiminden fazla elektrik üretildiği günler aküde depolanan elektriğin bir sonraki gün kullanıldığı varsayılmış ve konutun şebekeden satın alması gereken elektrik miktarı 7.354 kWh/yıl olarak hesaplanmıştır.

- **Fotovoltaik Panel Senaryosu Ekonomik Analiz Sonuçları**

FVP için firmalardan alınan fiyatlar doğrultusunda en uygun görülen fiyat teklifi EK-5'de verilmiştir. FVP için tüm kurulum ücretleri dahil olmak üzere € 17.173; 2014 Ocak ayı döviz kuru ile 53.000 TL olarak fiyat verilmiştir. FVP tarafından üretilen elektrik 8.483 kWh'dir fakat kısım 4.4.2.2'de açıklandığı üzere sistemin elektrik üretim performansının her yıl % 0,5 azalacağı varsayılmıştır.

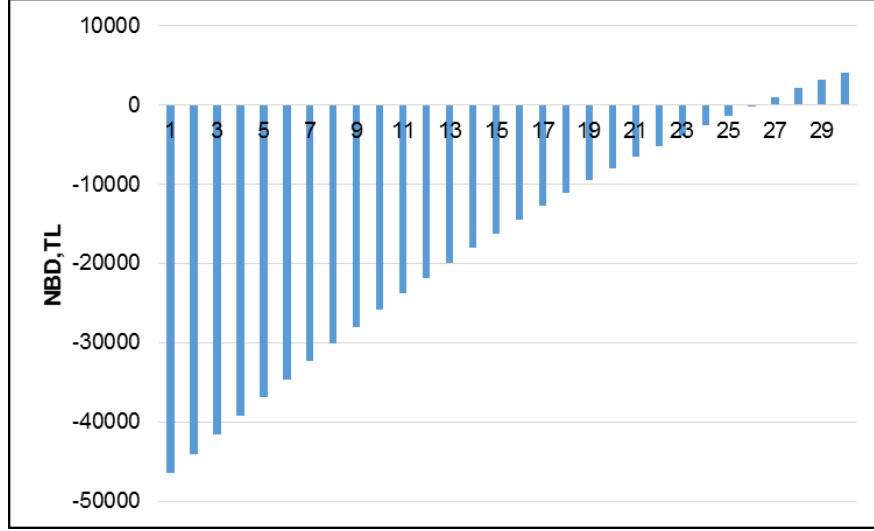
Elektrik fiyat tahmininde E2 kodlu tahminin doğru çizgisinin diğer iki tahminin ortasında olması sebebi ile bu çalışmada iki numaralı tahminin kullanılmasına karar verilmiştir. Elektrik fiyat tahmini için kullanılan geçmiş yıllara ait elektrik fiyat verisi aralığına göre GÖS değişmekte ve bu değişim Çizelge 7-8'de görülmektedir.

Çizelge 7-8 FVP için GÖS'nin elektrik fiyat tahmini için kullanılan veri aralığına göre değişimi

Tahmin No	GÖS, Yıl
E1	24
E2	27
E3	30

Bölüm 4.5.3'de açıklanan yöntemle hesaplanan NNA ve NBD verileri Çizelge EK-10 2'de verilmiştir. 2013 yılı için nominal faizin 0,065 değer alması durumunda

NBD'in 27. yılda pozitif değer alması sebebi ile fotovoltaik panelin GÖS 27 yıl olarak hesaplanmıştır. NBD'in yıllara göre değişimi Şekil 7-10'de verilmiştir.



Şekil 7-10 Fotovoltaik panel için NBD'in yıllara göre değişimi

İki numaralı elektrik fiyat tahmininin kullanılması ve nominal faizin 0,065 olması durumunda GÖS 27 yıldır. Fakat nominal faiz oranının 2013 yılında beklenenden yüksek olması sebebi ile geçmiş yıllara ait farklı nominal faiz değerleri için de Geri Ödeme Süreleri hesaplanmış ve Çizelge 7-9'da bu değerler verilmiştir.

Çizelge 7-9 FVP için GÖS'nin nominal faiz oranına göre değişimi

Nominal Faiz Oranı	GÖS, Yıl
0,040	19
0,065	27
0,080	40

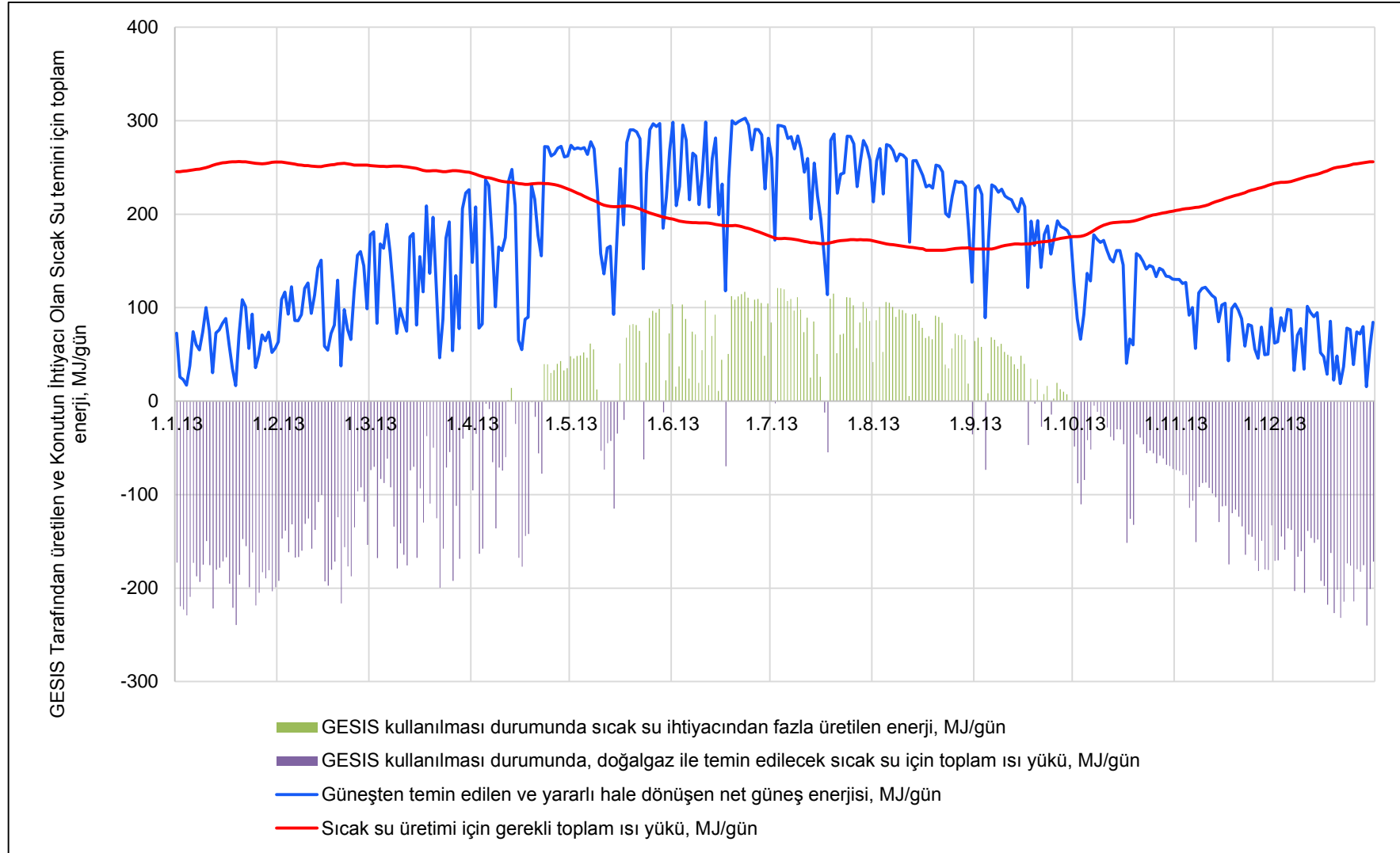
Bu hesaplamalar ile nominal faiz ve elektrik fiyat tahminin değişik aralıklar için varsayılması ile fotovoltaik panelin GÖS'nin 19-40 yıl arasında değişebileceği görülmektedir. FVP'in Türkiye'de pahalı olması sebebi ile GÖS Ankara iklimi için oldukça yüksek hesaplanmıştır. Bu sebeple İç Anadolu'da elektrik ihtiyacının şebekeden sağlanabileceği bölgelerde FVP kullanılmasının uygun olmadığı sonucuna varılmıştır.

7.4.2.2 Güneş Enerjisi ile Sıcak Su Temini Sistemi Senaryosu Sonuçları

Güneş Enerjisi ile Sıcak Su Temini Sistemi (GESIS) için firmalardan alınan fiyatlar doğrultusunda en uygun görülen fiyat teklifi EK-5'de verilmiştir. Konutta GESIS bulunmamakta ve sıcak su ihtiyacı doğalgaz ile çalışan kombi ile sağlanmaktadır. Konutun bir yıl süresince doğalgaz tüketimi günlük olarak ölçülmüş ve bu tüketimde sıcak su temini için tüketilen doğalgaz miktarı hesaplanmıştır.

Kısım 4.2.3.2'de açıklanan yöntemle MS Excel'de yapılan hesaplamalar sonucunda konutun sıcak su temin etme amacı ile enerji talebi 77 GJ/yıl (2.059 m³/yıl) olarak bulunmuştur. Güneşten temin edilen ve sıcak su temin etme amacı ile kullanılacak net güneş enerjisi ise 2013 radyasyon verisi ile 60 GJ/yıl olarak hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamalar doğrultusunda yılın 144 günü GESIS ihtiyaçtan fazla enerji üretmiş ve konutun sıcak su temin etme amaçlı enerji ihtiyacı tamamen GESIS ile karşılanmıştır. İhtiyaç fazlası enerji ise GESIS'de depolanamamaktadır. Kalan 221 gün ise GESIS ihtiyaçtan az enerji üretmiş, konutun sıcak su temin etme amaçlı enerji ihtiyacı kısmen GESIS tarafından karşılanabilmiştir. İhtiyacın karşılanamadığı zamanlar sıcak su temin etme amacı ile DG kullanan kombi kullanılmıştır. 221 gün süresince GESIS'in karşılayamadığı enerji talebi 27 GJ/yıl olarak hesaplanmıştır. Bu enerji doğalgaz kullanan kombi ile karşılanmaktadır. Bu durumda 27 GJ/yıl (720 m³/yıl) enerji doğalgaz kullanan kombi ile, 50 GJ/yıl enerji GESIS tarafından sağlanabilecektir. Bu durumda sıcak su temin etme amacı ile tüketilen enerji miktarında % 64 enerji tasarrufu sağlanmıştır.

Şekil 7-11'de konutun sıcak su temini için enerji talebi ve konuta GESIS kurulması durumunda GESIS'in üreteceği enerji miktarı görülmektedir. Buna ek olarak, GESIS'in talebi karşılayamadığı zamanlar kombi ile temin edilecek enerji talebi ve sıcak su ihtiyacından fazla üretilen enerji miktarı da Şekil 7-11'de görülmektedir.



Şekil 7-11 GESIS tarafından sıcak su talebi için üretilen enerji miktarı ve konutun sıcak su temini için enerji yükü, MJ/gün

- **GESIS Senaryosu Ekonomik Analiz Sonuçları**

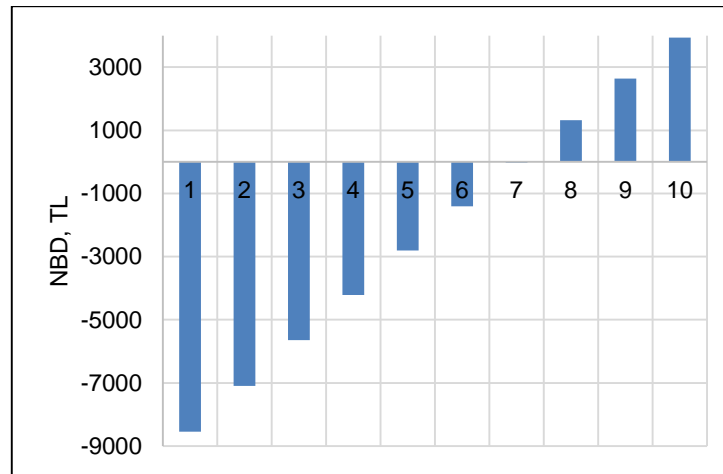
GESIS için firmalardan alınan fiyatlar doğrultusunda en uygun görülen fiyat teklifi EK-5'de verilmiştir. Firma tarafından GESIS için tüm kurulum ücretleri dahil olmak üzere 10.000 TL fiyat verilmiştir.

Doğalgaz fiyat tahmini için kullanılan veri aralığına göre GÖS değişmekte ve bu değişim Çizelge 7-12'de görülmektedir.

Çizelge 7-10 GESIS için GÖS'nin doğalgaz fiyat tahmini için kullanılan veri aralığına göre değişimi

Tahmin No	GÖS, Yıl
D1	7
D2	8
D3	8

Doğalgaz fiyat tahmininde D2 kodlu tahminin doğru çizgisinin diğer iki tahminin ortasında olması sebebi ile bu çalışmada D2 kodlu tahminin kullanılmasına karar verilmiştir. D2 kodlu doğalgaz fiyat tahmininin kullanılması ve nominal faizin 0,065 olması durumunda GÖS 8 yıl olarak hesaplanmıştır. Bölüm 4.5.3'de açıklanan yöntemle hesaplanan NNA ve NBD verileri Çizelge EK-10 3'de verilmiştir. Bu durumda NBD'in yıllara göre değişimi Şekil 7-12'de verilmiştir.



Şekil 7-12 GESIS için NBD'in yıllara göre değişimi

Farklı nominal faiz değerleri ile de Geri Ödeme Süreleri hesaplanmış ve bu değerler Çizelge 7-11’de verilmiştir.

Çizelge 7-11 GESIS için GÖS’nin nominal faiz oranına göre değişimi

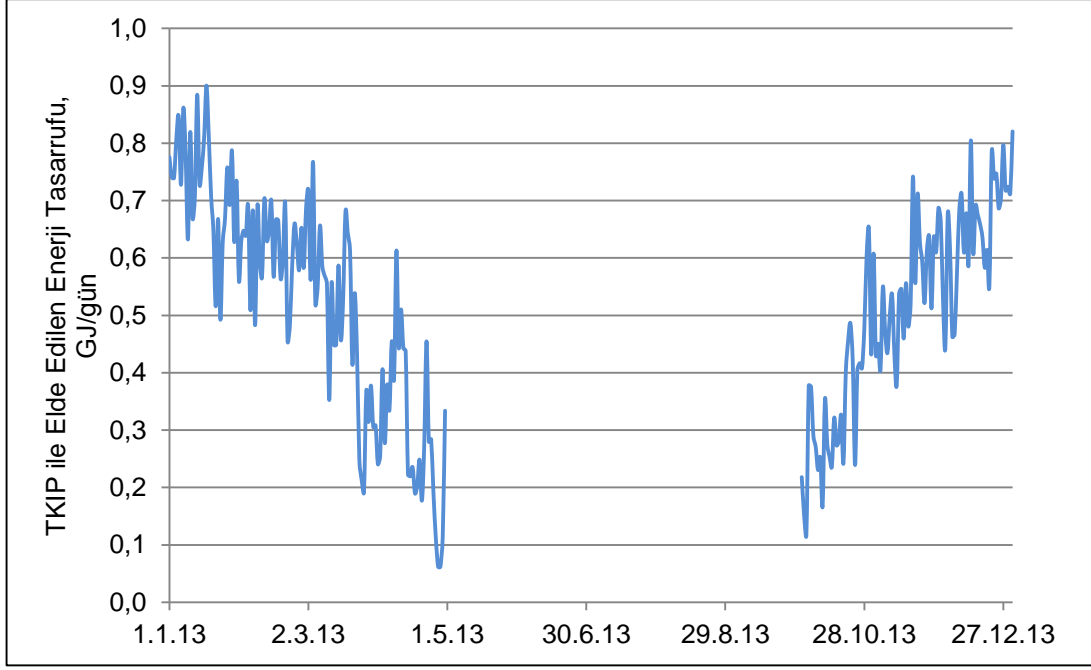
Nominal Faiz Oranı	GÖS, Yıl
0,040	7
0,065	8
0,080	8

Bu hesaplamalar ile nominal faiz ve doğalgaz fiyat tahminin değişik aralıklar için varsayılması ile GESIS’in GÖS’nin 7-8 yıl arasında değişebileceği görülmektedir. GESIS’in GÖS’nin 8 yıl olması ve % 64 enerji tasarrufu sağlanabilmesi sebebi ile GESIS’in konutta uygulanmasının tercih edilebilir olacağı sonucuna varılmıştır.

7.4.2.3 Toprak Kaynaklı Isı Pompası Senaryosu Sonuçları

Kısım 7.4’de belirtildiği üzere Ankara için normal iklim verisi ile yapılan ESP-r simülasyon sonuçlarına göre konutun ısıtma amacı ile enerji talebi 182 GJ/yıl olarak tahmin edilmiştir.

ESP-r’da oluşturulan modelde konutun ısıtma ihtiyacının TKIP ile karşılanması durumunda TKIP’nin elektrik tüketim eşdeğeri 56 GJ/yıl (15.485 kWh/yıl) olarak hesaplanmıştır. Bu sebeple, konutun ısıtma ihtiyacının TKIP ile sağlanması durumunda 126 GJ/yıl (% 69) enerji tasarruf edildiği görülmüştür. Günlük enerji tasarrufunun grafiği Şekil 7-13’de verilmiştir.

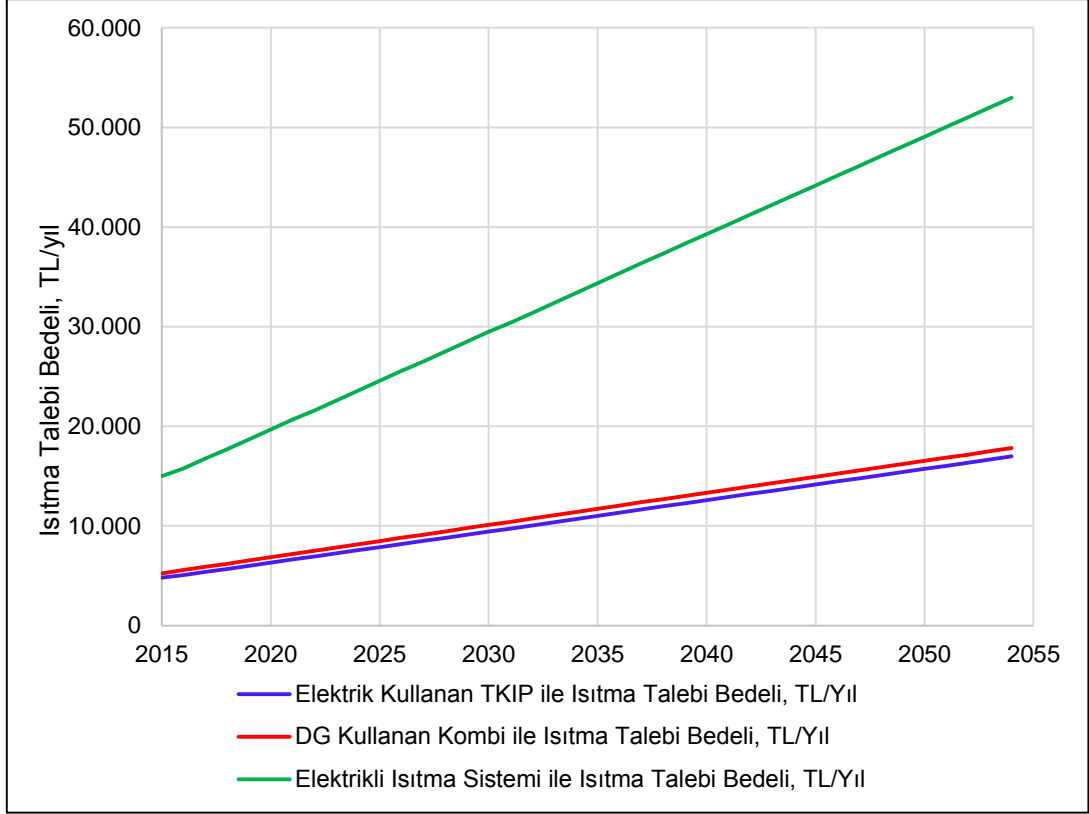


Şekil 7-13 Toprak kaynaklı ısı pompası kullanılması senaryosu ile elde edilen enerji tasarrufu, GJ/gün

- **Toprak Kaynaklı Isı Pompası Senaryosu Ekonomik Analiz Sonuçları**

TKIP için firmalardan alınan fiyatlar doğrultusunda en uygun görülen fiyat teklifi EK-5'de verilmiştir. TKIP için tüm kurulum ücretleri dahil olmak üzere 44.209 TL fiyat verilmiştir.

Konutun ısıtma talebinin TKIP ile sağlanması durumunda ise TKIP tarafından tüketilen elektrik talebi tahmini 15.485 (56 GJ/yıl) kWh/yıl'dır. Konutta ısıtma talebinin karşılanması amacı ile doğalgaz kullanan kombi kullanması ve TKIP kullanması durumunda, D2 ve E2 kodlu doğalgaz ve elektrik fiyat tahminleri kullanılarak yapılan hesaplamalara göre yıllık ısıtma talebi bedeli Şekil 7-14'de görülmektedir.



Şekil 7-14 Kombi ve TKIP kullanması durumunda ısıtma talebi bedeli, TL/yıl

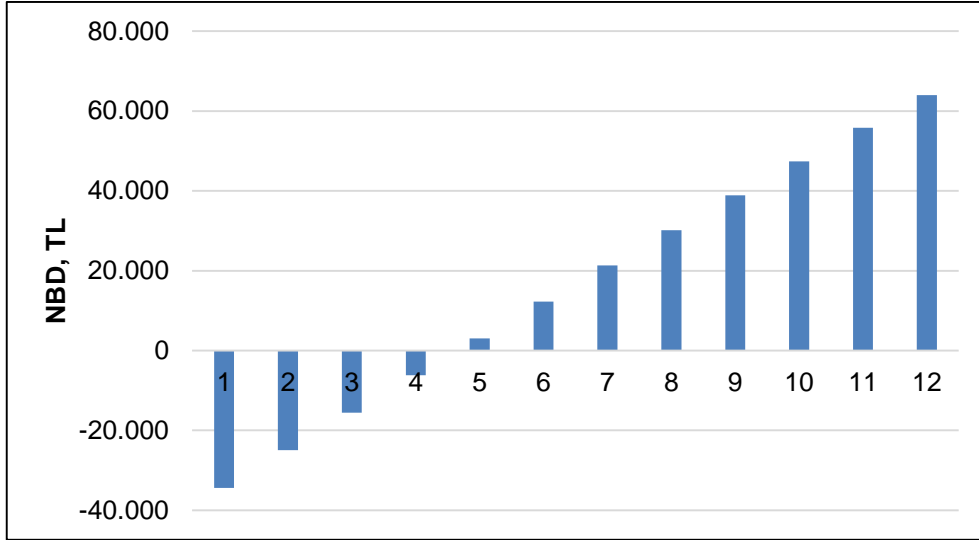
Konutun mevcut ısıtma talebi doğalgaz ile sağlanmakta, TKIP uygulanması durumunda ise ihtiyaç duyulan enerji elektrik ile sağlanmaktadır. Bu sebeple TKIP senaryosunda GÖS hesaplanırken hem doğalgaz hem de elektrik fiyat tahminlerinin kullanılması gerekmektedir. Fakat Şekil 7-14'de görüldüğü gibi konutun ısıtma talebinin tamamını doğalgaz ile karşılamak, kısmen elektrik enerjisi kullanan TKIP ile karşılamaya kıyasla daha pahalıdır. Fakat aradaki fiyat farkının az olması ve TKIP sisteminin çok pahalı olması sebebi ile TKIP sisteminin GÖS 40 yıldan fazla olmaktadır.

Konutun mevcut ısıtma sisteminin elektrik enerjisi ile sağlandığının varsayılması durumunda ise farklı elektrik fiyat tahminleri için kullanılan veri aralığına göre GÖS hesaplanmış ve sonuçlar Çizelge 7-12'de verilmiştir.

Çizelge 7-12 TKIP için GÖS'nin elektrik fiyat tahmini için kullanılan veri aralığına göre değişimi

Tahmin No	GÖS, Yıl
E1	5
E2	5
E3	5

İki numaralı elektrik fiyat tahmininin kullanılması ve nominal faizin 0,065 olması durumunda GÖS 15 yıl olarak hesaplanmıştır. Bölüm 4.5.3'de açıklanan yöntemle hesaplanan NNA ve NBD verileri Çizelge EK-10 4'de verilmiştir. Bu durumda NBD'in yıllara göre değişimi Şekil 7-15'de verilmiştir.



Şekil 7-15 TKIP için NBD'in yıllara göre değişimi

Farklı nominal faiz değerleri ile de geri ödeme süreleri de hesaplanmış ve bu değerler Çizelge 7-13'de verilmiştir.

Çizelge 7-13 TKIP için GÖS'nin nominal faiz oranına göre değişimi

Nominal Faiz Oranı	GÖS, Yıl
0,040	5
0,065	5
0,080	5

Bu hesaplamalar ile nominal faiz ve elektrik fiyat tahmininin değişik aralıklar için varsayılması ile TKIP'nın GÖS'nin 5 yıl olduğu görölmektedir.

TKIP'nın ilk yatırım maliyeti oldukça yüksektir ve sistem çalışırken yüksek miktarda elektrik enerjisi kullanmaktadır. Bu sebepten konutta TKIP kullanılması tercih edilmemiştir.

7.4.3 CO₂ Salımı Azalması

CO₂ salımındaki azalma doğalgaz tüketiminde azalmayı sağlayan senaryolar için doğalgaz özel salım faktörü (DSF), elektrik tüketiminde azalma sağlayan senaryolar için elektrik için salım faktörü (ESF) kullanılarak, Eşitlik 4-8'e göre hesaplanmıştır. Bütün senaryolara ait CO₂ salımındaki azalma miktarı (kg/yıl) Çizelge 7-14'de verilmiştir.

Çizelge 7-14 Enerji tasarrufu ve CO₂ salımındaki azalma sonuçları

Senaryo	Senaryo Kodu	Enerji tasarrufu, GJ/yıl	CO ₂ azalması kg/yıl
Pencere Camı Tipi	S.1-a	22	1.259
	S.1-b	27	1.546
Yalıtım	S.2-a	2	114
	S.2-b	4	229
	S.2-c	5	286
	S.2-d	51	2.919
Cam+Yalıtım	S.3	84	4.809
FVP	S.4	30	3.725
Güneş Enerjisi ile Sıcak Su	S.5	50	2.864
TKIP	S.6	126	3.052

7.5 Model Konutun Enerji Ve Emisyon Sınıfı

Konutun ölçülen yıllık elektrik tüketimi 15.702 kWh'dir. Ölçülen yıllık doğalgaz tüketimi ise 6.729 m³'dür. Eşitlik 4-4 ile doğalgaz tüketiminin enerji eşdeğeri 70.099 kWh/yıl'dır. Bu durumda konutta toplam 85.801 kWh/yıl enerji tüketilmektedir. 500 m² ısıtılan alana sahip olan konutun EP değeri 172 kWh/m²-yıl'dır ve konut B enerji sınıfındadır.

Kısım 5.2'de verilen DSF ve ESF değerleri kullanılarak konutun CO₂ salım miktarı hesaplanmıştır. Konutun elektrik tüketiminden kaynaklı 7.006 kg-CO₂/yıl, doğalgaz tüketiminden kaynaklı 14.446 kg-CO₂/yıl CO₂ salımı vardır. Bu durumda konutun toplam yıllık CO₂ salımı 21.452 kg-CO₂/yıl'dır. Konutun 500 m² kullanılan alana sahip olması sebebi ile SEG değeri 43 kg-CO₂/m²-yıl'dır ve konut C emisyon sınıfındadır.

Senaryoların uygulanması ile konutun yeni enerji tüketim ve enerji sınıfı değerleri Çizelge 7-15'de verilmiştir.

Çizelge 7-15 Senaryoların uygulanması ile konutun enerji tüketim ve enerji sınıfı değerleri

SENARYO	Senaryo Kodu	Senaryo ile EP Değeri, kWh/m ² -yıl	Senaryo ile Enerji Sınıfı	Senaryo ile SEG Değeri, kg-CO ₂ /m ² -yıl	Senaryo ile Emisyon Sınıfı
Pencere Camı Tipi	S.1-a	159	B	40	C
	S.1-b	157	B	40	C
Yalıtım	S.2-a	170	B	43	C
	S.2-b	169	B	42	C
	S.2-c	169	B	42	C
	S.2-d	143	B	37	B
Cam+Yalıtım	S.3	125	B	37	B
FVP	S.4	157	B	36	B
Güneş Enerjisi ile Sıcak Su	S.5	142	B	37	B
TKIP	S.6	62	A	37	B

Konutta S.6 (TKIP senaryosu) kodlu senaryonun uygulanması durumunda konutun enerji sınıfı B'den A'ya yükselbilecektir. S.2-d, S.3, S.4, S.5 ve S.6 kodlu senaryoların uygulanması ile ise konutun emisyon sınıfını C'den B'ye yükseltebilecektir.

7.6 Ankara'da Bulunan Konutlara Senaryoların Genellenmesi

Çizelge 5-24'de Ankara'da 2005 yılından itibaren yapılan bir dairesel toplam bina alanının bina enerji sınıfı bazında dağılımı verilmiştir. Mevcut konutun B enerji sınıfında olduğu tespit edilmiştir. Bu sebepten, 2005 yılından itibaren yapılan bir

daireli müstakil B enerji sınıfındaki binalara senaryoların uygulanması ile elde edilecek enerji tasarrufu ve CO₂ salımındaki azalma Çizelge 7-16'da verilmiştir.

Çizelge 7-16 Senaryoların Ankara'da 2005 yılından itibaren yapılan B enerji sınıfı müstakil konutlara uygulanması ile elde edilen enerji tasarrufu ve CO₂ salımında azalma

Senaryo No	Bina Enerji Sınıfı B									
	S.1-a	S.1-b	S.2-a	S.2-b	S.2-c	S.2-d	S.3	S.4	S.5	S.6
Enerji tasarrufu, GJ/yıl	69.966	85.868	6.361	12.721	15.901	162.195	267.144	95.576	159.105	381.851
CO ₂ salımında azalma miktarı, Ton CO ₂ /yıl	4.005	4.915	364	728	910	9.285	15.293	11.841	9.108	9.717

Diğer senaryolara oranla, enerji tasarrufunun yüksek, GÖS ve maliyetinin düşük olması sebebi ile uygulanabilirliği daha yüksek görülen S.3 (Yapısal iyileştirme senaryolarının birlikte uygulanması senaryosu) ve S.5 (GESIS) kodlu senaryoların Ankara'da 2005'den sonra inşa edilen B enerji sınıfındaki müstakil konutlara uygulanması ile elde edilen enerji tasarrufunun 426.248 GJ olduğu Çizelge 7-16'da görülmektedir. Elde edilecek enerji tasarrufunun doğalgaz eşdeğeri 11 milyon m³/yıl'dır. Bu tasarruf ile Çankırı ilinin yıllık doğalgaz talebinin tamamına yakını, Trabzon ilinin ise tamamı karşılanabilmektedir (2013 yılı Çankırı DG tüketimi 14 milyon m³, Trabzon DG tüketimi 11 milyon m³ [7]).

Aynı zamanda Çizelge 7-16'da S.3 ve S.5 kodlu senaryoların Ankara'da 2005'den sonra inşa edilen B enerji sınıfındaki müstakil konutlara uygulanması ile elde edilen CO₂ salımındaki azalma toplamda 24.401 ton-CO₂/yıl olarak hesaplanmıştır. Bu miktar, 0,55 verimle günde 10 saat çalışan DG ısı değeri 10.6 kWh/m³ olan 18 MW'lık bir santralin CO₂ salımına eşdeğerdir.

TKIP'nın ise en yüksek enerji tasarrufu ve CO₂ azalması neden olacağı sonucuna varılmıştır.

7.7 Bölüm Sonucu

Bu bölümde ilk olarak konutun ESP-r ortamında modellenmesi ile elde edilen konutun ısıtma talebi sonuçları ve modelin kalibrasyonu için yapılan analizlerin sonuçları verilmiştir. Modelin kalibrasyonu tamamlandıktan sonra ise ESP-r bina enerji simülasyon yazılımı ile tahmin edilen konutun saatlik ısıtma talebi verilerinin analizi verilmiştir.

Daha sonra, modelin havalandırma ve odaların sıcaklık derecesi karşısında ısıtma amaçlı enerji tüketiminin değişiminin izlendiği duyarlılık analizi sonuçları açıklanmıştır. Bir sonraki kısımda ise, modele farklı senaryoların uygulanması ile elde edilen enerji tasarrufu (GJ/yıl), CO₂ azalması (kg/yıl) ve GÖS (yıl) sonuçları verilmiştir.

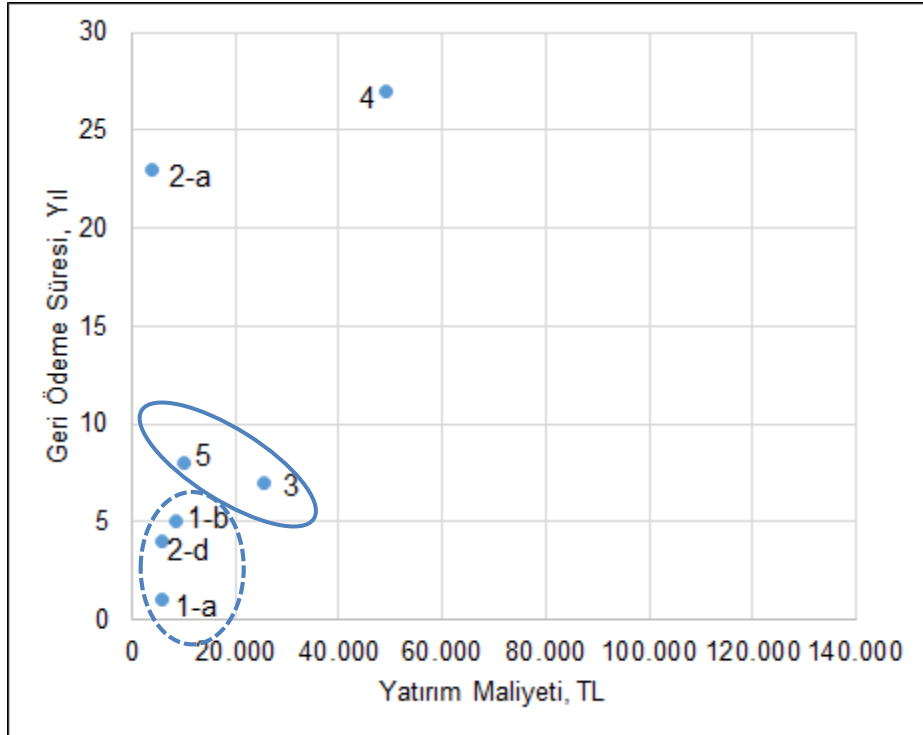
Konutta uygulanan senaryoların genel sonuçları Çizelge 7-17'de verilmiştir.

Çizelge 7-17 Genel senaryo sonuçları

Senaryo Kodu	Açıklaması	Enerji Tasarrufu, GJ/yıl	CO ₂ Azalması, kg/yıl	GÖS, yıl
S.1-a	Pencere Camı Tipi	22	1.259	1
S.1-b		27	1.546	5
S.2-a	Yalıtım	2	133	23
S.2-b		4	229	>40
S.2-c		5	323	>40
S.2-d		51	2.919	4
S.3	Cam + Yalıtım	84	4.809	7
S.4	FVP	30	3.725	27
S.5	GESIS	50	2.534	8
S.6	TKIP	126	3.052	>40

Çizelge 7-17’de görüldüğü gibi, konutun ısıtma talebini azaltmada; maliyet, enerji tasarrufu ve GÖS göz önüne alındığında yapısal iyileştirme senaryolarının daha tercih edilebilir olduğu sonucuna varılmıştır. GESIS’in de sıcak su temin etme amaçlı kullanımının tercih edilebileceği sonucuna varılmıştır.

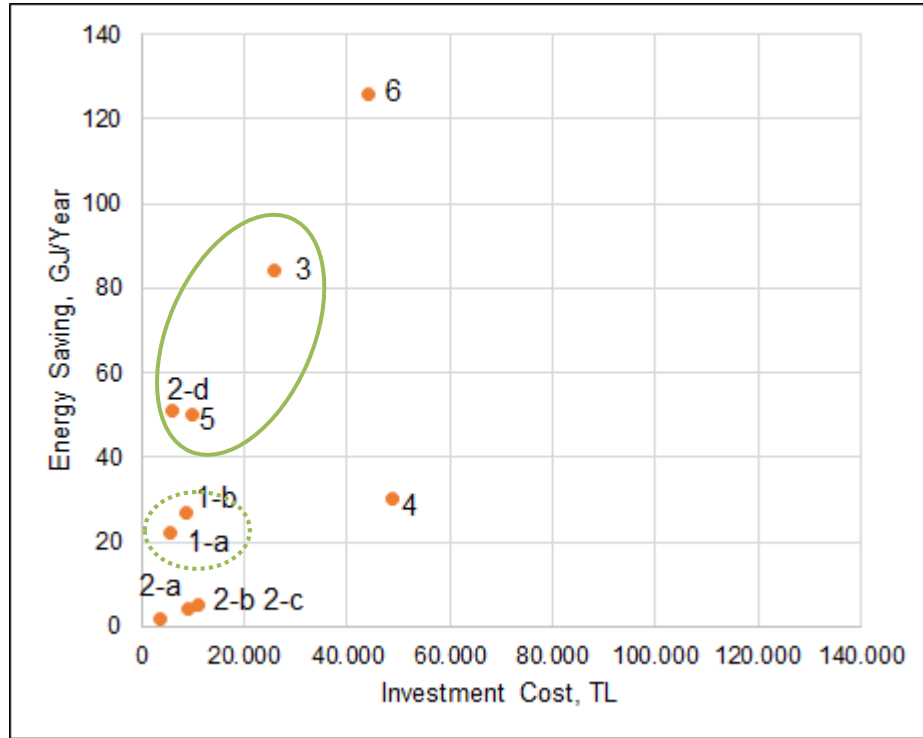
Konutta uygulanan senaryoların GÖS’nin senaryo maliyet ile değişimi Şekil 7-16’da verilmiştir.



Şekil 7-16 GÖS’nin senaryoların maliyeti ile değişimi

Şekil 7-16'da görüldüğü gibi GÖS 8 yıl olan S.3 (yapısal iyileştirmelerin birlikte uygulanması) ve S.5 (GESIS) kodlu senaryolar, maliyetlerinin de çok yüksek olmaması sebebi ile en tercih edilebilir senaryolardır. S.1-a (argon boşluklu çift cam), S.1-b (argon boşluklu üçlü cam) ve S.2-d (çatı yalıtımı) kodlu senaryoların ise hem maliyeti hem de GÖS düşüktür. Bu sebeple konutların inşası sırasında tercih edilebilirler. Buna ek olarak S.4 (FVP Senaryosu) kodlu senaryonun hem maliyetinin hem de GÖS'nin yüksek olduğu Şekil 7-16'de görülmektedir. Dış duvar yalıtımının iyileştirilmesi olan S.2-b, S.2-c senaryolarında ve S.6 kodlu TKIP senaryosunda ise GÖS'nin 40 yıldan fazla olması sebebi ile grafikte yer verilmemiştir. Yine dış duvar yalıtımının iyileştirilmesi olan S.2-a kodlu senaryonun ise maliyeti düşüktür ama GÖS'nin oldukça yüksek olduğu Şekil 7-16'de görülmektedir.

Şekil 7-17'de ise senaryolarda elde edilen enerji tasarrufunun senaryoların maliyetleri ile değişimi görülmektedir.



Şekil 7-17 Elde edilen enerji tasarrufunun senaryoların maliyeti ile değişimi

Şekil 7-17'de görüldüğü gibi enerji tasarrufu en yüksek olan senaryolar S.6 (TKIP), S.3 (yapısal iyileştirmelerin birlikte uygulanması), S.2-d (çatı yalıtımı) ve S.5 (GESIS) kodlu senaryolardır. S.6 kodlu TKIP senaryosunda elde edilen enerji

tasarrufunun yüksek olmasına karşılık maliyeti de oldukça yüksektir. Bu sebeple S.2-d, S.3 ve S.5 kodlu senaryolar, enerji tasarruflarının yüksek olmasına karşın maliyetlerinin de çok yüksek olmaması sebebi ile en tercih edilebilir senaryolardır. S.4 kodlu FVP senaryosunda ise maliyet oldukça yüksek, enerji tasarrufu ise buna karşılık çok yüksek değildir. S.1-a (argon boşluklu çift cam) ve S.1-b (argon boşluklu üçlü cam) kodlu senaryolarda enerji tasarrufu çok yüksek değildir fakat maliyetlerinin düşük olması sebebi ile yeni konutların inşasında pencere camlarında hava yerine argon boşluklu camların kullanılmasının daha uygun olduğu düşünülmektedir. Dış duvar yalıtımının iyileştirilmesi olan S.2-a, S.2-b ve S.2-c senaryolarında ise maliyet çok yüksek değildir fakat buna karşılık enerji tasarrufu da hayli düşüktür.

Modele senaryoların uygulanmasından sonra konutun enerji sınıfı ve sera gazı emisyon sınıfı belirlenmiştir. Son olarak konut ile aynı enerji sınıfında olan Ankara'da 2005 yılından sonra inşa edilen bir dairesel bütün müstakil konutlara senaryoların uygulanması ile elde edilecek enerji tasarrufu ve CO₂ salımı azalması değerleri verilmiştir.

8 GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tezin ana amacı, Ankara'da bulunan müstakil bir konutun ısıtma talebi modelinin oluşturulması, bu modele farklı senaryolar uygulanması ile konutun ısıtma talebinde ve buna bağlı CO₂ salımında elde edilen azalmanın hesaplanması ve bu senaryoların tekno-ekonomik analizlerinin yapılmasıdır. Bu tezde geliştirilen model, model üzerine uygulanan senaryolar ile hesaplanan enerji tasarrufları, senaryoların tekno-ekonomik analizi ve senaryolar ile elde edilen enerji tasarruflarının Ankara'da bulunan model konut ile aynı enerji sınıfındaki konutlara uygulanması ilk defa yapılan bir çalışmadır. Bu çalışma, Ankara ikliminde bulunan müstakil konutlar için en çok tercih edilebilecek enerji tasarrufu yöntemlerinin belirlenmesinde önemli bir adımdır.

Bu çalışmada ilk olarak Ankara Beytepe'de bulunan müstakil bir konut model olarak seçilmiştir. Konutun modeli oluşturulmadan önce hane sahibi ile anket yapılmış; konutun mimari çizimi, inşası sırasında kullanılan malzemeler ve konutun içindeki enerji kazançları (aydınlatma, elektrikli cihaz kullanımı, hanehalkının evde bulunma süreleri) hakkında detaylı bilgi alınmıştır. Daha sonra, konutun bir yıl süresince günlük doğalgaz ve saatlik elektrik tüketimi ölçülmüştür. Ayrıca ölçümün yapıldığı 2013 yılına ait Ankara için saatlik iklim verisi Hacettepe Meteoroloji İstasyonu'ndan ve Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM)'nden temin edilmiştir. Buna ek olarak güneş enerjisi ile su ısıtma sistemi (GESIS) için yer altı toprak sıcaklığı verisi yine MGM'den temin edilmiştir. Konutun doğalgaz tüketiminin 2013 yılı süresinde ölçülmesi ile konutta toplam 6.729 m³/yıl (252 GJ/yıl) doğalgaz tüketildiği görülmüştür. Bölüm 4.2.3.2'de anlatılan yöntemlerle; bu tüketim içerisinde yılda 135 m³/yıl (5 GJ/yıl) doğalgazın yemek pişirme, 2.059 m³ (77 GJ/yıl) doğalgazın sıcak su temin etme, 4.535 m³/yıl (170 GJ/yıl) doğalgazın ise ısıtma amacı ile kullanıldığı hesaplanmıştır. Konutun 2013 yılı için ölçülen yıllık elektrik tüketimi ise 15.702 kWh'dir.

Gerekli veriler temin edildikten sonra, bina enerji simülasyon yazılımı ortamında konutun modeli oluşturularak saatlik ısıtma talebi belirlenmiştir. Model tamamlandıktan sonra, modelin kalibre edilmesi amacı ile uygulanan değerlendirme yöntemlerinin sonucunda R² değeri 0,95, MAPE ise %24 olarak hesaplanmıştır.

Modelin kalibrasyonu tamamlandıktan sonra, yapılan simülasyonlar ile konutun saatlik ısıtma talebi belirlenmiştir. 2013 yılı iklim verisi kullanılarak yapılan simülasyon sonuçlarına göre konutun ısıtma talebi 141 GJ/yıl olarak, bu tüketimin doğalgaz eşdeğeri 3.753 m³/yıl olarak hesaplanmıştır. 2013 yılı doğalgaz fiyatı [111] göz önüne alındığında konutun 2013 yılında ısıtma amaçlı doğalgaz gideri 4.009 TL/yıl, ısıtma amaçlı doğalgaz tüketiminden kaynaklanan CO₂ salımı 8.058 kg-CO₂/yıl olarak hesaplanmıştır.

Konutta doğalgaz tüketiminin 2013 yılında ölçülmesi sebebi ile modelin kalibrasyonu 2013 iklim verisi kullanılarak yapılmıştır. Modelin kalibrasyonu tamamlandıktan sonra modele normal iklim verisi girilip senaryolar uygulanmıştır. Normal iklim verisi ise ABDEB tarafından Ankara için oluşturulan iklim verisidir. Bu çalışmada, Çizelge 6-5'de görülen senaryolar modele uygulanarak enerji tüketimindeki ve CO₂ salımındaki azalmalar hesaplanmıştır.

Modele uygulanan senaryolar fiziksel yapıda iyileştirmeler yapan senaryolar ve enerji talebinin yenilenebilir enerji kaynakları ile kullanan senaryolar olmak üzere iki gruba ayrılmıştır. Konutun fiziksel yapısında yapılan iyileştirme senaryoları, pencere camı, dış duvar ve çatı yalıtımında iyileştirmeler yapılmasını öngörmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılmasını öngören senaryolar ise, konutta fotovoltaik panel (FVP), güneş enerjisi ile su ısıtma sistemi (GESIS) ve toprak kaynaklı ısı pompası (TKIP) kullanılmasını öngören senaryolardır.

Konutun fiziksel yapısında iyileştirme yapılmasını öngören senaryolarda ilk olarak konutun pencerelerinde halihazırda bulunan 12 mm hava boşluklu çift camı yerine 16 mm argon boşluklu çift cam ve daha sonra 16 mm argon boşluklu üçlü cam kullanılması durumunda oluşan enerji tasarrufu hesaplanmış ve sırasıyla yılda 22 GJ (%12) ve 27 GJ (%15) enerji tasarrufu sağlanacağı görülmüştür. Daha sonra konutun dış duvarında mevcut olan ısı iletkenlik katsayısı $k=0,04$ W/mK olan 80 mm kalınlıkta yalıtım malzemesinin, kalınlığı 90 mm'ye çıkarılması ile yılda 2 GJ (%1) enerji tasarrufu edileceği hesaplanmıştır. Ayrıca, mevcut yalıtım yerine ısı iletkenlik katsayısı $k=0,035$ W/mK olan 80 mm kalınlıkta ve 90 mm kalınlıkta yalıtım uygulanması durumunda, yılda 4 GJ (%2) ve 5 GJ (%3) enerji tasarrufu edilebileceği hesaplanmıştır. Konutun çatısında ise yalıtım bulunmamaktadır. Konutun çatısına ısı iletkenlik katsayısı $k=0,035$ W/mK olan 100 mm kalınlıkta ısı yalıtım levhaları uygulanması durumunda yılda 51 GJ (%28) enerji tasarrufu elde edilebileceği

hesaplanmıştır. Son olarak, konutun penceresinde 16 mm hava boşluklu üçlü camın, dış duvarında 90 mm XPS yalıtımın ve çatıda 100 mm XPS yalıtımın aynı anda kullanılması ile yılda 84 GJ (%46) enerji tasarrufu elde edilebileceği hesaplanmıştır.

FVP senaryosunda, konutun çatısına FVP eklenmesi bina enerji simülasyon yazılımı ortamında modellenerek panelin elektrik üretim tahmini hesaplanmıştır. konutun 2013 yılı elektrik tüketimi 15.702 kWh/yıl'dır. FVP eklenmesi ile ise 2013 iklim verilerine göre şebekeden satın alması gereken elektrik miktarı 7.354 kWh/yıl olarak bulunmuştur. Eklenen FVP ile konutun elektrik ihtiyacının % 53'ü karşılanabilmektedir. Buna ek olarak güney-batıya bakan panelin % 12 daha fazla elektrik ürettiği görülmüştür. Farklı nominal faiz ve elektrik fiyat tahminlerinin kullanıldığı hesaplamalar ile FVP'in GÖS'nin 19-40 yıl arasında değişebileceği görülmektedir. FVP'in Türkiye'de pahalı olması sebebi ile İç Anadolu iklimi için GÖS oldukça yüksek hesaplanmıştır. Bu sebeple elektrik ihtiyacının şebekeden sağlanabileceği bölgelerde İç Anadolu iklimi için FVP kullanılmasının uygun olmadığı sonucuna varılmıştır.

Konutta GESIS kullanılması senaryosunda yapılan hesaplamalara göre konutun sıcak su temin etme amacı ile enerji talebi 77 GJ/yıl (2.059 m³/yıl) olarak hesaplanmıştır. GESIS tarafından karşılanabilecek enerji 50 GJ/yıl, GESIS talebi karşılayamadığı zaman kombi ile temin edilecek enerji 27 GJ/yıl (720 m³/yıl) olarak hesaplanmış ve %64 enerji tasarrufu sağlanacağı görülmüştür. GESIS'in GÖS'nin kısa (7-8 yıl) olması ve %64 enerji tasarrufu sağlanabilmesi sebebi ile GESIS'in konutta uygulanmasının makul olacağı sonucuna varılmıştır.

Konutun ısıtma ihtiyacını TKIP ile karşılaması senaryosu (senaryo kodu: S.6) bina enerji simülasyon yazılımı ortamında modellenmiştir. Konutun ısıtma ihtiyacının TKIP karşılanması durumunda TKIP'nin yıllık elektrik tüketim eşdeğeri 56 GJ/yıl olarak hesaplanmıştır, 126 GJ/yıl (% 69) enerji tasarrufu elde edildiği görülmüştür. TKIP'nin yatırım maliyeti oldukça yüksektir ve sistem çalışırken yüksek miktarda elektrik kullanmaktadır. Bu sebeple sistemin GÖS 40 yıldan fazla çıkmıştır. Bu sebeple konutta TKIP kullanılması tercih edilmemiştir.

Senaryolarda kullanılması öngörülen yapılar ve sistemler için alınan fiyatlar 2014 yılına aittir. Bu fiyatların farklı faiz oranları ile değişebilmesi söz konusudur. Bu sebeple hesaplanan geri ödeme süreleri azalabilir yada artabilir.

Modele senaryoların uygulanmasından sonra konutun enerji sınıfı ve sera gazı emisyon sınıfı belirlenmiştir. Konutta normal iklim şartlarında tüketilen toplam enerji miktarı 85.801 kWh/yıl 'dır. 500 m² ısıtılan alana sahip olan konutun EP değeri 172 kWh/m²-yıl olarak hesaplandığından konut B enerji sınıfındadır. Enerji tüketimine bağlı olarak konutun toplam CO₂ salımı 21.452 kg-CO₂/yıl olarak hesaplanmıştır. Benzer şekilde emisyon değerine bağlı olarak konutun SEG değeri 43 kg-CO₂/m²yıl'dır ve emisyon sınıfı C'dir. Senaryoların uygulanması ile konutun yeni enerji tüketim ve enerji sınıfı değerleri Çizelge 7-15'de verilmiştir. Konut S.3 ve S.6 kodlu senaryoların uygulanması durumunda enerji sınıfını B'den A'ya yükseltebilecektir. S.1-a, S.1-b, S.2-d, S.3, S.4, S.5 ve S.6 kodlu senaryoların uygulanması durumunda ise emisyon sınıfını C'den B'ye yükseltebilecektir

Yapılan analizler sonucunda yapılması uygun bulunan S.3 (yapısal iyileştirme senaryolarının birlikte uygulanması senaryosu) ve S.5 (GESIS) kodlu senaryoların Ankara'da 2005'den sonra inşa edilen B enerji sınıfındaki müstakil konutlara uygulanması ile elde edilebilecek enerji tasarrufu 426.248 GJ/yıl, enerji tasarrufunun doğalgaz eşdeğeri 11 milyon m³/yıl'dır.

S.3 ve S.5 kodlu senaryoların Ankara'da 2005'den sonra inşa edilen B enerji sınıfındaki müstakil konutlara uygulanması ile elde edilebilecek CO₂ salımındaki azalma 24.401 ton-CO₂/yıl olarak hesaplanmıştır.

8.1 Gelecekteki Çalışmaları için Öneriler

Bu tezin devamında ileride yapılabilecek çalışmalar aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- Bu çalışmada konutun ısıtma talebinin modellenmesinde ESP-r yazılımı kullanılmıştır. Konutun ısıtma talebi farklı bina enerji simülasyon yazılımlarında da modellenip yazılımların performansı karşılaştırılabilir.
- Bu çalışmada FVP sisteminin üreteceği elektrik miktarı bina enerji simülasyon yazılımı ile tahmin edilmiştir fakat simülasyon sonucunda elde edilen veriler kalibre edilmemiştir. FVP için fiyat alınan firmanın FVP için elektrik üretim tahminine simülasyon sonuçları yakın olduğu için simülasyon

verisi doğru kabul edilmiştir. Sonraki çalışmalarda, modele uygulanan FVP sistem gerçek ortamda kurulup, sistemin elektrik üretimi ölçülebilir veya halihazırda bulunan bir FVP sisteminin özellikleri ile FVP modellenerek elektrik üretim verileri temin edilebilir. Böylece ölçüm verisi ile simülasyon verisi kalibre edilerek simülasyonun performansı izlenebilir. Buna ek olarak, gerçek bir FVP sisteminin kurulması ile FVP sistemin yıllar içinde elektrik üretimindeki performansı da gözlenebilir.

- Yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı olarak kurulacak elektrik üretim tesislerinden üretilen elektriğin ihtiyaç fazlası kısmı, üretim tesisinin kurulduğu bölgede görevli tedarik şirketi aracılığıyla Yenilenebilir Enerji Kaynakları (YEK) Destekleme Mekanizması kapsamında değerlendirilmektedir. Herhangi bir satış kısıtı yoktur. YEK destekleme mekanizması piyasa işletmecisi (*mevcut durumda TEİAŞ*) tarafından işletilen piyasa bazlı bir satın alma mekanizması olup elektriği kamu satın almamakta, ancak kamu sistemin işleyişini garanti altına almaktadır [124]. FVP eklenmesi durumunda elektrik üretimi tüketiminden yüksek olabilecek konutlarda fazla elektriğin şebekeye satılması durumunda sistemin geri ödeme süresi hesaplanabilir.
- Bu çalışmada model konut Ankara'da bulunmaktadır ve Ankara iklimi için uygun olan enerji tasarrufu yöntemleri incelenmiştir. Türkiye'de bulunan farklı iklim bölgelerinde bulunan müstakil konutlar için simülasyonlar yapılarak bu bölgelerde konutların ısıtma talebi belirlenebilir ve her bölge için uygun olan enerji tasarrufu yöntemleri tespit edilebilir. Özellikle soğutma yükünün yüksek olduğu Akdeniz ve Ege Bölgeleri için konutların ısıtma talebine ek olarak soğutma talebi de modellenebilir.
- Isıtma talebi modellenen konut B enerji sınıfındadır. Fakat Çizelge 5-22'de görüldüğü gibi Ankara'da en çok C enerji sınıfında konut bulunmaktadır. Bu sebeple farklı enerji sınıfında, özellikle C enerji sınıfında bulunan bir konutun ısıtma talebi modellenerek senaryolar ile elde edilen enerji tasarrufu hesaplanabilir.
- Bu çalışmada modellenen konut tek dairesli müstakil bir konuttur. Apartman dairesi veya tek dairesli olmayan müstakil konutlar için de ısıtma talebi modeli oluşturularak elde edilen enerji tasarrufu hesaplanabilir.

- Bu çalışmada konutun mimarisinde değişiklik içeren bir senaryo uygulanmamıştır. Çalışmanın üniversitelerin mimarlık bölümü ile birlikte götürülmesi ile konutun mimari çiziminde değişiklikler yapılarak konutun ısıtma talebinin düşürülebilir. Konut güneş enerjisinden daha fazla yararlanarak ısı depolayan malzemeler kullanılabilir ve güneşten gelen radyasyona az maruz kalan bölgelerde pencere boyutları küçültülebilir. Böylece ilerde inşa edilecek konutlar için enerjinin daha verimli kullanıldığı bina çizimleri elde edilebilir.

KAYNAKÇA

- [1] USDOE, «Chapter 2 : Residential Sector,» 2010. [Çevrimiçi]. Available: <http://buildingsdatabook.eren.doe.gov/ChapterIntro2.aspx>. [Erişildi: 11 6 2015].
- [2] ETKB, «ETKB,» 2010. [Çevrimiçi]. Available: http://www.enerji.gov.tr/EKLENTI_VIEW/index.php/raporlar/raporVeriGir/61543/2. [Erişildi: 2012].
- [3] DEK-TMK, «Türkiye Enerji Denge Tabloları,» 21 4 2015. [Çevrimiçi]. Available: <http://www.dektmk.org.tr/incele.php?id=MTAw#>.
- [4] TUIK, «TUIK Bölgesel İstatistikler,» 2015. [Çevrimiçi]. Available: <http://tuikapp.tuik.gov.tr/Bolgesel/menuAction.do>. [Erişildi: 7 6 2012].
- [5] UNSD, «UN Data: A World of Information,» 27 10 2014. [Çevrimiçi]. Available: <http://data.un.org/Data.aspx?q=CO2&d=MDG&f=seriesRowID%3a749>.
- [6] ETKB, «Türkiye Elektrik Enerjisi Üretiminin Birincil Enerji Kaynaklarına Göre Dağılımı,» Ankara, 2013.
- [7] EPDK, «Doğalgaz Piyasası Sektör Raporu,» ETKB, Ankara, 2014.
- [8] N. Eskin ve H. Türkmen, «Analysis of annual heating and cooling energy requirements for office buildings in different climates in Turkey,» *Energy and Buildings*, p. 763–773, 2008.
- [9] Ö. A. Dombaycı, «The prediction of heating energy consumption in a model house by using artificial neural networks in Denizli–Turkey,» *Advances in Engineering Software*, p. 141–147, 2010.
- [10] Y. Yaşar ve S. M. Kalfa, «The effects of window alternatives on energy efficiency and building economy in high-rise residential buildings in moderate to humid climates,» *Energy Conversion and Management*, p. 170–181, 2012.
- [11] HÜÇMB, «Weather at Beytepe - Ankara,» 2014. [Çevrimiçi]. Available: <http://www.metstation.hacettepe.edu.tr/>. [Erişildi: 6 6 2012].
- [12] ESRU, «ESRU,» 2014. [Çevrimiçi]. Available: <http://www.esru.strath.ac.uk/Programs/ESP-r.htm>.
- [13] DOE2, «eQUEST Overview,» 2015. [Çevrimiçi]. Available: <http://www.doe2.com/download/equest/eQUESTv3-Overview.pdf>.
- [14] USDOE, «USDOE EnergyPlus Energy Simulation Software,» 2015. [Çevrimiçi]. Available: <http://www.energyplus.gov/>.
- [15] TRNSYS, 2015. [Çevrimiçi]. Available: <http://sel.me.wisc.edu/trnsys>.
- [16] ESRU, «ESP-r Overview,» 01 2015. [Çevrimiçi]. Available: http://www.esru.strath.ac.uk/Programs/ESP-r_overview.htm.
- [17] DBRI, «Danish Building Research Institute,» 2015. [Çevrimiçi]. Available: <http://sbi.dk/en/bsim/about-bsim>.
- [18] DeST, «DeST,» 2015. [Çevrimiçi]. Available: <http://www.dest.com.cn/>.
- [19] Ener-Win, «Ener-Win Energy Simulation Software for Buildings,» 2015. [Çevrimiçi]. Available: <http://pages.suddenlink.net/enerwin/>.
- [20] Carrier, «Carrier innovations,» 2015. [Çevrimiçi]. Available: <http://www.carrier-commercial.com>.

- [21] HEED, «HEED: Home Energy Efficient Design,» 2015. [Çevrimiçi]. Available: <http://www.energy-design-tools.aud.ucla.edu/heed/>.
- [22] D. B. Crawley, J. W. Hand, M. Kummert ve B. T. Griffith, «Contrasting the capabilities of building energy performance simulation programs,» *Building and Environment*, p. 661–673, 2008.
- [23] Y. Han, X. Liu ve L. Chang, «Comparison of software for building energy simulation,» *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*, pp. 467-471, 2014.
- [24] Natural Resources Canada, «HOT3000 SOFTWARE,» 22 4 2015. [Çevrimiçi]. Available: <http://www.nrcan.gc.ca/energy/efficiency/housing/research/5121>.
- [25] DOE2, «DOE2,» 1 2015. [Çevrimiçi]. Available: <http://www.doe2.com/>.
- [26] U.S. DOE, «Building Energy Software Tools Directory,» 1 2015. [Çevrimiçi]. Available: http://apps1.eere.energy.gov/buildings/tools_directory/alpha_list.cfm.
- [27] J. Sousa, «Energy Simulation Software for Buildings: Review and Comparison,» %1 içinde *Information Technology for Energy Applications 2012*, Lisbon, 2012.
- [28] Techtarget, «Dynamic link library (DLL),» 17 4 2015. [Çevrimiçi]. Available: <http://searchwindowsserver.techtarget.com/definition/dynamic-link-library-DLL>.
- [29] Natural Resources Canada, «CanmetENERGY,» 22 4 2015. [Çevrimiçi]. Available: <https://www.nrcan.gc.ca/energy/offices-labs/canmet/5715>.
- [30] D. Haltrecht, R. Zmeureanu ve I. Beausoleil-Morrison, «Defining The Methodology For The Next-Generation Hot2000 Simulator,» Natural Resources Canada, 1998.
- [31] G. Molina, *Integrated Thermal and Lighting Analysis of Spaces with Controlled Complex Fenestration Systems and Artificial Lighting During the Design Stage*, Santiago: Pontificia Universidad Catoliga De Chile, 2014.
- [32] T. Chow ve A. Chan, «Numerical study of desirable solar-collector orientations for the coastal region of South China,» *Applied Energy*, pp. 249-260, 2004.
- [33] T. Chow, J. Hand ve P. Strachan, «Building-integrated photovoltaic and thermal applications in a subtropical hotel building,» *Applied Thermal Engineering*, p. 2035–2049, 2003.
- [34] J.-H. Yoon, J. Song ve S.-J. Lee, «Practical application of building integrated photovoltaic (BIPV) system using transparent amorphous silicon thin-film PV module,» *Solar Energy*, p. 723–733, 2011.
- [35] D. Thevenard, «Review And Recommendations For Improving The Modelling Of Building Integrated Photovoltaic Systems,» %1 içinde *Ninth International IBPSA Conference*, Montreal, 2005.
- [36] R. Eke ve A. Senturk, «Monitoring the performance of single and triple junction amorphous silicon modules in two building integrated photovoltaic (BIPV) installations,» *Applied Energy*, p. 154–162, 2013.
- [37] E. L. Didoné ve A. Wagner, «Semi-transparent PV windows: A study for office buildings in Brazil,» *Energy and Buildings*, p. 136–142, 2013.
- [38] J. W. Lee, J. Park ve H.-J. Jung, «A feasibility study on a building's window system based on dye-sensitized solar cells,» *Energy and Buildings*, p. 38–47, 2014.
- [39] Q. Huang, Y. Shi, Y. Wang, L. Lu ve Y. Cui, «Multi-turbine wind-solar hybrid system,» *Renewable Energy*, pp. 401-407, 2015.

- [40] C. Maurer ve T. E. Kuhn, «Variable g value of transparent facade collectors,» *Energy and Buildings*, p. 177–184, 2012.
- [41] B. K. Koyunbaba, Z. Yilmaz ve K. Ulgen, «An approach for energy modeling of a building integrated photovoltaic (BIPV) Trombe wall system,» *Energy and Buildings*, p. 680–688, 2013.
- [42] A. Karkare, A. Dhariwal, S. Puradbhat ve M. Jain, «Evaluating Retrofit Strategies for Greening Existing Buildings by Energy Modelling & Data Analytics,» %1 içinde *Intelligent Green Building and Smart Grid (IGBSG)*, Taipei, Taiwan, 2014.
- [43] J. T. Good, V. I. Ugursal ve A. S. Fung, «Modeling and Technical Feasibility Analysis of a Low-Emission Residential Energy System,» *International Journal of Green Energy*, pp. 27-43, 2007.
- [44] A. M. Syed, A. S. Fung, V. I. Ugursal ve H. Taherian, «Analysis of PV/wind potential in the Canadian residential sector through high-resolution building energy simulation,» *INTERNATIONAL JOURNAL OF ENERGY RESEARCH*, p. 342–357, 2009.
- [45] S. Nikoofard, V. I. Ugursal ve I. Beausoleil-Morrison, «An investigation of the technoeconomic feasibility of solar domestic hot water heating for the Canadian housing stock,» *Solar Energy*, pp. 308-320, 2014.
- [46] H. Esen, M. Inalli, A. Sengur ve M. Esen, «Performance prediction of a ground-coupled heat pump system using artificial neural networks,» *Expert Systems with Applications*, p. 1940–1948, 2008.
- [47] A. Uçar ve M. İnallı, «Exergoeconomic analysis and optimization of a solar-assisted heating system for residential buildings,» *Building and Environment*, p. 1551–1556, 2005.
- [48] A. Hepbasli ve M. T. Balta, «A study on modeling and performance assessment of a heat pump system for utilizing low temperature geothermal resources in buildings,» *Building and Environment*, p. 3747–3756, 2007.
- [49] B. B. Ekici ve U. T. Aksoy, «Prediction of building energy needs in early stage of design by using ANFIS,» *Expert Systems with Applications*, p. 5352–5358, 2011.
- [50] PVSYST, «PVsyst software,» 18 4 2015. [Çevrimiçi]. Available: <http://www.pvsyst.com/>.
- [51] DAYSIM, «Building Energy Software Tools Directory,» 18 4 2014. [Çevrimiçi]. Available: http://apps1.eere.energy.gov/buildings/tools_directory/software.cfm/ID=428/pagen_ame=alpha_list_sub.
- [52] E. A. Essah, A. R. Arguelles ve N. Glover, «Assessing the performance of a building integrated BP c-Si PV system,» *Renewable Energy*, pp. 1-10, 2014.
- [53] YEGM, «Yeni Teknolojiler,» 2015. [Çevrimiçi]. Available: <http://www.eie.gov.tr/teknoloji.aspx>.
- [54] YEGM, «Mevzuat,» 10 5 2015. [Çevrimiçi]. Available: http://www.eie.gov.tr/verimlilik/v_mevzuat.aspx.
- [55] A. Girard, E. J. Gago, T. Muneer ve G. Caceres, «Higher ground source heat pump COP in a residential building through the use of solar thermal collectors,» *Renewable Energy*, pp. 26-39, 2015.
- [56] A. A. Safa, A. S. Fung ve R. Kumar, «Performance of two-stage variable capacity air source heat pump: Field performance results and TRNSYS simulation,» *Energy and Buildings*, pp. 80-90, 2015.

- [57] ANSYS, «ANSYS CFX,» 18 4 2015. [Çevrimiçi]. Available: <http://www.ansys.com/Products/Simulation+Technology/Fluid+Dynamics/Fluid+Dynamics+Products/ANSYS+CFX>.
- [58] Sefaira, 18 4 2015. [Çevrimiçi]. Available: <http://sefaira.com/>.
- [59] S. J. G. Cooper, J. Dowsett, G. P. Hammond, M. C. McManus ve J. G. Rogers, «Potential of Demand Side Management to Reduce Carbon Dioxide Emissions Associated with the Operation of Heat Pumps,» *Journal of Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems*, p. 94-108, 2013.
- [60] C. Koroneos ve G. Kottas, «Energy consumption modeling analysis and environmental impact assessment of model house in Thessaloniki—Greece,» *Building and Environment*, p. 122–138, 2007.
- [61] Y. Yıldız ve Z. D. Arsan, «Identification of the building parameters that influence heating and cooling energy loads for apartment buildings in hot-humid climates,» *Energy*, pp. 4287-4296, 2011.
- [62] M. Menicou, P. Exizidou, V. Vassiliou ve P. Christou, «An economic analysis of Cyprus' residential buildings' energy retrofits potential,» *International Journal of Sustainable Energy*, 2014.
- [63] D. H. Y. K. S. G. L. S. J. G. L. Parker, «Measured and Simulated Performance of Reflective Roofing Systems in Residential Buildings,» Florida Solar Energy Center, Florida, 1998.
- [64] G. Florides, S. Kalogirou, S. Tassou ve L. Wrobel, «Modeling of the modern houses of Cyprus and energy consumption analysis,» *Energy*, p. 915–937, 2000.
- [65] D. Dias, J. Machado, V. Leal ve A. Mendes, «Impact of using cool paints on energy demand and thermal comfort of a residential building,» *Applied Thermal Engineering*, pp. 273-281, 2014.
- [66] D. Sailor, «A green roof model for building energy simulation programs,» *Energy and Buildings*, p. 1466–1478, 2008.
- [67] R. Høseggen, B. Wachenfeldt ve S. Hanssen, «Buildingsimulation as an assisting tool in decision making: Case study: With or without a double-skin façade?,» *Energy and Buildings*, p. 821–827, 2008.
- [68] W. A. Friess, K. Rakhshan, T. A. Hendawi ve S. Tajerzadeh, «Wall insulation measures for residential villas in Dubai: A case study in energy efficiency,» *Energy and Buildings*, p. 26–32, 2012.
- [69] H. Sozer, «Improving energy efficiency through the design of the building envelope,» *Building and Environment*, 2010.
- [70] Y. Yıldız, T. G. Özbaltı ve Z. D. Arsan, «Farklı Cam Türleri ve Yönlere Göre Pencere/Duvar Alanı Oranının Bina Enerji Performansına Etkisi: Eğitim Binası, İzmir,» *Megaron*, pp. 30-38, 2011.
- [71] D. Appelfeld, A. McNeil ve S. Svendsen, «An hourly based performance comparison of an integrated micro-structural perforated shading screen with standard shading systems,» *Energy and Buildings*, p. 166–176, 2012.
- [72] T. Kazanasmaz ve Y. Diler, «Gelişmiş Cam Teknolojileri İle Enerji Etkinliğinin Değerlendirmesi,» 27 4 2015. [Çevrimiçi]. Available: http://www.emo.org.tr/ekler/cbe24c74687d602_ek.pdf.
- [73] P. Tavares, A. Gaspar, A. Martins ve F. Frontini, «Evaluation of electrochromic windows impact in the energy performance of buildings in Mediterranean climates,» *Energy Policy*, p. 68–81, 2014.

- [74] H. Esen, M. Inalli, A. Sengur ve M. Esen, «Modeling a ground-coupled heat pump system by a support vector machine,» *Renewable Energy*, p. 1814–1823, 2008.
- [75] MGM, «2013 İklim Verisi,» 2014. [Çevrimiçi]. Available: <http://www.mgm.gov.tr/>.
- [76] USDOE, «EnergyPlus Energy Simulation Software-Weather Data Sources,» 09 04 2015. [Çevrimiçi]. Available: http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/weatherdata_sources.cfm#IWE C.
- [77] Mikrodizayn, «Mikrodizayn,» 17 01 2014. [Çevrimiçi]. Available: <http://mikrodizayn.com.tr/>.
- [78] NetGreen, «Water Consumption Profile Over 24 Hours,» 19 6 2015. [Çevrimiçi]. Available: http://www.netgreensolar.com/netgreen_heat_promo/body/images/costs_savings/profiles/hw_24hr_profile.PNG.
- [79] Isıcam, «Isıcam,» 2014. [Çevrimiçi]. Available: http://www.isicam.com.tr/isicam_sinerji_uc.
- [80] «ElseEnerji,» 2014. [Çevrimiçi]. Available: <http://www.elseenerji.com/>.
- [81] SahraGrup, «SahraGrup,» 2014. [Çevrimiçi]. Available: <http://www.sahragrup.net/>.
- [82] Ser-Gün, «Serbas BS330-4A,» 24 7 2015. [Çevrimiçi]. Available: <http://www.sergun.com/index.php?s=product&a=detail&c=23>.
- [83] B. Oranlı ve M. Eyriboyun, «İklimlendirme Amaçlı Isı Kazancı Hesabı İçin Bir Yazılım,» %1 içinde *IX. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, İzmir, 2009.
- [84] S. Nikoofard, V. I. Ugursal ve I. Beausoleil-Morrison, «Technoeconomic assessment of the impact of window shading retrofits on the heating and cooling energy consumption and GHG emissions of the Canadian housing stock,» *Energy and Buildings*, p. 354–366, 2014.
- [85] H. Gürelen, «Isı Yalıtımı ve Düzcam,» %1 içinde *III. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu Bildirileri*, Mersin, 2005.
- [86] B. Guler, A. S. Fung, M. Aydinalp ve V. I. Ugursal, «Impact of energy efficiency upgrade retrofits on the residential energy consumption in Canada,» *International Journal of Energy Research*, p. 785–792, 2001.
- [87] D. C. Jordan ve S. R. Kurtz, «Photovoltaic Degradation Rates — An Analytical Review,» 2012. [Çevrimiçi]. Available: <http://www.nrel.gov/docs/fy12osti/51664.pdf>. [Erişildi: 23 10 2015].
- [88] Solar-Academy, «Güneş ve Rüzgardan Elektrik,» 2014. [Çevrimiçi]. Available: http://www.solar-academy.com/menu_detay.asp?id=321. [Erişildi: 30 12 2014].
- [89] Solar Dukkan, «Mono ve Poly Fotovoltaik Güneş Paneli Farkı Nedir?,» 18 4 2015. [Çevrimiçi]. Available: <http://monovepolyfotovoltaik.blogspot.com.tr/>.
- [90] Solar Dukkan, «Solar Dukkan,» 25 9 2015. [Çevrimiçi]. Available: http://www.solardukkan.com/detay.php?ur_id=MjQz&ur_seo=solardukkan-butun-ev-elektrigi-13kw-anlik-32400wh-kapasite-6-saatte-butun-kapasiteyi-sarj-edebilme-kurulum-dahil. [Erişildi: 2014].
- [91] H. Bulut, H. Şahin ve R. Karadağ, «Güneş Enerjili Su Isıtma Sistemlerinin Tekno-Ekonomik Analizi,» *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, pp. 23-33, 2007.

- [92] Viessmann, «Viessmann,» 2014. [Çevrimiçi]. Available: http://www.viessmann.com.tr/content/dam/internet-tr/prospekte/mesleki_pompasi.pdf.
- [93] O. Kıncay, «Isı Pompaları,» 6 11 2014. [Çevrimiçi]. Available: <http://www.yildiz.edu.tr/~okincay/dersnotu/IsiPompasi.pdf>.
- [94] J. L. Bernal-Agustín ve R. Dufo-López, «Economical and environmental analysis of grid connected photovoltaic systems in Spain,» *Renewable Energy*, p. 1107–1128, 2006.
- [95] IBPSA-USA, «IBPSA-USA,» 2009. [Çevrimiçi]. Available: http://www.bembook.ibpsa.us/index.php?title=Occupant_Sensible_Loads. [Erişildi: 21 1 2014].
- [96] ASHRAE, «ASHRAE Standard 62.1-2007,» Atlanta, 2007.
- [97] Buderus, «Buderus,» 15 01 2014. [Çevrimiçi]. Available: <http://www.buderus.us/products/gasheating/gascondensing/>.
- [98] M. Kaya ve İ. Ceylan, «Güneş Radyasyonu Düşük Olan Bölgelerde Isı Pompası Sistemi İle Kullanma Sıcak Suyu Hazırlanması,» *TEKNOLOJİ, Cilt 7, Sayı 2*, pp. 251-257, 2004.
- [99] IPCC, «raft 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories,» Geneva, 2006.
- [100] Başkent Doğalgaz, «Doğalgaz Fiyatları,» 2015. [Çevrimiçi]. Available: <https://www.baskentdogalgaz.com.tr/DogalgazFiyatYeni.aspx>. [Erişildi: 17 12 2015].
- [101] I. Arı ve M. A. Koksall, «Carbon dioxide emission from the Turkish electricity sector and its mitigation options,» *Energy Policy*, p. 6120–6135, 2011.
- [102] E. Bich, J. Millat ve E. Vogel, «The viscosity and thermal conductivity of pure monatomic gases from their normal boiling point up to 5000K in the limit of zero density and at 0,101325 MPa,» *J. Phys Chem*, pp. 1289-1305, 1990.
- [103] A. Gebura ve K. Gebura, «Matematyka Fizyka i astronomia,» %1 içinde *Matematyka Fizyka i astronomia*, Warszawa, 2004.
- [104] TSE-TS 825, «BİNALARDA ISI YALITIM KURALLARI,» 1998. [Çevrimiçi]. Available: <http://kayayapiendustri.com/pdf/teknikbilgiler/TS%20825binalardaIsiYalitimKural-lari.pdf>.
- [105] E. Edis ve H. Kuş, «Bina Kabuğunun Nemsel-Isıl Performansının Bilgisayar Benzetimi İle Belirlenmesi,» *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, pp. 311-320, 2014.
- [106] Normtec, «FoamBoard,» 17 8 2015. [Çevrimiçi]. Available: <http://www.normtec.com.tr/pdf/foamboard.pdf>.
- [107] Izocam Fiyat Listesi, «Fiyat Listesi, 2014,» 9 2014. [Çevrimiçi]. Available: http://www.inceten.com/wp-content/uploads/2014/08/izocam_fiyat_listesi.pdf.
- [108] KLY Yalıtım, «EPS LEVHALARIN FAYDALARI,» 24 7 2015. [Çevrimiçi]. Available: <http://www.klyisiyalitim.com/index.php?p=59>.
- [109] TEDAS, «Elektrik Tarifeleri,» 07 01 2015. [Çevrimiçi]. Available: <http://www.tedas.gov.tr/BilgiBankasi/Sayfalar/ElektrikTarifeleri.aspx>.
- [110] Başkent Doğalgaz, «Başkent Doğalgaz,» 9 2014. [Çevrimiçi]. Available: <http://www.baskentdogalgaz.com.tr/inc/main.asp?id=tarifearsiv>.

- [111] Başkent Doğalgaz, «Online İşlemler,» 01 05 2015. [Çevrimiçi]. Available: <https://www.baskentdogalgaz.com.tr/DogalgazFiyatYeni.aspx>.
- [112] TUIK, «Finansal Yatırım Araçları İstatistikleri,» 30 9 2014. [Çevrimiçi]. Available: http://www.tuik.gov.tr/PreTablo.do?alt_id=1064.
- [113] H. Bulut, O. Büyükcalaca ve T. Yılmaz, «Türkiye İçin Isıtma ve Soğutma Derece-Gün Bölgeleri,» %1 içinde *16. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi*, Kayseri, 2007.
- [114] ASHRAE, «Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality,» American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., Atlanta, 2001.
- [115] USDOE, «EnergyPlus Energy Simulation Software-Weather Data,» 09 04 2015. [Çevrimiçi]. Available: http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/cfm/weather_data3.cfm/region=6_europe_wmo_region_6/country=TUR/cname=Turkey.
- [116] Izocam-Foramboard, «Foramboard,» 17 8 2015. [Çevrimiçi]. Available: <http://www.izocam.com.tr/f42-foamboard-1500-p---2000-p---2500-p---3000-p---3500-p.html>.
- [117] M. Mottillo, I. Beausoleil-Morrison, L. Couture ve Y. Poissant, «A Comparison and Validation of Two Photovoltaic Models,» %1 içinde *Canadian Solar Buildings Conference*, Montreal, 2006.
- [118] S. Nikoofard, «Techno-Economic Assessment of Solar Technologies and Integration Strategies for the Canadian Housing Stock,» Dalhousie University, 2012.
- [119] C. Protopapadaki, G. Reynders ve D. Saelens, «Bottom-up modelling of the Belgian residential building stock: impact of building stock descriptions,» %1 içinde *9th International Conference on System Simulation in Buildings*, Liège, 2014.
- [120] KNOEMA, «Brussels Hoofdstedelijk Gewest - Actual heating degree-days,» 2 9 2015. [Çevrimiçi]. Available: http://knoema.com/ES_nrg_esdgr_m/heating-degree-days-by-nuts-2-regions-monthly-data?tsId=1000300.
- [121] NRCAN, «Average household energy use, by household and dwelling characteristics, 2007,» 2011. [Çevrimiçi]. Available: http://oe.nrcan.gc.ca/corporate/statistics/neud/dpa/menus/trends/handbook/handbook_res_00.cfm.
- [122] Weather Data Depot, «Free Degree Day Reports,» 1 9 2015. [Çevrimiçi]. Available: <http://www.weatherdatadepot.com/>.
- [123] EIA, «Residential Energy Consumption Survey (RECS),» 2009. [Çevrimiçi]. Available: <http://www.eia.gov/consumption/residential/data/2009/index.cfm?view=consumption#summary>.
- [124] EPDK, «Elektrik Piyasası Lisanssız Üretim Sıkça Sorulan Sorular,» 2015. [Çevrimiçi]. Available: <http://www3.epdk.org.tr/index.php/elektrik-piyasasi/lisanssiz-uretim?id=816#5-yenilenebilir-enerji-kaynaklarina-dayali-olarak-lisanssiz-elektrik-uretim-tesisi-kurulmasi-halinde-uretilen-ihitiyac-fazlas-i-elektrik-kime-satilabilir-satisa-ilişkin-sınır-var-mi>. [Erişildi: 27 1 2015].
- [125] A. E. Nakhi, *Adaptive Construction Modelling Within Whole Building Dynamic Simulation*, Glasgow: Department of Mechanical Engineering, University of Strathclyde PhD Thesis, 1995.

- [126] ESRU, «Data Model Summary ESP-r,» University of Strathclyde-Energy Systems Research Unit, Glasgow, 2001.
- [127] M. Anstett ve J. F. Kreider, «Application of Neural Networking Models to Predict Energy Use,» Chicago, 1993.
- [128] Ü. Doğan, «Üretim Planlaması ve Kontrolü-Öngörüleme (Tahminleme),» 2015. [Çevrimiçi]. Available: www.deu.edu.tr/userweb/uzeyme.dogan/tahminleme.ppt.
- [129] ETKB, «Enerji-Güneş,» 27 10 2014. [Çevrimiçi]. Available: <http://www.enerji.gov.tr/index.php?dil=tr&sf=webpages&b=gunes&bn=233&hn=&nm=384&id=40695>.
- [130] Vaillant, «Fiyat Listesi, TKIP,» 2015. [Çevrimiçi]. Available: <http://www.vaillant.com.tr/pdf/vaillant-satis-fiyat-listesi-2015-321111.pdf>. [Erişildi: 27 1 2015].
- [131] V. Quaschnig, «Solar thermal water heating,» *Renewable Energy World*, pp. 95-99, 2004.
- [132] CSB, «Binamın Enerji Kimlik Belgesini ne zaman ve kimlerden almalıyım?,» 13 5 2015. [Çevrimiçi]. Available: <http://www.bep.gov.tr/BEPTRWEB/SSSDetay.aspx#.VVN2dedrOUI>.
- [133] R. H. Howell, H. J. Sauer ve W. J. Coad, Principles of Heating Ventilating and Air Conditioning, Atlanta: ASHRAE, 1998.
- [134] Thermos, «Thermos,» 2012. [Çevrimiçi]. Available: http://www.thermos.com.tr/s_urunler_N.htm. [Erişildi: 2012].
- [135] IGDAS, «Doğalgaz Nedir,» 16 1 2014. [Çevrimiçi]. Available: http://www.igdas.com.tr/Content_View.aspx?MI=417&CMI=422&MCI=348.
- [136] ETKB, «Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı,» 21 1 2014. [Çevrimiçi]. Available: http://www.enerji.gov.tr/yayinlar_raporlar/Dunyada_ve_Turkiyede_Enerji_Gorunu.pdf.
- [137] IEA, «World Energy Outlook 2008,» international energy agency, Paris, 2008.
- [138] E. Erdogdu, «Natural gas demand in Turkey,» Munich Personal RePEc Archive, Münih, 2009.
- [139] TUIK, «Bina Sayımı 2000,» TUIK, Ankara, 2000.
- [140] A. Ferguson ve V. I. Ugursal, «Fuel cell modelling for building cogeneration applications,» *Journal of Power Sources*, p. 30–42, 2004.
- [141] L. Swan, V. I. Ugursal ve I. Beausoleil-Morrison, «A NEW HYBRID END-USE ENERGY AND EMISSIONS MODEL OF THE CANADIAN HOUSING STOCK,» %1 içinde *3rd Canadian Solar Buildings Conference*, 2008.
- [142] A. M. Syed, A. S. Fung ve V. I. Ugursal, «Environmental and Economic Impacts of Integrating Photovoltaic and Wind-Turbine Energy Systems in the Canadian Residential Sector,» *Bulletin of Science, Technology & Society*, pp. 210-218, 2008.
- [143] S. Nikoofard, V. I. Ugursal ve I. Beausoleil-Morrison, «Effect of window modifications on household energy requirement for heating and cooling in Canada,» %1 içinde *The Canadian Conference on Building Simulation*, Halifax, 2012.
- [144] S. Nikoofard, V. I. Ugursal ve I. Beausoleil-Morrison, «Effect of external shading on household energy requirement for heating and cooling in Canada,» *Energy and Buildings*, p. 1627–1635, 2011.

- [145] A. Sdei, «Effects of trees shading in reducing the energy use of retrofitted social housing in the south-east of England,» %1 içinde *The Canadian Conference on Building Simulation*, Halifax, 2012.
- [146] K. Kaygusuz ve T. Ayhan, «Experimental and theoretical investigation of combined solar heat pump system for residential heating,» *Energy Conversion & Management*, pp. 1377-1396, 1999.
- [147] Deloitte, «Deloitte: Assests,» Mart 2012. [Çevrimiçi]. Available: http://www.deloitte.com/assets/Dcom-Turkey/Local%20Assets/Documents/turkey_tr_enerji_dogalgaz_200312.pdf. [Erişildi: 5 Haziran 2012].
- [148] M. Manzan, «Genetic optimization of external fixed shading devices,» *Energy and Buildings*, p. 431-440, 2014.
- [149] D. Ayhan ve Ş. Sağlam, «A technical review of building-mounted wind power systems and a sample simulation model,» *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, p. 1040-1049, 2012.
- [150] GNYAPI, «ISI YALITIM MALZEMELERİ,» 11 7 2014. [Çevrimiçi]. Available: <http://gnyapi.com.tr/isi-yalitim-malzemeleri>.
- [151] J. Copper ve A. Sproul, «Comparative building simulation study utilising measured and estimated solar irradiance for Australian locations,» *Renewable Energy*, pp. 86-93, 2013.
- [152] EÜAŞ, «Elektrik Üretim Sektör Raporu,» EÜAŞ, Ankara, 2013.
- [153] TEİAŞ, «TEİAŞ,» 2012. [Çevrimiçi]. Available: <http://www.teias.gov.tr/TürkiyeElektrikİstatistikleri/istatistik2012/istatistik%202012.htm>. [Erişildi: 23 temmuz 2014].
- [154] JRC, «PVStatusReport_2013,» JRC Scientific And Policy Report, Ispra, 2013.
- [155] DGS, Planning and Installing PV Systems, Second Edition, London: Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie (DGS), 2006.
- [156] Natural Resources Canada, 9 10 2014. [Çevrimiçi]. Available: <http://www.nrcan.gc.ca/energy/efficiency/housing/research/5121>.
- [157] ASHRAE, «Nonresidential Cooling And Heating Load Calculations,» ASHRAE, 2005.
- [158] CSB, 2015. [Çevrimiçi]. Available: http://www.csb.gov.tr/db/ced/editordosya/Ambarli_kombine_cevrim.pdf.
- [159] EIA, «EIA,» 2011. [Çevrimiçi]. Available: <http://www.eia.gov/totalenergy/data/annual/diagram1.cfm>. [Erişildi: 27 6 2012].
- [160] PBL, «Planbureau voor de Leefomgeving,» 2014. [Çevrimiçi]. Available: http://www.pbl.nl/sites/default/files/cms/publicaties/PBL_2014_Trends_in_global_CO2_emissions_2014_1490_0.pdf.
- [161] ÇŞB, «Türkiye'nin 2012 Ulusal Sera Gazı Emisyon Envanteri,» Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara, 2014.
- [162] ETKB, «EİGM Raporları-2013 Genel Enerji Denge Tablosu,» ETKB, Ankara, 2013.
- [163] CSB, «Türkiye İklim Değişikliği 5. Bildirimi,» Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara, 2013.
- [164] MMO, «Türkiye'nin Enerji Görünümü,» Makine Mühendisleri Odası, 2014.

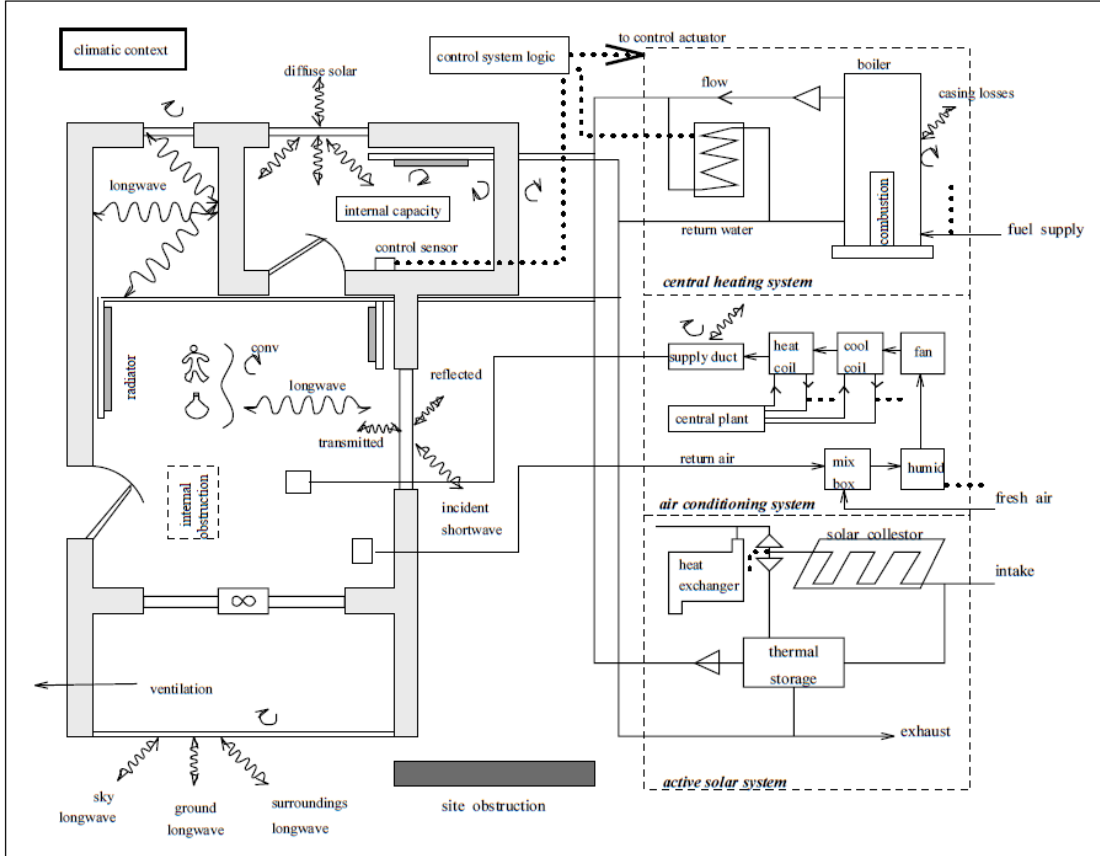
- [165] Esteco, «modeFRONTIER,» 18 4 2015. [Çevrimiçi]. Available: <http://www.esteco.com/modefrontier>.
- [166] T. Kavzoğlu ve İ. Çölkesen, «Destek Vektör Makineleri ile Uydu Görüntülerinin Sınıflandırılmasında Kernel Fonksiyonlarının Etkilerinin İncelenmesi,» *Harita Dergisi*, pp. 73-82, 2010.

EKLER

EK-1
ESP-r ÇALIŞMA METODOLOJİSİ

Bina Enerji Simülasyonu

Bina enerji simülasyonu kompleks bir işlemdir. Şekil EK-1 1’de görüldüğü gibi; birbiri ile etkileşim halinde olan birçok dinamik akış yollarının dikkate alınması gerekmektedir.



Şekil EK-1 1 Binalarda enerji akış yolları [125]

Bu akış yollarının simüle edilebilmesi için matematiksel bir model oluşturulması gerekmektedir. Matematiksel bakış açısı ile enerji akış yolları uygun eşitlikler ile açıklanmak zorundadır. Bu işlemden sonra, numerik model oluşturulur. Sonuç olarak, bina enerji sistemi, değişkenlere bağlı olan (Sıcaklık, basınç v.b.) zamana bağlı direnç ve kondansatörlerden oluşan eşedeğer bir ağ ile tanımlanır. Genelde numerik simülasyon 3 adımlı bir prosesolarak çalışır: Problemin tanımı, tanımlanan sistem için simülasyon eşitliklerinin uygulanması, ve bu eşitlik kümesinin sonucu [125].

- **Isı iletimi**

Isı; sıcaklık farkı sebebi ile, iki sistem sınırları arasında,yüksek sıcaklıktan düşük sıcaklığa,aktarılan enerji türüdür. Fourier'in iletim yasası;kararlı durumda homojen ve izotropik bir katı için, ısı akışı ve sıcaklık gradyanı arasındaki ilişkiyi verir. Bu yasa Eşitlik EK-1 1 formunda yazılabilir.

$$q(r, t) = -k \nabla T(r, t)$$

Eşitlik EK-1 1

Bu eşitlikte;

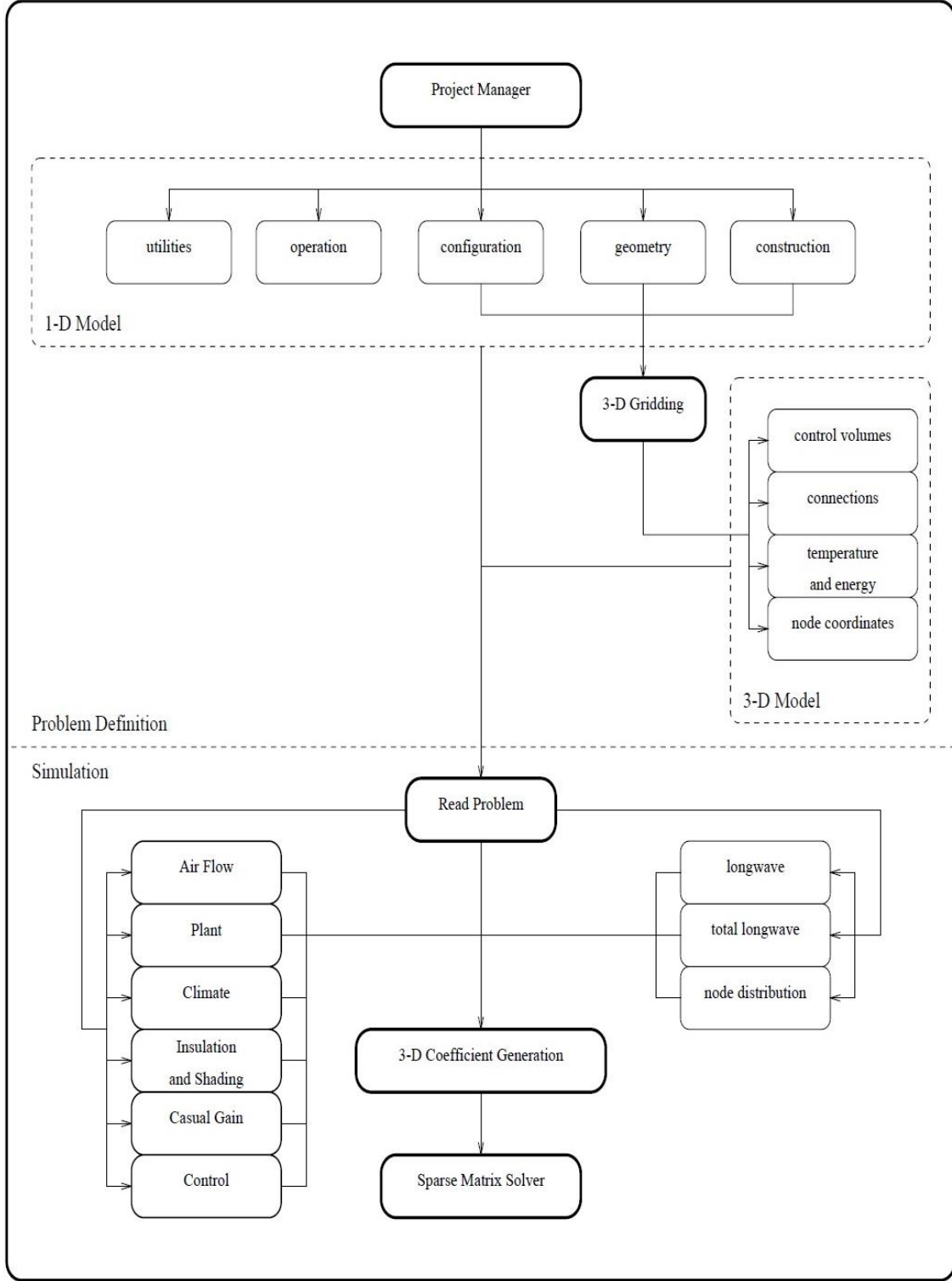
$q(r, t)$:Sıcaklığın azalma yönünde ısı akısı vektörü

$\nabla T(r, t)$:Sıcaklık gradyan vektörü

k :Isıl iletkenlik katsayısı, W/mK

SI biriminde, ısı akısı W/m^2 , sıcaklık gradyanı K/m , ısı iletkenlik katsayısı W/mK birimindedir.

Çok boyutlu iletim modellinin ESP-r içine entegrasyonu Şekil EK-1 2'de görülmektedir. Çok boyutlu iletim modeli, gridding ve sistem matris yapısı/çözümü olmak üzere iki parçaya bölünmüştür. [125].



Şekil EK-1 2 Çok boyutlu iletim modelinin ESP-r içine entegrasyonu

ESP-r

Bir binanın ESP-r bina enerji simülasyon yazılımı ortamında modellenmesi için veri hazırlama işleminden önce bina alt bölgelere bölünmelidir. Bina alt bölgelere

bölündüğü zaman, bir bölge bir enerji alanını ve konfor seviyesini oluşturur. Starndart ESP-r simülasyonu en fazla 50 bölgeyi ve 100 sistem bileşenini desteklemektedir. Her bölge; saydam, opak veya imgesel en fazla 25 poligon yüzey tarafından çevrilmiş bir akışkan hacmi (genellikle hava) olarak düşünülür. Her sistem bileşeni ise birbiri ile çok yakın teması olan belli sayıda sıvı veya katı alan olarak düşünülmemektedir. Her iki durumda da (bölgeler ve sistem bileşenleri) alt bölgelere ait enerji dengesini açıklamak için ESP-r simülasyon motoru *bps* içinde belli sayıda diferansiyel eşitlikler kullanılır [126].

ESP-r Dosyaları

ESP-r ortamında, bina bölge stratejisi elde edildikten sonra, aşağıdaki 10 dosya (3 tanesi zorunlu, 7 tanesi isteğe bağlı) her bölge için ESP-r tarafından oluşturulur.

Zorunlu dosyalar: Geometri, yapı ve işleyiş.

İsteğe bağlı dosyalar: Yardımcı sistemler, gölgeleme/güneşlenme, perde kontrolü, görünüm faktörü, hava akımı, enerji kazançları, ısı iletkenlik katsayıları ve saydam çok-tabakalı konstrüksiyonlar.

Zorunlu dosyalar, simülasyon işleminin gerçekleşmesi, yani diferansiyel eşitlik katsayılarının oluşturulması için gerekli olan minimum bilgiyi içerir. Bu dosyalar; bölge geometrisi, pencere-kapı konumları ve boyutları, yapısal bileşenlerin (duvarlar, tavan, zemin, pencere ve kapılar) termo özellikleri, enerji kazançları ve varsayılan hava akışı ve sızması bilgilerini içerir. Bölge dosyaları, isteğe bağlı dosyaların bulunup bulunmadığını gösteren işaretçiler içerir. İsteğe bağlı bir dosya için bir işaretçi mevcutsa, bu dosyanın içerikleri zorunlu dosyada kendisi ile ilgili olan şemanın yerine geçer. Veri kullanım protokolünü özetlemek gerekirse;

- Eğer bir gölgelenme/güneşlenme dosyası mevcut değilse, bölge geometri dosyası tarafından program tarafından varsayılan güneşlenme dosyası kullanılır ve gölgelenme değeri "0" olarak ayarlanır. Ancak, varsayılan güneşlenme verisi seçilen simülasyon tarih aralığı için mevcutsa kullanılabilir. ESP-r gölgelenme/güneşlenme modülü *ish*, gölgelenme/güneşlenme

dosyasını oluşturmak için kullanılabilir veya başka bir şekilde elde edilen veri ESP-r'a girilebilir.

- Eğer bir perde kontrol dosyası mevcut değilse, yapı dosyasındapencerelere verilen termo ve optik özellikler kullanılır. Eğer seçilen simülasyon tarih aralığı için bu veriler yoksa veya belirli güneş yoğunluğu seviyesinin üstünde ise yedek veriler varsayılır. Bu özellik, pencere güneşlenme veya güneş kontrol araçlarının, zaman ve/veya güneş yoğunluğuna bağlı bir fonksiyon olarak çalışmasına olanak sağlar. Perde kontrol dosyası sadece ESP-r tarafından oluşturulabilir.
- Eğer konveksiyon katsayıları dosyası mevcut değilse, *bps* transfer eşitliklerini deneysel verilerden elde edilen empirik eşitlikleri kullanarak tamamlar. Dış ortama bakan yüzeylerin değerleri rüzgar hızı ve rüzgar yönünü kullanan bir fonksiyon ile hesaplanır ve yine empirik eşitlikler kullanılır. Bu dosya ESP-r tarafından oluşturulur.
- Eğer görünüm faktörü dosyası mevcut değilse, simülasyon sırasında *bps* tarafından görünüm faktörü belirleme teknikleri kullanılır. Bu yöntem, genellikle birçok simülasyon için yeterlidir. Daha yüksek doğruluk oranı elde etmek için, görünüm faktörü dosyası, bir başka kaynaktan elde edilen verileri kullanarak *mrt* programı veya ESP-r tarafından oluşturulabilir.
- Eğer hava akış dosyası mevcut değilse, işleyiş dosyasının varsayılan hava akış değerleri kullanılır. Alternatif olarak, hava akış dosyası *mfs* (tahmin ile) veya ESP-r tarafından oluşturulabilir.
- Eğer enerji kazanç dosyası mevcut değilse, işleyiş dosyasının varsayılan enerji kazanç değerleri kullanılır.
- Eğer ısı iletkenlik katsayıları ve saydam çok-tabakalı konstrüksiyonlar dosyası mevcut değilse, işleyiş dosyasının varsayılan ısı iletkenlik katsayıları ve saydam çok-tabakalı konstrüksiyonlar değerleri kullanılır.

Bütün bölgeler için zorunlu dosyalar tamamlandıktan sonra, sistem konfigürasyon dosyası oluşturulur. Simülasyon sırasında, ESP-r simülasyon motoru *bps*'e sadece konfigürasyon dosyası ve konfigürasyon kontrol dosyası gönderilir. ESP-r'a girildiğinde, ilk işlem genellikle simülasyonu yapılacak problem için gerekli veri tabanlarının girilmesidir.

ESP-r tarafından oluşturulan bütün dosyalar ASCII formatındadır ve hava değişim hızı (saatlik hava değişimi, hr^{-1}) hariç bütün veriler SI birimlerini kullanmaktadır.

Zorunlu dosyalar

- Bölge Geometrisi Dosyası

Bölge geometri dosyasını oluşturmanın temel olarak 3 yöntemi vardır.

Birincisi; çokgen veya hacimlerin grafiksel olarak oluşturulmasıdır. İkincisi, 3 boyut elde etmek için planı ekstrüzyon ile sayısallaştırılmasıdır. Sonuncusu ise verteks koordinatlar belirleyerek binanın topolojisini tanımlanmasıdır. ESP-r tarafından önerilen son yöntemdir, ilk iki yöntem ise ESP-r dışında önerilen bağımsız programlardır.

ESP-r, 3 çeşit geometri veri girişine olanak sağlar: dikdörtken (REC), düzgün(REG) ve genel (GEN) şekilli bölgeler.

REC'de bölgeye ait 4 duvar da dikdörtgen şeklinde, dik ve eşit yüksekliktedir. Tavan ve taban dikdörtgen, paralel ve eşit alana sahiptirler.

Kartezyen koordinat sistemi oluşturulur ve x eksenini doğuyu, y eksenini kuzeyi, z eksenini ise yukarıyı gösterir. Oryantasyon açısı, saat yönünün tersinde konutun doğu ile (x eksenini ile) yaptığı açıdır.

REG'de bölgeye ait 4 duvar da dikdörtgen şeklinde, dik ve eşit yüksekliktedir. Tavan ve taban paralel çokgenlerdir.

Kartezyen koordinat sistemi oluşturulur ve x eksenini uygun olan yönü gösterir fakat x-y eksenini yeryüzünü yatay olmak zorundadır. Daha sonra; bölgeyi oluşturan dik duvar sayısı, x-y eksenine göre iç tavan ve tabanın başlama ve bitiş yeri, bölgedeki her köşenin x-y koordinatları, yukardan bakılınca konutun saat yönünün tersinde yaptığı açı değerleri belirlenir. Aynı zamanda, yüzey yönüne karar verilebilmesi için y ekseninin kuzey ile yaptığı açı da gerekmektedir.

GEN'de düzlemsel çokgenler tarafından oluşturulmuş bütün çokyüzlü bölgeler bu gruba girer.

X eksenini uygun olan yönü gösterecek vey-y eksenini yeryüzünü yatay olacak şekilde, en uygun koordinat sistemi oluşturulur. Bölgeyi oluşturan toplam verteks

sayısı, toplam yüzey sayısı, her verteksin x-y-z- koordinatı, bölgede bulunan her yüzeyi oluşturan vektors sayısı ve bölgeye dışardan bakıldığında bu vertekslerin saat yönünün tersi yönde sıralanışı bilgileri gerekmektedir. Aynı zamanda, yüzey yönüne karar verilebilmesi için y ekseninin kuzey ile yaptığı açı da gerekmektedir.

Bir bölge geometrisi dosyasının içerdiği bilgiler Çizelge EK-1 1'de görülmektedir.

Çizelge EK-1 1 Bölge geometrisi dosyası içeriği

Kayıt No	Alan Açıklaması
1	Bölge şekli tipi (REC, REG veya GEN)
2 (REC)	En alt solda bulunan noktanın x-y-z koordinatı, (x,y & z coordinate of bottom left-hand corner, length, width, height and angle of orientation.)
2/1 (REG)	Dik yüzey sayısı, tavan ve tabanın yerden yüksekliği ve rotasyon açısı
2/2 (REG)	Yukardan bakılınca saat yönünün tersi yönde sıralanacak şekilde, her zemin vektorsinin x-y koordinatı
2/1 (GEN)	Bölgeyi oluşturan toplam verteks sayısı, toplam yüzey sayısı ve rotasyon açısı,
2/2 (GEN)	Her verteksin x-y-z koordinatı
2/3 (GEN)	Her yüzey için, verteks sayısı ve bölgeye dışardan bakıldığında bu vertekslerin saat yönünün tersi yönde sıralanışı
3	Her yüzeyde bulunan pencere sayısı
4	Pencere içeren bütün yüzeyler için, pencerenin solda alt köşesinin x-y koordinatı ve pencerenin genişlik ve yüksekliği
5	Her yüzeyde bulunan kapı sayısı
6	Kapı içeren bütün yüzeyler için, kapının solda alt köşesinin x-y koordinatı ve kapının genişlik ve yüksekliği
7	Varsayılan güneşlenme şeması

- Bölge Yapı Dosyası

Bölge yapı dosyası ".con" uzantısına sahiptir ve bu dosyanın içerdiği bilgiler

Çizelge EK-1 2'de görülmektedir.

Çizelge EK-1 2 Bölge yapı dosyası içeriği

Kayıt No	Alan Açıklaması
1	Her yüzey için yapıların toplam homojen malzemeler cinsinden tanımı(hava boşlukları dahil) ve buna ek olarak toplam hava boşluğu sayısı
2	Her yüzey için, hava boşluğu içeren bütün yapılarda bulunan hava boşluklarının konumu ve termal direnci
3	Her yüzeyde bulunan her eleman için ; dışardan içeri sıralanmak kaydıyla iletkenlik, yoğunluk, özgül ısı ve kalınlık bilgisi. Hava boşlukları için, sadece kalınlık bilgisi gerekmektedir.
4	Pencere içeren bütün yüzeyler için, opencerelerin termofiziksel özellikleri bilgisi ve pencere U değerleri.
5	Kapı içeren bütün yüzeyler için, kapılan ısı geçirgenlik değeri (U değeri)
6	Her yapı için iç ve dış emisivite değeri
7	Her yapı için iç ve dış yüzey güneş absorptivitesi

ESP-r kendi içinde önceden tanımlanmış yapı dosyası içermektedir. Bir bölgenin yapılarını tanımlamak oldukça basittir. Yapılar, mevcut yapılar kullanılarak, malzeme veritabanından her malzemesi tek tek seçilerek veya sıfırdan her homojen malzemenin termofiziksel özelliğinin girilmesi ile sıfırdan oluşturulabilir.

- Bölge İşleyiş Dosyası

Bölge işleyiş dosyası “.opr” uzantısına sahiptir ve bu dosyanın içerdiği bilgiler Çizelge EK-1 3’de görülmektedir.

Çizelge EK-1 3 Bölge işleyiş dosyası içeriği

Kayıt No	Alan Açıklaması
1	Bölge karakter açıklayıcısı
2	Kontrol indeksi
3	Sızıntıdan kaynaklanan alçak hava değişim hızı, bölge-birleşiminde hava değişim hızı ve birleştirilmiş bölgelerin tanımı
4	Sızıntıdan kaynaklanan yüksek hava değişim hızı, bölge-birleşiminde hava değişim hızı ve birleştirilmiş bölgelerin tanımı
5	Varsayılan hava akım şeması: tipik bir gün için tanımlanan farklı aralıkların sayısı
6	5’de tanımlanan her aralık için; başlangıç zamanı, bitiş zamanı, hava değişim hızı, bölgeler arası hava değişim hızı ve birleşik bölgelerin tanımlaması
7 ve 8	5 ve 6’nın Cumartesi günü için tanımlanması
9 ve 10	5 ve 6’nın Pazar günü için tanımlanması
11	Varsayılan gündelik ısı kazanç şeması (Kayıt no 9 ve 10): tipik bir gün için tanımlanan farklı aralıkların sayısı
12	11’de tanımlanan her aralık için; kazanç türü, başlangıç ve bitiş zamanı, hissedilir ısı kazancı, duyulur ısı kazancı, ısı kazancının radyant ve konvektif bileşeni
13 ve 14	11 ve 12’nin Cumartesi günü için tanımlanması
15 ve 16	11 ve 12’nin Pazar günü için tanımlanması

Sonuç Analiz Modülü

Sonuç analiz modülü “res”, kontrol edilen günlük kazançları, elektrik tüketimini (eğer elektrik datası mevcutsa) ve daha birçok değişkeni farklı yollarla analiz etme imkanı sağlıyor [126].

EK-2
ANKET

İLETİŞİM BİLGİLERİ:

1. İsim:
2. Adres:
3. Tel:
4. Eposta:
5. Ziyaret Tarihi:

1. KONUT İLE İLGİLİ BİLGİLER

1- Konutun tipi nedir?

- Müstakil ev
- Apartman dairesi

2- Hangi aylarda ve kaç hafta konutta bulunmuyorsunuz?

	Konutta Bulunmama, hafta
Ocak	
Şubat	
Mart	
Nisan	
Mayıs	
Haziran	
Temmuz	
Ağustos	
Eylül	
Ekim	
Kasım	
Aralık	

3- Konutta bulunan oda sayısı nedir? oda+ salon + banyo

4- Konutun net kullanım alanı nedir? m²

2. HANEHALKI İLE İLGİLİ BİLGİLER

5- Genel bilgiler:

Kişi	Cinsiyet	Yaş	Eğitim*	Mesai Saatlerinde (08:00-18:00) Evde Bulunmama
1.				
2.				

3.				
4.				
5.				
6.				
7.				

* İlkokul, ortaokul, lise, lisans, yüksek lisans, doktora

3. ISINMA İLE İLGİLİ BİLGİLER

6- Konutun ana ısınma sistemi aşağıdakilerden hangisidir?

- Merkezi sistem → Ana Yakıt:
- Doğalgaz
 - Fuel-oil
 - Mazot
- Kombi
- Sobalı
- Kömür
 - Odun
 - Doğalgaz
 - Tüp gaz
 - Elektrik

Elektrik Sobası	Gücü, W	Kullanım Süresi, saat/gün*
1		
2		
3		

*Isınma süresi Ankara için Eylül ortası ile Nisan ortası (toplam 7 ay) olarak kabul edilmiştir.

7- Yardımcı ısınma sistemi kullanıyor iseniz, aşağıdakilerden hangisini kullanıyorsunuz? Kullanmıyorsanız 10. soruya geçiniz.

- Elektrik sobası

Elektrik Sobası	Gücü, W	Kullanım Süresi, saat/gün*
1		
2		
3		

*Isınma süresi Ankara için Eylül ortası ile Nisan ortası (toplam 7 ay) olarak kabul edilmiştir.

- Gazyağı sobası
- Odun sobası
- Doğalgaz sobası
- Tüpgaz sobası
- Kömür sobası

8- Kombinizi hangi amaçla kullanıyorsunuz?

- Isınma
- Isınma+sıcak su
- Sıcak su

4. BEYAZ EŞYALAR İLE İLGİLİ BİLGİLER

BUZDOLABI

9- Buzdolab(lar)ınız ile ilgili bilgiler:

	Tipi*	Yaşı	Hacmi, lt	Enerji Grubu
1				
2				
3				
4				

*TK: Tek kapılı; İK-DÜ: İki kapılı – dondurucu üstte; İK-DA: İki kapılı – dondurucu atta; G: Gardrop

DERİN DONDURUCU

10-Derin dondurucunuz ile ilgili bilgiler: Yok ise 16. soruya geçiniz.

	Tipi*	Hacmi, lt	Enerji Grubu
1			
2			

*S: Sandık modeli; D: Dik model

OCAK

11-Yemek pişirirken kullandığınız ocağın tipi nedir?

- Set üstü ocak
- Set üstü ocak+fırın
- Set üstü ocak+bulaşık makinası
- Ankastre ocak

12-Ocağınızın ısıtma gözleri ile bilgiler:

Isıtma Gözü	Isıtma Gözünün Çapı, cm	Yakıt Cinsi*	Kullanım süresi, saat/gün
1			
2			
3			
4			
5			

6			
---	--	--	--

*T: Tüpgaz, D: Doğalgaz, E:Elektrik

FIRIN

13-Fırınınız hakkındaki bilgiler: Yok ise 19. soruya geçiniz.

	Türü*	Yakıt Türü**	Fırının Haftalık Kullanım Süresi, saat/hafta
1			
2			
3			
4			

*N:Normal Ocak altı, M: Mini, D: Davul, A:Ankastre

**E:Elektrik, D: Doğalgaz, T:Tüpgaz

MİKRODALGA

14- Mikrodalga fırınınız ile ilgili bilgiler: Yok ise 20. soruya geçiniz.

	Türü*	Gücü, W	Fırının Haftalık Kullanım Süresi, saat/hafta	Fırının Izgara Özelliği Var mı?	Izgaranın Haftalık Kullanım Süresi, saat/hafta
1					
2					
3					
4					

*A:Ankastre; T: Tezgah üstü

ASPIRATÖR/DAVLUMBAZ

15-Aspirtörünüz/davlumbazınız ile ilgili bilgiler: Yok ise 21. soruya geçiniz.

Çeşidi *	Gücü (W)	Lamba Sayısı ve Gücü (W)	Lambanın Kullanım Süresi (saat/gün)	Aspirtörünüz/davlumbazınızın Kullanım Süresi (saat/gün)

* Aspiratör Tekli (AT); Aspiratör Çiftli (AÇ), Davlumbaz (D)

TELEVİZYON

16-Televizyonunuz/ televizyonlarınız ile ilgili bilgiler:Yok ise 22. soruya geçiniz.

	Çeşidi *	Ekran Büyüküğü cm ⁺	Yaş	Kullanım Süresi (saat/gün)
1				
2				
3				
4				
5				
6				

* Tüplü (T), plazma (P), LCD, LED

+ Bir köşeden diğerk köşeye uzunluk

UYDU ALICI

17-Uydu alıcınız var mı? Yok ise 23. soruya geçiniz.

	Günde Aktif Kullanım Saati	Gücü
1		
2		
3		
4		

ÇAMAŞIR MAKİNESİ

18-Çamaşır makinanız ile ilgili bilgiler: Yok ise 26. soruya geçiniz.

Program Türü*	Sıcaklık, °C	Haftada Kullanım (Çevrim) Miktarı

*Kısa (K) – bir saatin altındaki programlar; Uzun (U) – bir saatten fazla süren programlar

ÇAMAŞIR KURUTMA MAKİNESİ

19-Çamaşır kurutma makinanız ile ilgili bilgiler: Yok ise 28. soruya geçiniz.

	Süresi, dakika	Haftada Kullanım Miktarı
Kısa Program		
Uzun Program		

BULAŞIK MAKİNESİ

20-Bulaşık makinenizin kullanımı ile ilgili bilgiler: Yok ise 30. soruya geçiniz.

	Süresi, dakika	Haftada Kullanım Miktarı
Kısa Program		
Uzun Program		

BİLGİSAYAR

21-Dizüstü ve/veya masa üstü bilgisayarınız var mı? Yok ise 32. soruya geçiniz.

	Büyüküğü	Günde Aktif Kullanım Saati
Diz Üstü Bilgisayar 1		
Diz Üstü Bilgisayar 2		
Diz Üstü Bilgisayar 3		
Diz Üstü Bilgisayar 4		
Masa Üstü Bilgisayar 1		
Masa Üstü Bilgisayar 2		
Masa Üstü Bilgisayar 3		
Masa Üstü Bilgisayar 4		
Monitor 1		
Monitor 2		
Monitor 3		
Monitor 4		

22-Modeminiz var mı?

- Marka/Model:
- Günde kaç saat Enerji grubu:

ELEKTRİKLİ SÜPÜRGE

23-

	Türü*	Gücü, W	Haftalık Toplam Kullanım Süresi (saat)
1			
2			

*T. Toz Torbalı; H: Halı Yıkama; S: Su Filtreli; I: Islak Kuru; E: El Tipi (Şarjlı)

ÜTÜ

24-Ütünüz ile ilgili bilgiler: Yok ise 35. soruya geçiniz.

	Türü*	Gücü, W	Haftalık Toplam Kullanım Süresi (saat)
--	--------------	----------------	---

1			
2			

*N: Normal; B: Buharlı; BJ: Buhar Jenaratörlü; P: Pres

SICAK SU

25-Sıcak su kullanım bilgileriniz:

Su Isıtma Sisteminiz*	Sistemin Günlük Aktif Kullanım Süresi, saat/gün

*M: Merkezi sistem – doğalgaz/fuel oil; T: Tüp gaz; K: Kombi – Doğalgaz; S: Soba – Kömür/Odun; E: Elektrik (ihlas); Ş: Elektrikli şöben; G: Güneş paneli; D:Diğer

KÜÇÜK MUTFAK/EV ALETLERİ

26-Aşağıdaki küçük mutfak aletlerinden sahip olduklarınızla ilgili bölümleri doldurunuz

Cihazın adı	Kullanım süresi dakika/gun veya dakika/ay	Cihazın yaşı
Çay makinesi		
Mikser		
Mutfak robotu – tek fonksiyonlu		
Mutfak robotu – çok fonksiyonlu		
Filtreli kahve makinesi		
Mini tost makinesi		
Büyük tost makinası		
Izgara fonksiyonlu mini tost makinası		
Izgara fonksiyonlu tost makinası		
Ekmek kızartma makinesi		
Kettle		
Elektrikli/buharlı yemek pişirici		
Meyve sıkacağı		
Elektrikli doğrayıcı		
Fritöz		
Ekmek yapma makinesi		
Izgara		
Nem makinası		
Ekspresso makinası		
Türk kahve makinası		

Espresso/Cappuccino Makinesi		
Espresso ve Kahve Makinesi		
Çöp Öğütücü		
Saç Kurutma/Fön Makinesi		

27-Uzun süre evinizden ayrıldığınızda buzdolabı/derin dondurucu/telefon gibi cihazları prizden çekiyor musunuz?

- Evet
 Hayır
 Bazılarını prizde bırakıyorum.

AYDINLATMA

28-Evde bulunan lambalar ve yaklaşık kullanım süreleri: (masa/çalışma lambaları dahil; tek anahtara bağlı olanlar toplam alınacak)

	Lambanın Cinsi (KFL/Soft / Akkor / Halojen / Florasans)	Güç tüketimi (W)	Günde Ortalama Kullanım Süresi (Saat)
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			
21			
22			
23			
24			
25			
26			

EK-3
DEĞERLENDİRME PARAMETRELERİNİN AÇIKLANMASI

- a) Regresyon analizi [127] yöntemi ile verilerin regresyon katsayısı, R^2 , değeri Eşitlik EK-3 1'e göre hesaplanmıştır.

$$\text{Regresyon katsayısı} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (y_i - t_i)^2}{\sum_{i=1}^N (t_i)^2} \quad \text{Eşitlik EK-3 1}$$

Bu eşitlikte;

- t_i : Ölçülen i. değer
 y_i : Tahmin edilen i. Değer
 i : Tahmin
 N : Ölçülen değer sayısı

- b) Ortalama Mutlak Yüzde Hata (MAPE)

MAPE, hataların mutlak değerlerinin ortalamasının, gerçek değerlerin yüzdesi olarak gösterilmesidir. MAPE, hatayı gerçek değer %'si olarak ifade eder [128].

$$\text{MAPE} = 100 \frac{\sum_{i=1}^n \frac{|\text{gerçek}_i - \text{tahmin}_i|}{\text{gerçek}_i}}{n} \quad \text{Eşitlik EK-3 2}$$

Bu eşitlikte;

- i : Tahmin
 gerçek_i : Ölçülen veri
 tahmin_i : Tahmin edilen veri
 n : Ölçülen değer sayısı

EK-4
FOTOVOLTAİK SİSTEME AİT PARÇALAR

Giriş

Fotovoltaik hücreler genellikle silikon esaslı malzemelerden üretilmektedir. Prensip olarak üzerine düşen güneş ışığını doğrudan elektrik enerjisine çevirme yöntemiyle çalışırlar. Silikon hücreye eklenen bor ve fosfor katmanlar sayesinde + ve – kutuplar oluşarak devre üzerinden bir elektrik akımı geçmesi sağlanır. Fotovoltaik hücreler küçük hücreler olarak üretilir ve ardından birbirlerine bağlanarak istenilen güç değerlerinde paneller elde edilir.

Türkiye’de Güneş enerjisi

Ülkemiz, coğrafi konumu nedeniyle yüksek güneş enerjisi potansiyeline sahip olması bakımından çok şanslıdır. Güneş enerjisi teknolojileri yöntem, malzeme ve teknolojik düzey açısından çok çeşitlilik göstermekle birlikte iki ana gruba ayrılabilir:

- Isıl Güneş Teknolojileri ve Odaklanmış Güneş Enerjisi (CSP): Güneş enerjisinden ısı elde edilen bu sistemlerde, ısı doğrudan kullanılabilceği gibi elektrik üretiminde de kullanılabilir.

- Güneş Hücreleri: Fotovoltaik güneş elektriği sistemleri de denilen yarı iletken malzemeler güneş ışığını doğrudan elektriğe çevirirler [129].

Ülkemizde 2012 yılı itibari ile toplam kurulu güneş kolektör alanı yaklaşık 18.640.000 m² olarak hesaplanmıştır. Yıllık düzlemsel güneş kolektörü üretimi 1.164.000 m², vakum tüplü kolektör ise 57.600 m² olarak hesap edilmiştir. Üretilen düzlemsel kolektörlerin %50'si, vakum tüplü kolektörlerin tamamı ülke içerisinde kullanıldığı bilinmektedir. 2012 yılında güneş kolektörleri ile yaklaşık olarak 768.000 TEP (Ton Eşdeğer Petrol) ısı enerjisi üretilmiştir. Üretilen ısı enerjisinin, 2012 yılı için konutlarda kullanım miktarı 500.000 TEP, endüstriyel amaçlı kullanım miktarı 268.000 TEP olarak hesaplanmıştır [129].

Fotovoltaik sistemlerin kullanımının yaygınlaşması için gerekli olan 5346 sayılı Yenilenebilir Enerji Kaynakları Kanunu 29/12/2010 yılında revize edilmiş ve 2013'te mevzuat çalışmaları tamamlanmıştır. Son yıllarda fotovoltaik sistemlerin maliyetlerin düşmesi ve verimliliğin artması ile de yaygın kullanım olacağı beklenmektedir.

2013 yılı lisanslı elektrik üretimi için Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu'na yapılan başvuruların teknik değerlendirme çalışmaları devam etmekte olup, bu ilk safhada

600 MW kurulu güce fotovoltaik santral lisansı verilecektir. Önümüzdeki yıllarda kademeli olarak kapasite artırılabacak ve Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nın 2023 hedefine göre; en az 3000 MW lisanslı FV santral kurulu gücüne ulaşılacaktır [129].

Ülkemizde hâlihazırda kurulmuş olan, çoğu kamu kuruluşlarında olmak üzere küçük güçlerin karşılanması ve araştırma amaçlı kullanılan fotovoltaik güneş elektriği sistemleri 3,5 MW kurulu güce ulaşmıştır [129].

Fotovoltaik Panel Sistem Elemanları

Tüm fotovoltaik sistemlerde fotovoltaik paneller, evirgeçler ve bağlantı kabloları bulunurken, sistem güvenliğini sağlamak, üretilen elektriği depolamak gibi farklı işlevler için değişik parçalarda kullanılmaktadır. Başlıca fotovoltaik sistem parçaları;

- Fotovoltaik Paneller
- Bağlantı Kutuları
- Yük Kontrolcüler
- Aküler
- Evirgeçler
- Kablolar ve Bağlantı Elemanları
- DC Ana Anahtarı
- AC Bağlantı Paneli ve Devre Kesiciler'dir.

Fotovoltaik sistemler kullanım amaçları ve tasarımlarına göre değişik parçalardan meydana gelirler. Tüm fotovoltaik sistemlerde fotovoltaik paneller, evirgeçler ve bağlantı kabloları bulunurken, sistem güvenliğini sağlamak, üretilen elektriği depolamak gibi farklı işlevler için değişik parçalarda kullanılmaktadır. Bu kısımda fotovoltaik sistem parçaları hakkında temel bilgiler yer almaktadır.

Fotovoltaik paneller güneş gözelerinin birbirlerine bağlanılarak daha yüksek akım ve gerilim değerleri sağlamak için hazırlanan üreteçlerdir. Tek bir FVP sınırlı miktarda güç üretebileceğinden, istenilen büyüklükteki sistemler fotovoltaik panellerin bir birleriyle seri ve paralel bağlanmalarıyla elde edilebilir.

Senaryoda kullanılacak olan fotovoltaik panel özellikleri

Bu çalışmada kullanılması planlanan FVP aşağıdaki cihazların elektrik tüketimini sağlayabilme kapasitesine sahiptir.

- 1 adet 2 KW dalgıç Pompa günde 11 saat,
- 1 adet Fırın (4KW anlık tüketim) günlük 5,5 saat,
- 1 adet elektrikli süpürge (5KW anlık tüketim) günlük 4,5 saat,
- 1 adet bulaşık makinesi (A+ sınıfı, 1 KWh yıkama başına enerji tüketimi) günde 20 yıkama
- 1 adet çamaşır makinesi (1,5KWh yıkama başına enerji tüketimi, 5000 W anlık tüketime kadar) günde 13 yıkama,
- 1 adet büyük Buzdolabı (A+ sınıfı, 1KWh günlük) 22 gün,
- 3 adet Televizyon (390W) 56 Saat,
- 16 adet 11 Wattlık Tasarruf Ampulu 125 saat,
- Telefon şarjı, bilgisayar ve ekipmanları (50W) 453 saat,
- 1 adet ütü (5000W anlık tüketim) günlük 4,5 saat.

Bu sistem kapsamında kullanılan ekipmanların listesi aşağıda, görüntüsü ise Şekil EK-4 1’de verilmiştir.

Ekipmanlar;

SMA Sunny Island Offgrid Sinüs İnverter

SMA Sunny Boy Inverter

Solar Jel Akü

5000Wp Solar Panel

60m Solar kablo ve bağlantı aparatları



Şekil EK-4 1 Senaryoda kullanılan fotovoltaik sistem [90]

Bu sistem Temmuz ayında günde 30,70 kws elektrik üretebilmektedir ve kapasite istenildiği zaman 13kwp'e kadar artırılabilir. FV sistem nominal gücü 5 kW'dir. Senaryoda kullanılan fotovoltaik sistem kayıpları Çizelge EK-4 1'de verilmiştir.

Çizelge EK-4 1 Senaryoda kullanılan fotovoltaik sistem kayıpları

Kayıp Konumu	Kayıp Miktarı
FV sistem nominal gücü	5 kW (crystallinesilicon)
Düşük ışınım ve sıcaklıktan kaynaklanan tahmini kayıp	% 9,6
Açısal yansıma efektlerinden kaynaklanan tahmini kayıp	% 2,7
Toplam FV sistem kayıpları	% 12,3

Kullanılacak olan FV sistem sabit sistemdir ve eğim açısı 32°'dir. Sistemin tahmini elektrik üretim bilgisi Çizelge EK-4 2'de verilmiştir.

Çizelge EK-4 2 FV sistem elektrik üretim tahmini

Ay	E _d	E _m	H _d	H _m
Ocak	11,2	347	2,4	73
Şubat	16,3	455	3,5	97
Mart	22,3	691	4,9	152
Nisan	24,2	726	5,5	164
Mayıs	27,3	846	6,3	196
Haziran	29,2	877	6,9	207
Temmuz	30,7	950	7,3	228
Ağustos	30,5	945	7,3	226
Eylül	28,2	845	6,6	197
Ekim	22,2	687	5,0	155
Kasım	18,1	544	3,9	117
Aralık	12,1	374	2,6	79
Yıllık ortalama	22,7	691	5,2	158
Yıllık toplam	8290	1890		

Bu çizelgede;

E_d: Günlük ortalama elektrik üretimi, (kWh)

E_m: Aylık ortalama elektrik, (kWh)

H_d: Sistemin modülleri tarafından alınan günlük ortalama toplam ışınım, (kWh/m²)

H_m : Sistemin modülleri tarafından alınan aylık ortalama toplam ışınım, (kWh/m²)

EK-5
PROFORMA FATURALAR

Fotovoltaik panel fiyat teklifi

Fotovoltaik panel fiyat teklifi Şekil EK-5 1'de verilmiştir.

OFFGRID GÜNEŞ ENERJİ SİSTEMLERİ (ŞEBEKEDEN BAĞIMSIZ)



Resmin büyük halini görüntüle...



SolarDükkan Bütün Ev Elektrİği 13kW anlık 32400wh kapasite (6 saatte bütün kapasiteyi şarj edebilme) **Kurulum Dahil**
(31 Temmuz 2013, 947 kez görüntülendi.)

Ürün Fiyatı : 14.553,78 € ~~46.923,00-€~~

Ürün Kdv li Fiyatı : 17.173,46 € ~~49.969,14-€~~

Stok Sayısı : Sınırsız stok

1 Adet

Sepete Ekle

Satın Al

24

kişi

BEĞEN

Arkadaşına Tavsiye Et!

Ürün Bilgisi

Yorumlar

Ödeme Seçenekleri

Bütün Ev Elektrİği 13kW anlık, 32,4 kWh kapasite (6 saatte bütün kapasiteyi şarj edebilme) **Kurulum Dahil**

Elektrik tüketimi

1 adet 2 KW dalgıç Pompa günde 11 saat, 1 adet Fırın (4KW anlık tüketim) günlük 5,5 saat, 1 adet elektrikli süpürge (5KW anlık tüketim) günlük 4,5 saat, 1 adet bulaşık makinesi (A+ sınıfı, 1 kWh yıkama başına enerji tüketimi) günde 20 yıkama 1 adet çamaşır makinesi (1,5KWh yıkama başına enerji tüketimi, 5000 W anlık tüketime kadar) günde 13 yıkama, 1 adet büyük Buzdolabı (A+ sınıfı, 1KWh günlük) 22 gün, 3 adet Televizyon (390W) 56 Saat, 16 adet 11Wattlık Tasarruf Ampulu 125 saat, telefon şarjı, bilgisayar ve ekipmanları (50W) 453 saat, 1 adet ütü (5000W anlık tüketim) günlük 4,5 saat. Alman Solarworld veya Japon Kyocera marka fotovoltaik panel ve Alman SMA marka inverter cihazı kalitesiyle.

Kullanılan ekipmanlar

SMA Sunny Island Offgrid Sinüs İnverter
SMA Sunny Boy İnverter
Solar Jel Akü
5000Wp Solar Panel
60m Solar kablo ve bağlantı aparatları
Kurulum aparatları çatı uygulama içindir.

Şekil EK-5 1 Fotovoltaik panel fiyat teklifi

Güneş enerjisi sistemi fiyat teklifi

Firma tarafından Serbas 4 kollektörlü sistemin 10 kollektörlü olarak tasarlanabileceği belirtilmiş ve tasarlanacak sistem için 10.000 TL fiyat verilmiştir [82]. 4 kollektörlü sistemin teknik broşürü Şekil EK-5 2'de verilmiştir.



Şekil EK-5 2 Firma tarafından önerilen 4 kollektörlü sistemin teknik broşürü

Pencere camı fiyat teklifi

Pencere camı fiyat teklifi Şekil EK-5 3'de verilmiştir.

10.09.2014

TEKLİF MEKTUBU

Sayın Gül Nihal GUGUL Hanım Dikkatine

İhtiyacınız olan camları aşağıdaki fiyatlardan yapmayı teklif ederiz.

6 mm Düz Cam + 12 hb (hava) + 6 mm Düz Cam

Birim (m2) Fiyatı : **60.00 TL/m2 + KDV**

6 mm Düz Cam + 16 hb (argon) + 6 mm Düz Cam

Birim (m2) Fiyatı : **65.00 TL/m2 + KDV**

6 mm Düz Cam + 16 hb + 6 mm Düz Cam + 16 hb + 6 mm Düz Cam (Argon gazlı)

Birim (m2) Fiyatı : **100.00 TL/m2 + KDV**

6 mm Düz Cam + 16 hb + 6 mm Düz Cam + 16 hb + 6 mm Düz Cam Low-E kaplamalı (Argon gazlı)

Birim (m2) Fiyatı : **110.00 TL/m2 + KDV**


Not: Montaj hariç fiyatlardır.
Fabrika teslimidir.

Almış olduğunuz teklifin teyidi için mutlaka onay veriniz.

Şekil EK-5 3 Pencere camı fiyat teklifi

Toprak kaynaklı ısı pompası fiyat teklifi

Kullanılması planlanan 29,9 kW kapasitedeki TKIP fiyatı Şekil EK-5 4'de verilmiştir. Sistemin fiyatı 2014 yılı Ocak ayı döviz kuru ile 34.209 TL'dir. Kurulum maliyetleri için 10.000 TL. Fiyat alınması sebebi ile TKIP sisteminin 44.209 TL'ye mal olacağı hesaplanmıştır.



VWW 101 - 141 - 171 / 2 model ısı pompalarına opsiyonel olarak pasif soğutma bağlantısı yapılabilmektedir.
- Enerji bilançolu kontrol paneli, paslanmaz çelik plakalı eşanjörlü entegre kaynak sirkülasyon pompası ve genişleme tanki mevcut
- Cihaz içinde 6 kW takviye elektrikli ısıtıcı mevcuttur.

geoTHERM

- > Yüksek verimli scroll kompresör
- > Paslanmaz çelik eşanjör
- > Dahili kaynak pompası
- > Max. 62 °C tesisat suyu sıcaklığı
- > Enerji grafik göstergeli
- > Çevre dostu R407C soğutucu akışkan
- > Yeraltı ve yerüstü su kaynağına bağlantı
- > Sessiz çalışma
- > Pasif soğutma özelliği

Model	Kapasite	COP (*)	Boyutlar (YxGxD mm)	Ürün Kodu	Peşin Fiyat €	Vadeli Fiyat €
VWW 101/2	Isıtma: 13,9 kW	5,3	1800x600x840	10002791	7.348	7.568
VWW 141/2	Isıtma: 19,6 kW	5,3	1800x600x840	10002792	7.865	8.101
VWW 171/2	Isıtma: 24,3 kW	5,3	1800x600x840	10002793	8.436	8.689
VWW 220/2	Isıtma: 29,9 kW	5,2	1200x760x1100	10002801	11.143	11.477
VWW 300/2	Isıtma: 41,6 kW	5,3	1200x760x1100	10002802	12.720	13.102
VWW 380/2	Isıtma: 52,6 kW	5,3	1200x760x1100	10002803	13.849	14.264
VWW 460/2	Isıtma: 63,6 kW	5,1	1200x760x1100	10002804	15.629	16.098

- Su kaynaklı ısı pompası cihaz ısıtma kapasiteleri S: 10° / S: 35°'de ve ΔT= 5 K'ya göre verilmiştir.
- VWW 101 - 141 - 171 / 2 model ısı pompalarına opsiyonel olarak pasif soğutma bağlantısı yapılabilmektedir.
- Enerji bilançolu kontrol paneli, paslanmaz çelik plakalı eşanjörlü entegre kaynak sirkülasyon pompası ve genişleme tanki mevcut
- VWW 101 - 141 - 171 / 2 model cihazlar içinde 6 kW takviye elektrikli ısıtıcı mevcuttur.

Yenilenebilir Enerji Sistemleri

Şekil EK-5 4 TKIP Fiyat Teklifi [130]

Çatı yalıtımı fiyat teklifi [107]

Çatı yalıtımı fiyat teklifi Şekil EK-5 5'de verilmiştir.



Foamboard 1500 D

Çatı arası kullanılan eğimli çatıların ısı yalıtımında kullanılan, yüzeyi düz ekstrüde polistiren levhalardır.

Isı İletkenlik Beyan Değeri, λ_D : 0,035 W/mK
Basma Dayanımı, σ_{10} : 150 kPa

Yangına Tepki Sınıfı : E



Genişlik (mm)	Uzunluk (mm)	Kalınlık (mm)	Isı İletim Direnci R (m ² K/W)	Paket		Birim Fiyat		Paket Fiyatı (TL)
				(m ²)	(m ³)	(TL/m ²)	(TL/m ³)	
600	1250	25	0,70	12,00	0,3000	7,00	280,00	84,00
600	1250	30	0,85	10,50	0,3150	7,80	260,00	81,90
600	1250	40	1,10	7,50	0,3000	10,40	260,00	78,00
600	1250	50	1,40	6,00	0,3000	13,00	260,00	78,00



2014

10 | www.izocam.com.tr

Şekil EK-5 5 Çatı yalıtımı fiyat teklifi

Dış duvar yalıtımı fiyat teklifi [107]

- Konutta halihazırda var olan dış duvar yalıtım malzemesi fiyat teklifi**

Dış duvarda kullanılan ısı iletkenlik katsayısı $k=0,04$ W/mK olan, 80 mm kalınlıkta yalıtım için fiyat teklifi Şekil EK-5 6'da verilmiştir.



Optimum Şilte

Bir yüzü kraft kağıdı kaplı özel camyünü şilte olup, dış duvarlarda her türlü duvar ve betonarme elemanın iç yüzeyinde, iç bölme duvarlarda ve komşu duvarlarda, merdiven ve asansör boşluklarına bitişik duvarlarda, ahşap karkas yapıların içten giydirilmesinde ısı ve ses yalıtımı amacıyla, şiltenin montajında kullanılan özel profilleri, bağlantı elemanları ve aksesuarlarıyla sistem olarak kullanılmaktadır.

Isı İletkenlik Beyan Değeri, λ_p : 50 mm; 0,035 W/mK Yangına Tepki Sınıfı : NPD
: 80 mm; 0,040 W/mK



Ürün Kodu	Genişlik (mm)	Uzunluk (mm)	Kalınlık (mm)	Isı İletim Direnci R (m ² K/W)	Paket (m ²)	Birim Fiyat (TL/m ²)	Paket Fiyatı (TL)
C210-0002	1200	13500	50	1,40	16,2	5,60	90,72
C210-0003	1200	5400	80	2,00	6,48	6,20	40,18

Şekil EK-5 6 Konutta halihazırda var olan dış duvar yalıtım malzemesi fiyat teklifi

- Senaryoda kullanılan yalıtım malzemesi fiyat teklifi**

Dış duvar yalıtım senaryosunda kullanılan ısı iletkenlik katsayısı $k=0,035$ W/mK olan yalıtım için fiyat teklifi Şekil EK-5 7'de verilmiştir.



Foamboard 2500 P

Foamboard ısı yalıtım levhaları, ısı yalıtım özelliği ve buhar difüzyon direnci sayesinde dış duvarların içten yalıtımı için kullanılabilen yüzeyi pürüzlü ekstrüde polistiren levhalardır.

Isı İletkenlik Beyan Değeri, λ_p : 0,035 W/mK Yangına Tepki Sınıfı : E



Genişlik (mm)	Uzunluk (mm)	Kalınlık (mm)	Isı İletim Direnci R (m ² K/W)	Paket		Birim Fiyat		Paket Fiyatı (TL)
				(m ²)	(m ³)	(TL/m ²)	(TL/m ³)	
600	1250	40	1,10	7,50	0,3000	12,40	310,00	93,00
600	1250	50	1,40	6,00	0,3000	15,50	310,00	93,00
600	1250	60	1,70	5,25	0,3150	18,60	310,00	97,65
600	1250	70	2,00	4,50	0,3150	21,70	310,00	97,65
600	1250	80	2,25	3,75	0,3000	24,80	310,00	93,00
600	1250	90	2,55	3,75	0,3375	30,15	335,00	113,06

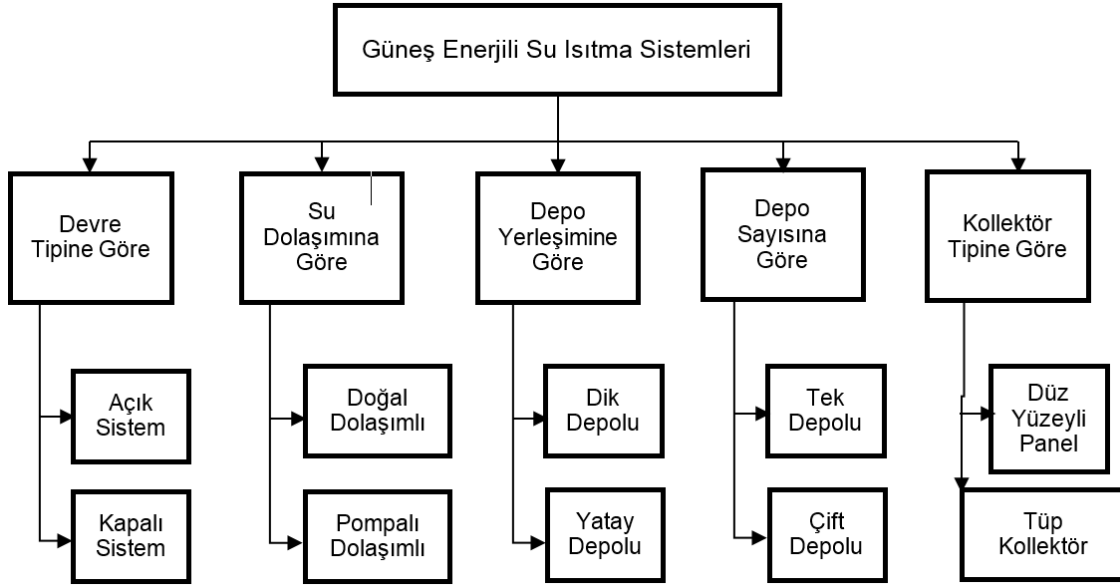
Şekil EK-5 7 Dış duvar yalıtım senaryosunda kullanılan yalıtımın fiyatı teklifi

EK-6

GÜNEŞ ENERJİSİ SİSTEMİNE AİT PARÇALAR

Güneş Enerjisi ile Su Isıtma Sistemlerinin Sınıflandırılması

Güneş enerjili su ısıtma sistemleri, güneş enerjisini toplayan kolektörler, ısınan suyun toplandığı depo ve bu iki kısım arasında bağlantıyı sağlayan yalıtımlı borular, pompa ve kontrol edici gibi sistemi tamamlayan elemanlardan oluşmaktadır [91]. Güneş enerjisi sistemleri bir çok yapısal özelliğine göre sınıflandırılmaktadır. Bu sınıflandırmanın tablosu Şekil EK-6 1’de verilmiştir.



Şekil EK-6 1 Güneş enerjisi su ısıtma sistemlerinin sınıflandırılması [91]

Konutun kullandığı sıcak suyun kolektörde veya ısı değiştirici depoda ısıtılması durumuna göre güneş enerjisi sistemleri direkt (açık devre) veya endirekt (kapalı devre) olarak sınıflandırılır.

Güneş enerjisi sistemleri su dolaşımına göre, aktif ve pasif olmak üzere iki kategoride sınıflandırılabilir. Aktif sistemler, suyun ya da ısı transfer sıvısının çevirimi için pompa kullanırlar. Pasif sistemler suyun ya da ısı transfer sıvısının devrini doğal dolaşım ile sağlarlar.

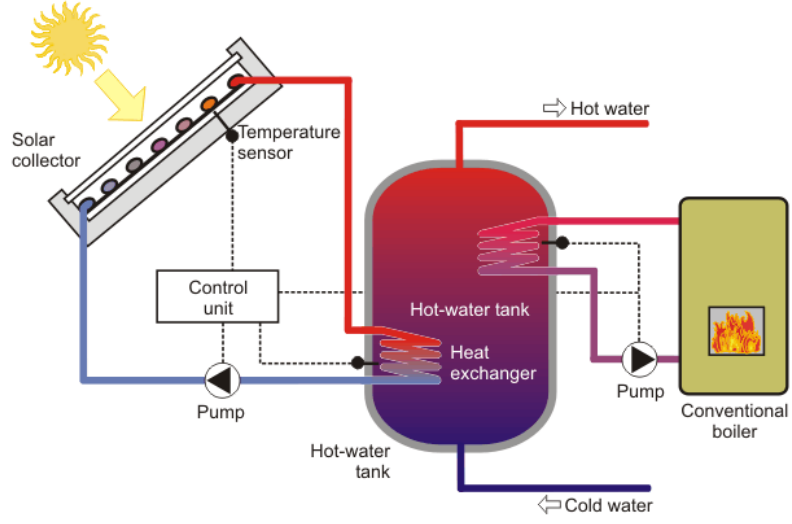
Güneş Enerjisi ile Su Isıtma Sistemi Parçaları

Güneş enerjisi sistemleri için birçok tasarım vardır. Temel olarak bu sistemler, Şekil EK-6 2’de görüldüğü gibi dört ana bileşenden oluşur:

- Güneş kolektörü, güneşten gelen radyasyonu kullanılabilir ısıya dönüştürür
- Isı değiştirici/pompa modülü, ısıyı güneş kolektöründen suya aktarır

Su deposu, güneş enerjisi ile ısıtılmış suyu depolar

Yardımcı ısıtıcı, tüm sıcak su tüketiminin karşılayacak güneş enerjisi olmaması durumunda ek enerji sağlanması için kullanılır.



Şekil EK-6 2 Güneş enerjisi sistemi şeması [131]

Kullanılacak güneş enerjisi sistemi, sistemin kullanıldığı coğrafi bölgeye ve sistemin kapasitesine göre farklılıklar göstermektedir. Çizelge EK-6 1'de farklı tiplerdeki güneş enerjisi sistemlerinin avantaj ve dezavantajları açıklanmıştır.

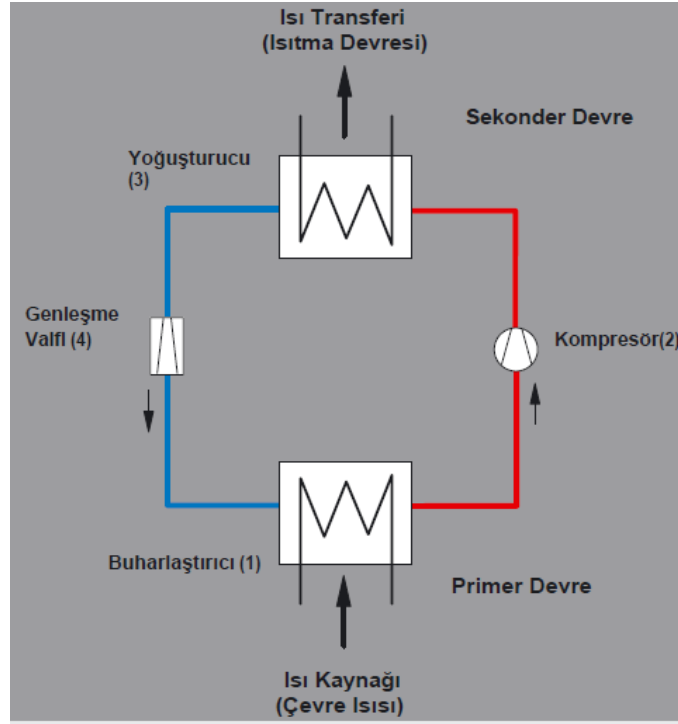
Çizelge EK-6 1 Mevcut GESİS'lerin avantaj ve dezavantajları [91]

Sistem	Avantaj	Dezavantaj
Doğal dolaşimli	Tasarımları basittir ve pompasız çalışırlar. Otomatik kontrol sistemi (eğer varsa) basit bir düzendir. Isı toplama devresine ısı değiştirgeci koymaya gerek yoktur. Maliyeti düşüktür.	Don tehlikesi olmayan veya çok az olan bölgelerde kullanılabilir. Bazı sular çökelme veya kabuklaşmaya sebep olabilir. Depolama tankının kollektörden daha yükseğe konması gerekir. Çatı veya üst katın depolama tankını taşıyabilmesi için takviye edilmesi gerekir. Sıcak su üretme kapasitesi azdır. Kollektörlerde su dolaşımı yavaş olduğundan su sıcaklığı daha yüksektir. Bu nedenden dolayı da verimi daha düşüktür. Sürtünme kayıplarının en fazla olduğu kısım kollektör olacağından kollektör boru çapı 20 mm den küçük olmamalıdır. Aksi halde dolaşım daha da yavaşlar ve sıcak su temininde problemler yaşanır.
Pompa (Zorlanmış dolaşimli)	Sistemde sirkülasyon pompası ve otomatik kontrol ünitesi olduğu için dolaşım debisi gerektiği kadar olur, sistemin verimi artar ve sürtünme kayıpları en aza iner. Kapalı tip sistemlerde dolaşım suyuna antifiriz eklenerek kışın olabilecek donma tehlikesi ortadan kalkar ve sistemin kullanım ömrü artar.	Sistemde pompa ve otomatik kontrol ünitesi olduğu için maliyeti artar. Kapalı sistemlerde ısı değiştirgeci kullanıldığı için ısı transferi kayıplarından dolayı verim düşük olabilmektedir.
Vakum tüplü	Sistem iç içe geçmiş iki cam tüpten oluşmaktadır. Tüpler arasındaki hava, vakumlama teknolojisi sayesinde boşaltılmış, böylece ısı kaybı azaltılmıştır. Dıştaki özel yapılmış cam her türlü hava koşuluna dayanıklıdır. İçteki cam tüpün yüzeyi güneş ışınlarını en iyi şekilde toplamak için üretilmiş, siyah renkli bir maddeyle kaplanmıştır. Cam tüpler yuvarlak yapısı sayesinde günün her saati güneş ışınlarını dik olarak alır. Yansıma oranı çok düşük olacağı için su sıcaklığı yaz koşullarında 97 °C ye kış koşullarında ise 58 °C'ye kadar çıkabilmektedir. İki cam tabaka arasındaki vakum izolasyonundan dolayı kış aylarında donma riski yoktur ve antifiriz gerektirmez.	Vakum tüplü güneş enerjili su ısıtma sistemleri panel kollektörlü sistemlere göre daha pahalıdır. Isı borulu olmayan tiplerinde, suyun sadece cam tüp içerisinde termosifon etkisi ile doğal dolaşıma maruz kalması sistemin verimini düşürmektedir. Özellikle bulutlu havalarda ve kış aylarında yüksek verim beklentisinin gerçekleşmemesi pahalı olan bu sistemlere olan talebi azaltmaktadır. Isı borulu olan tipler ise çok daha maliyetli olduğundan ve yurt dışından ithal edildiklerinden sınırlı bir kullanım alanı bulmaktadır.

EK-7
TOPRAK KAYNAKLI ISI POMPASI SİSTEMİNE AİT PARÇALAR

Isı Pompası Bileşenleri

Isı pompasını oluşturan temel bileşenler, Şekil EK-7 1'de görüldüğü gibi evaporatör (buharlaştırıcı), kompresör (sıkıştırma), kondenser (yoğuşturucu) ve genişleme valfidir. Isı pompalarının çalışma prensibi, ısı taşıyan akışkanı sıkıştırıp genişletmek suretiyle açığa çıkan enerjisini ortamın sıcaklığını arttırmak için kullanılmasına dayanır [92].

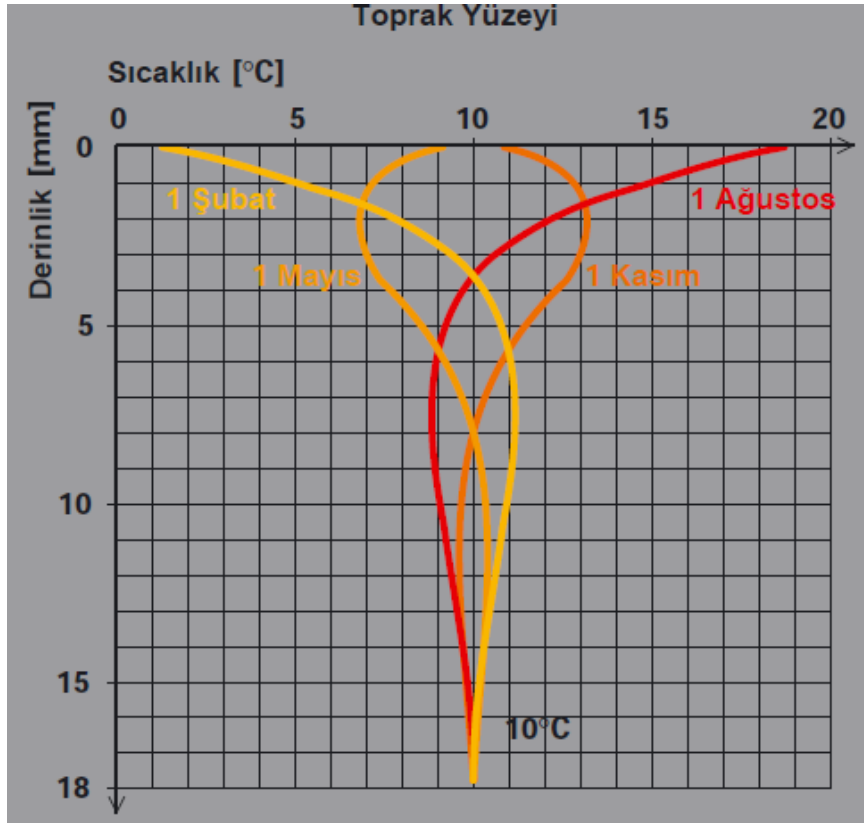


Şekil EK-7 1 Isı pompası çalışma prensibi [92]

Çevreden ısı alındığında, buharlaştırıcıdaki sıvı fazlı soğutucu akışkan düşük basınç altındadır (1). Buharlaştırıcıdaki sıcaklık seviyesi, soğutucu akışkanın mevcut basınçtaki kaynama noktasının üzerindedir. Bu sıcaklık farkı ile soğutucu akışkan buharlaşır ve çevreden ısı çeker. Sıcaklık $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'nin altındadır. Kompresör (2) akışkan buharını çeker ve sıkıştırır. Sıkıştırma sırasında buhar fazındaki akışkanın basıncı Kompresördeki sıkıştırma işleminden sonra buhar fazındaki akışkan yoğuşturucuya gelir. Yoğuşturucuyu (3) çevreleyen ısıtma suyunun sıcaklığı, soğutucu akışkanın yoğuşma sıcaklığından düşüktür. Buhar fazındaki akışkan soğuyarak sıvı faza geçer. Buharlaştırıcının çevreden çektiği ısı ve kompresördeki sıkıştırma işlemi sırasında ilave edilen elektrik enerjisi ısıtma suyuna aktarılmış olur. Soğutucu akışkan bir genişleme valfinden (4) geçerek tekrar

buharlaştırıcıya döner. Bu sırada akışkan kompresörün yüksek basıncından buharlaştırıcının düşük basıncına genişler. Böylece çevrim tamamlanmış olur [92].

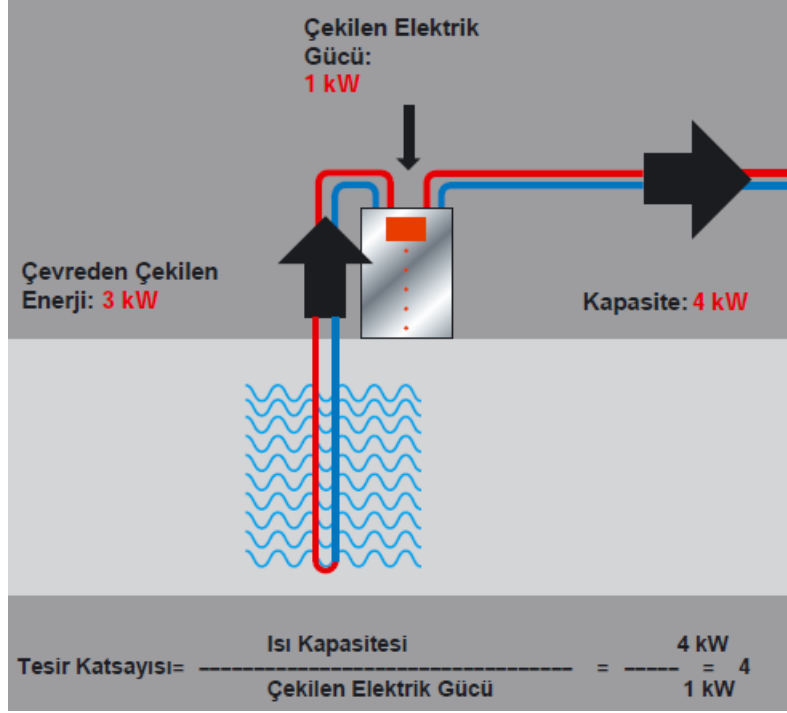
2 metrelik bir derinlikte, Şekil EK-7 2’de görüldüğü gibi toprak tüm yıl boyunca 7 ile 13°C arasında sabit bir sıcaklık aralığına sahiptir. Yatay toprak kolektörleri veya dikey sondajlar bu depolanan enerjiyi antifriz-su karışımı ile ısı pompasının buharlaştırıcısına getirirler.



Şekil EK-7 2 Yıllık toprakaltı sıcaklık değişimleri

Toprak yüzeyinden 5 m derine kadar olan tabaka ısı kaynağı olarak kabul edilir.

Tesir katsayısı, ısıtma kapasitesi ile harcanan enerji arasındaki ilişki olarak tanımlanır. Şekil EK-7 3’de görüldüğü gibi, “performans faktörü 4” ifadesi, “üretilen ısı enerjisi, tüketilen elektrik enerjisinin 4 katı”dır anlamına gelir [92].



Şekil EK-7 3 Isı pompası tesir katsayısı [92]

Isı pompası için tesir katsayısı Eşitlik EK-7 1 ile hesaplanmaktadır.

$$\text{COP}_{\text{IP}} = \frac{\text{Elde edilmek istenen enerji}}{\text{Harcanan enerji}} = \frac{Q}{W}$$

EK-7 1

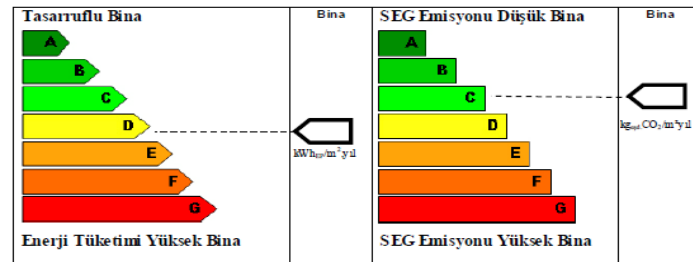
EK-8
ENERJİ KİMLİK BELGESİ

Mevcut binalar 5627 sayılı “Enerji Verimliliği Kanunu’nun” Geçici 6ncı maddesinin ikinci fıkrası gereğince 02.05.2017 tarihine kadar, yeni binalar ise yönetmeliğin Geçici 4üncü maddesinin birinci fıkrası gereğince 01.01.2011 tarihinden itibaren Enerji Kimlik Belgesi almak zorundadır [132]. 5627 sayılı “Enerji Verimliliği Kanunu’nun” Geçici 6. maddesinin 2. fıkrası gereğince zorunlu hale getirilen Enerji Kimlik Belgesi Şekil EK-8 1’de görülmektedir.

EK-3

Binalar İçin Düzenlenecek Olan Enerji Kimlik Belgesi

ENERJİ KİMLİK BELGESİ		
Belge No : Bina tipi : İnşaat yılı : Kapalı Kullanma alanı : Ada, Parsel : Adres :	Tarih : Belgeyi Düzenleyen : Oda Sicil No : Belgenin Son Geçerlilik Tarihi : İmza :	
Mülk sahibi : İsim : Adres :	Müşterek tesisatların sahibi (gerekliyse): İsim : Adres :	
Enerji tipine göre yıllık tüketimler		
	Nihai Enerji tüketimleri	Birincil Enerji tüketimleri
Enerji Kullanım Alanı	kW saat	kW saat
Isıtma :		
Sıhhi sıcak su :		
Soğutma :		
Aydınlatma :		
TOPLAM :		
Isıtma, sıhhi sıcak su üretimi, soğutma ve aydınlatma için enerji tüketimleri (birincil enerji olarak)	Isıtma, sıhhi sıcak su üretimi, soğutma ve aydınlatma için sera etkisi gazı (SEG) emisyonları	
Nihai tüketim:kWsaaat/ m ² .yıl	Emisyon salımı:kg eş.d.CO ₂ / m ² .yıl	



Şekil EK-8 1 Enerji Kimlik Belgesi [54]

Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği'nde yer alan Türkiye'de ısıtma bölgelerine göre her enerji sınıfı için konutların referans enerji tüketimi Çizelge EK-8 1’de verilmiştir [54].

Çizelge EK-8 1 Birincil Enerjiye Göre Referans Göstergesi (RG), kWh/m²-yıl [54]

BİNA TİPLERİ	KULANIM AMAÇLARI	1.ısıtma bölgesi(RG)	2.ısıtma bölgesi(RG)	3.ısıtma bölgesi(RG)	4.ısıtma bölgesi(RG)
Konutlar	Tek ve ikiz aile evleri	165	240	285	420
	Apartman blokları	180	255	300	435
Hizmet Binaları	Ofis ve Büro	240	300	360	495
	Eğitim Binaları	180	255	300	450
	Sağlık Binaları	600			
Ticari Binalar	Otel, Motel,Restoran vb.	540			
	Alışveriş Ve Ticaret Merkezleri	750			

Binalarda enerji performansı yönetmeliğinde yer alan Türkiye’de ısıtma bölgelerine göre her enerji sınıfı için konutların referans sera gazı emisyonu Çizelge EK-8 2’de verilmiştir [54].

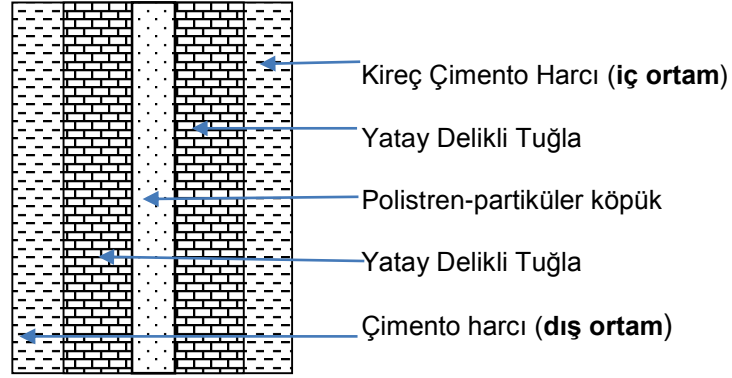
Çizelge EK-8 2 Sera Gazı Referans Göstergesi (SRG), kg eşd.CO₂ / m²-yıl [54]

Bina Tipleri	Kullanım Amaçları	1. Isıtma Bölgesi (RG)	2. Isıtma Bölgesi (RG)	3. Isıtma Bölgesi (RG)	4. Isıtma Bölgesi (RG)
Konutlar	Tek ve ikiz aile evleri	28	40	47	70
	Apartman blokları	30	43	50	73
Hizmet Binaları	Ofis ve Büro	40	50	60	80
	Eğitim Binaları	30	45	50	75
	Sağlık Binaları	120			
Ticari Binalar	Otel, Motel,Restoran vb.	100			
	Alışveriş Ve Ticaret Merkezleri	150			

EK-9
ISI İLETKENLİK KATSAYISI HESAPLAMALARI

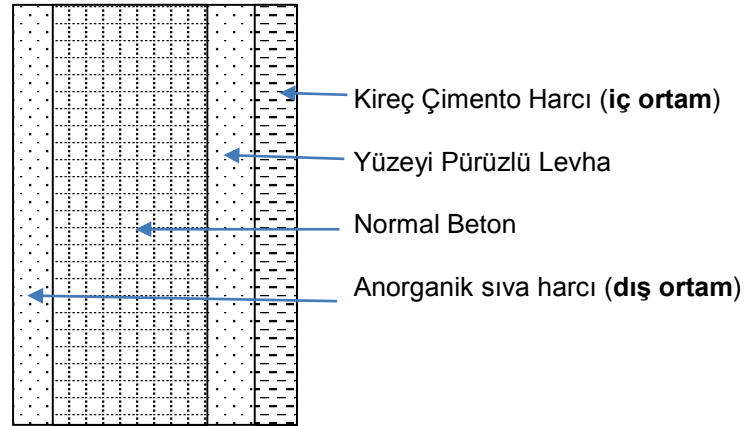
- **Dış Duvar Isı İletkenlik Hesaplamaları**

Konutta dış ortam ile temas eden duvarın bir kısmı dış duvar diğer kısmı ise kolon ve kirişlerden oluşmaktadır. Bu duvarlar ESP-r’da “Dış duvar” ve “Dış duvar kolon” olarak tanımlanmıştır. ESP-r’da “Dış duvar” olarak tanımlanan dış duvarın yapısı Şekil EK-9 1’de gösterilmiştir.



Şekil EK-9 1 “Dış duvar” olarak tanımlanan dış duvarın yapısı

ESP-r’da “Dış duvar kolon” olarak tanımlanan dış duvarın yapısı Şekil EK-9 2’de gösterilmiştir.



Şekil EK-9 2 “Dış duvar kolon” olarak tanımlanan dış duvarın yapısı

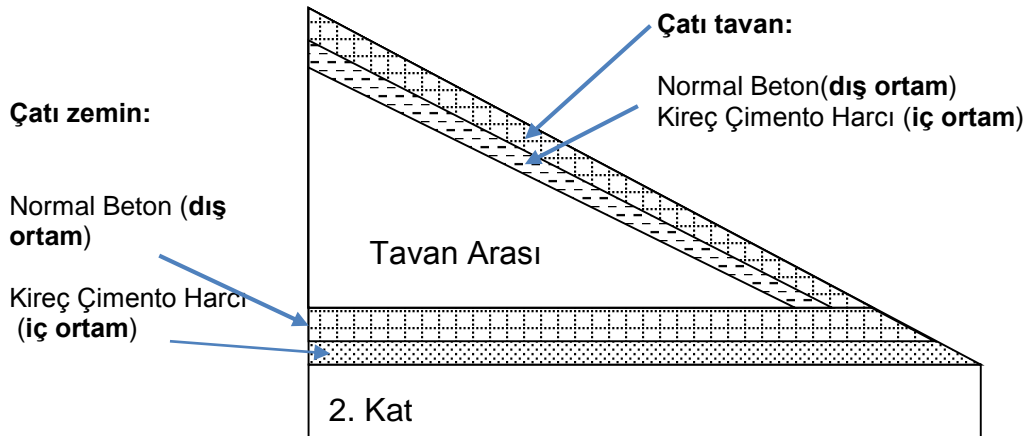
Şekil EK-9 1 ve Şekil EK-9 2’deki yapıların toplam direnci ve ısı iletkenlik katsayıları Eşitlik 6-2 ve 6-3 kullanılarak hesaplanmış ve Çizelge EK-9 1’de verilmiştir.

Çizelge EK-9 1 Dış duvar ısı iletkenlik katsayısı hesabı

Yapı adı	Malzeme adı	Kalınlık (mm)	Isıl İletkenlik, W/m-K	Termal Direnç, R _i (m ² K/W)	Isı geçirgenlik katsayısı, U, (W/m ² K)
Dış duvar	Çimento Harcı	30	1,40	0,021	0,411
	Yatay Delikli Tuğla	85	0,44	0,193	
	Polistren-partiküler köpük	80	0,04	2	
	Yatay Delikli Tuğla	85	0,44	0,193	
	Kireç çimento harcı	20	0,80	0,025	
	Toplam			2,432	
Dış duvar kolon	Anorganik asıllı hafif agregalardan yapılmış sıva harçları	30	0,35	0,085	0,527
	Normal beton (TS 500)	250	2,10	0,119	
	Yüzeyi Pürüzlü ve kanallı levha	50	0,03	1,666	
	Kireç çimento harcı	20	0,80	0,025	
	Toplam			1,895	

- **Çatı Isı İletkenlik Hesaplamaları**

Konutta çatı, dış ortam ile temas eden ve ikinci katın tavanını oluşturan tavan olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır. Bu duvarlar ESP-r'da "Çatı tavan" ve "Çatı zemin" olarak tanımlanmıştır ve bu yapıların özellikleri Şekil EK-9 3'de gösterilmiştir.



Şekil EK-9 3 "Çatı tavan" ve "Çatı zemin" olarak tanımlanan dış duvarın yapısı

Konutun çatısı ve çatının malzemelerinin gösterildiği Şekil EK-9 3'deki yapıların toplam direnci ve ısı iletkenlik katsayıları Eşitlik 6-2 ve 6-3 kullanılarak hesaplanmış ve Çizelge EK-9 2'de verilmiştir.

Çizelge EK-9 2 Çatı ısı iletkenlik katsayısı hesabı

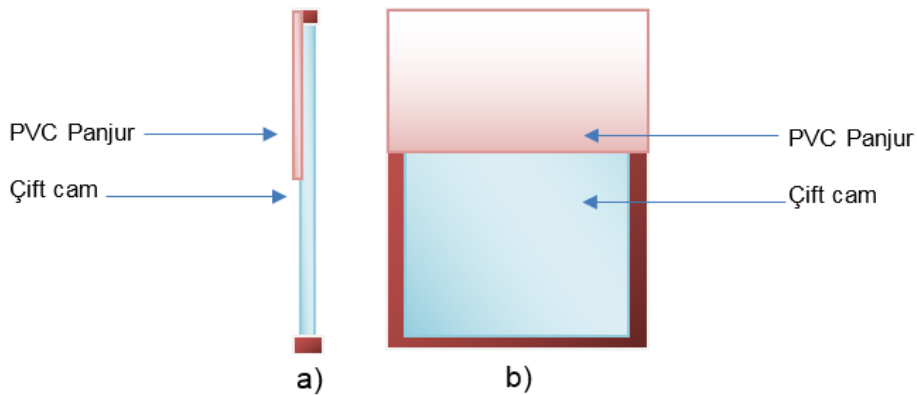
Yapı adı	Malzeme adı	Kalınlık (mm)	Isıl iletkenlik, W/m-K	Termal Direnç, R _i (m ² K/W)	Isı geçirgenlik katsayısı, U, (W/m ² K)
Çatı zemin	Normal beton (TS 500)	320	2,10	0,152	5,63
	Kireç çimento harcı	20	0,8	0,025	
	Toplam			0,177	
Çatı tavan	Normal beton	250	1,28	0,195	4,53
	Kireç çimento harcı	20	0,80	0,025	
	Toplam			0,220	

- **Pencere Isı İletkenlik Katsayısı Hesaplamaları**

Konutta dış ortam ile temas eden pencereler ahşap çerçeve, hava boşluklu şeffağift cam ve panjurdan oluşmaktadır. Pencerenin yüzeyinde ısı iletkenlik hesabı yapılırken pencere camı-panjur ve çerçeve-panjur farklı yüzeyler oluşturduğu için ayrı ayrı düşünölmelidir. Bu iki yapının ısı iletkenlik hesabı bu kısımda verilmiştir.

- **Cam Ve Panjur Sistemi Isı İletkenlik Katsayısının Hesaplamaları**

Konutta dış ortam ile temas eden pencere 12 mm hava boşluklu çift camın bir kısmı panjur sistemi ile örtölüdür, kalan kısmı ise sadece 12 mm hava boşluklu çift camdan oluşmaktadır. Pencereler ESP-r'da panjuru kapalı olan ve olmayan pencereler olmak üzere "Cam" ve "Panjurlu cam" olarak tanımlanmıştır ve bu yapıların özellikleri Şekil EK-9 4'de gösterilmiştir.



Şekil EK-9 4 "Cam" ve "Panjurlu cam" olarak tanımlanan pencerelerin a)Yandan b) Önden görünümü

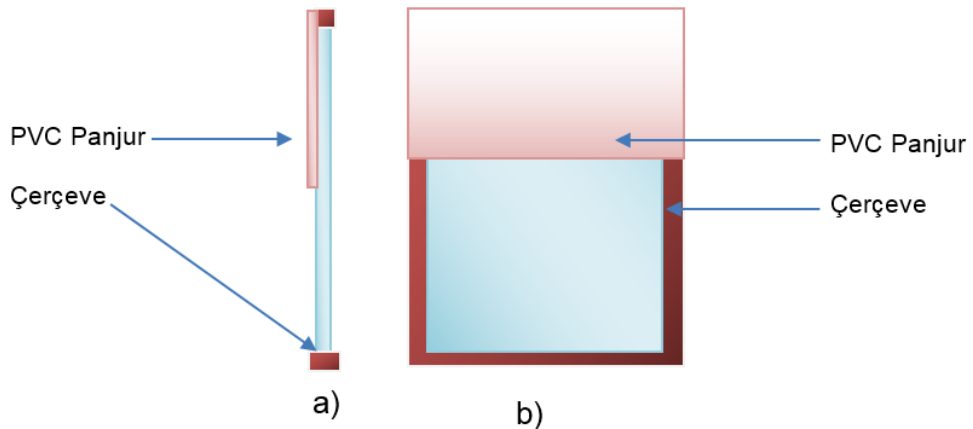
Konutun pencere sisteminin gösterildiği Çizelge EK-9 4'deki yapıların toplam direnci ve ısı iletkenlik katsayıları Eşitlik 6-2 ve 6-3 kullanılarak hesaplanmış ve Çizelge EK-9 3'de verilmiştir.

Çizelge EK-9 3 Pencere ısı iletkenlik katsayısı hesabı

Yapı adı	Malzeme adı	Kalınlık (mm)	Isıl İletkenlik, W/m-K	Termal Direnç, R_i (m^2K/W)	Isı geçirgenlik katsayısı, U, (W/m^2K)
Cam	Cam	6	0,76	0,007	63,33
	Hava boşluğu	12	0		
	Cam	6	0,76	0,007	
	Toplam			0,015	
Panjurlu cam	PVC	10	0,16	0,062	12,77
	Cam	6	0,76	0,007	
	Hava boşluğu	12	0		
	Cam	6	0,76	0,007	
	Toplam			0,078	

• **Çerçeve Ve Panjur Sistemi Isı İletkenlik Katsayısının Hesaplamaları**

Konutta dış ortam ile temas eden ahşap çerçevenin bir kısmı panjur ile örtülüdür kalan kısmı ise sadece ahşap çerçeveden oluşmaktadır. Çerçeveler ESP-r'da panjuru kapalı olan ve olmayan çerçeveler olmak üzere "Panjurlu çerçeve" ve "Çerçeve" olarak tanımlanmıştır ve bu yapıların özellikleri Şekil EK-9 5'de gösterilmiştir.



Şekil EK-9 5 "Panjurlu çerçeve" ve "Çerçeve" olarak tanımlanan çerçevelerin a) Yandan b) Önden görünümü

Konutun çerçeve sisteminin gösterildiği Şekil EK-9 5'deki yapıların toplam direnci ve ısı iletkenlik katsayıları Eşitlik 6-2 ve 6-3 kullanılarak hesaplanmış ve Çizelge EK-9 4'da verilmiştir.

Çizelge EK-9 4 Çerçeve ısı iletkenlik katsayısı hesabı

Yapı adı	Malzeme adı	Kalınlık (mm)	Isıl İletkenlik, W/m-K	Termal Direnç, R _i (m ² K/W)	Isı geçirgenlik katsayısı, U, (W/m ² K)
Panjurlu çerçeve	PVC	10	0,16	0,062	2,66
	Ahşap	50	0,16	0,312	
	Toplam			0,375	
Çerçeve	Ahşap	50	0,16	0,312	3,2

- **Kapı Isı İletkenlik Katsayısı Hesaplamaları**

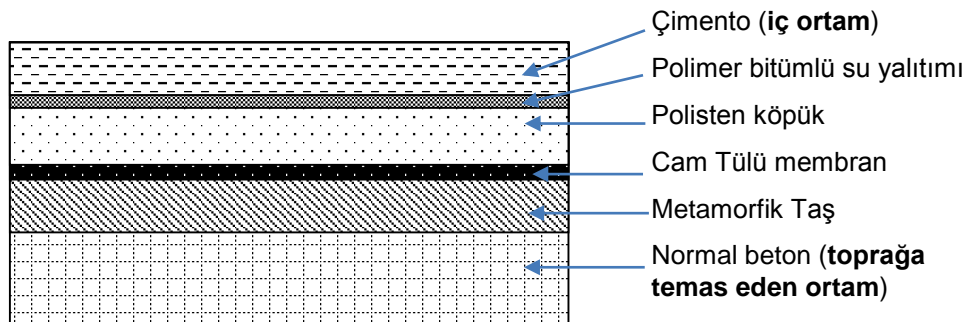
Konutta dış ortam ile temas eden kapılar ahşap yapıdadır. Kapılar ESP-r'da "Kapı" olarak tanımlanmıştır. Konutun kapılarının toplam direnci ve ısı iletkenlik katsayıları Eşitlik 6-2 ve 6-3 kullanılarak hesaplanmış ve Çizelge EK-9 5'de verilmiştir.

Çizelge EK-9 5 Kapı ısı iletkenlik katsayısı hesabı

Yapı adı	Malzeme adı	Kalınlık (mm)	Isıl İletkenlik, W/m-K	Termal Direnç, R _i (m ² K/W)	Isı geçirgenlik katsayısı, U, (W/m ² K)
Kapı	Ahşap	25	0,19	0,131	7,6

- **Zemin Isı İletkenlik Katsayısı Hesaplamaları**

Konutta toprak ile temas eden zemin ESP-r'da "Zemin" olarak tanımlanmıştır ve bu yapıların özellikleri Şekil EK-9 6'da gösterilmiştir.



Şekil EK-9 6 "Zemin" olarak tanımlanan toprağa temas eden zeminin yapısı

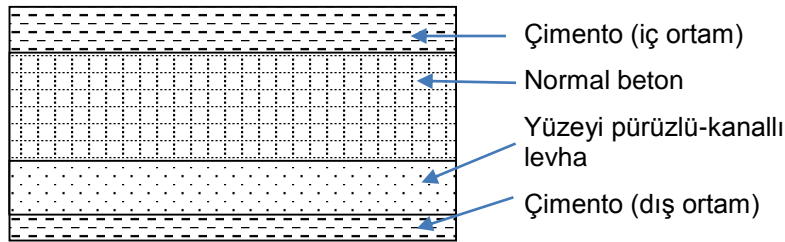
Konutun zemininin gösterildiği Şekil EK-9 6'daki yapının toplam direnci ve ısı iletkenlik katsayıları Eşitlik 6-2 ve 6-3 kullanılarak hesaplanmış ve Çizelge EK-9 6'da verilmiştir.

Çizelge EK-9 6 Toprağa temas eden zemin ısı iletkenlik katsayısı hesabı

Yapı adı	Malzeme adı	Kalınlık (mm)	Isıl İletkenlik, W/m-K	Termal Direnç, R _i (m ² K/W)	Isı geçirgenlik katsayısı, U, (W/m ² K)
Zemin	Normal beton (TS 500)	150	2,10	0,071	0,365
	Kristal yapılı püskürük ve metamorfik taşlar	100	2,90	0,034	
	Cam tülü armatürlü polimer bitümlü membran	2	0,19	0,010	
	Polistren-partiküler köpük	100	0,04	2,500	
	Polimer bitümlü su yalıtım örtüleri	2	0,19	0,010	
	Çimento	150	1,40	0,107	
	Toplam			2,733	

• **Isıtılmayan Ortam Tavanı Isı İletkenlik Katsayısı Hesaplamaları**

Konutta zemin katta bulunan ve ısıtılmayan odaların tavanı diğer odaların tavanından farklı olarak tasarlanmıştır. Isıtılmayan odaların tavanı ESP-r'da "Isıtılmayan ortam tavanı" olarak tanımlanmıştır ve bu yapıların özellikleri Şekil EK-9 7'de gösterilmiştir.



Şekil EK-9 7 "Isıtılmayan ortam tavanı" olarak tanımlanan ısıtılmayan odaların tavanının yapısı

Konutun zemininin gösterildiği Şekil EK-9 7'deki yapının toplam direnci ve ısı iletkenlik katsayıları Eşitlik 6-2 ve 6-3 kullanılarak hesaplanmış ve Çizelge EK-9 7'de verilmiştir.

Çizelge EK-9 7 Isıtılmayan ortam tavanı ısı iletkenlik katsayısı hesabı

Yapı adı	Malzeme adı	Kalınlık (mm)	Isıl iletkenlik, W/m-K	Termal Direnç, R _i (m ² K/W)	Isı geçirgenlik katsayısı, U, (W/m ² K)
Isıtılmayan ortam tavanı	Çimento Harcı	30	1,40	0,021	0,536
	Yüzeyi Pürüzlü ve kanallı levha	50	0,03	1,666	
	Normal beton (TS 500)	150	2,10	0,142	
	Normal beton (TS 500)	150			
	Çimento	50	1,40	0,035	
	Toplam			1,865	

EK-10
EKONOMİK ANALİZ

Senaryoların ekonomik analizi sırasında elde edilen NNA değerlerinin değişimi bu kısımda verilmiştir. Çizelge EK-10 1’de yapısal iyileştirme senaryolarında, izelge EK-10 2’de FVP senaryosunda, izelge EK-10 3’de GESIS senaryosunda, izelge EK-10 4’de ise TKIP senaryosunda NNA ve NBD’in yıllara göre değişimi görülmektedir.

Çizelge EK-10 1 Yapısal iyileştirme senaryolarında NNA ve NBD değişimi

İLK 10 YIL												
YILLAR		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Pencere Camı Tipi	S.1-a	NNA, TL	663	704	746	784						
		NNA Etkisi, TL	622	621	618	610						
		NBD, TL	191	621	1.239	1.848						
	S.1-b	NNA, TL	813	864	916	962	1.014	1.065	1.116	1.163	1.214	
		NNA Etkisi, TL	764	762	758	748	740	730	718	703	689	
		NBD, TL	-2.682	-1.920	-1.162	-414	326	1.056	1.774	2.477	3.166	
Yalıtım	S.2-a	NNA, TL	60	64	68	71	75	79	83	86	90	94
		Nakit Akışının Etkisi, TL	57	56	56	55	55	54	53	52	51	50
		NBD, TL	-1.338	-1.282	-1.225	-1.170	-1.115	-1.061	-1.008	-956	-905	-855
	S.2-b	NNA, TL	120	128	136	143	150	158	165	172	180	187
		Nakit Akışının Etkisi, TL	113	113	112	111	110	108	106	104	102	100
		NBD, TL	-6.713	-6.600	-6.488	-6.377	-6.267	-6.159	-6.053	-5.949	-5.847	-5.747
	S.2-c	NNA, TL	151	160	170	178	188	197	207	215	225	234
		Nakit Akışının Etkisi, TL	141	141	140	139	137	135	133	130	128	125
		NBD, TL	-8.648	-8.507	-8.367	-8.228	-8.091	-7.956	-7.823	-7.693	-7.565	-7.441
	S.2-d	NNA, TL	1.536	1.633	1.729	1.818	1.915	2.011	2.108	2.197	2.293	2.390
		Nakit Akışının Etkisi, TL	1.442	1.439	1.432	1.413	1.398	1.378	1.357	1.327	1.301	1.273
		NBD, TL	-4.486	-3.046	-1.615	-201	1.196	2.575	3.931	5.258	6.560	7.833
Cam+Yalıtım	S.3	NNA, TL	2.530	2.689	2.848	2.994	3.154	3.313	3.472	3.618	3.777	3.937
		Nakit Akışının Etkisi, TL	2.375	2.371	2.358	2.328	2.302	2.270	2.234	2.186	2.143	2.097
		NBD, TL	-15.788	-13.417	-11.059	-8.731	-6.429	-4.159	-1.925	262	2.405	4.502
İKİNCİ 10 YIL												
YILLAR		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
Pencere Camı Tipi	S.1-a	NNA, TL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		NNA Etkisi, TL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		NBD, TL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	S.1-b	NNA, TL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		NNA Etkisi, TL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		NBD, TL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Yalıtım	S.2-a	NNA, TL	98	101	105	109	112	116	0	0	0	
		Nakit Akışının Etkisi, TL	49	48	46	45	44	42	0	0	0	
		NBD, TL	-806	-759	-712	-667	-624	-581	-540	-501	-462	-425
	S.2-b	NNA, TL	195	203	210	217	225	232	239	247	254	262
		Nakit Akışının Etkisi, TL	98	95	92	90	87	85	82	79	77	74
		NBD, TL	-5.649	-5.554	-5.462	-5.372	-5.284	-5.200	-5.118	-5.038	-4.961	-4.887
S.2-c	NNA, TL	244	253	262	271	281	290	299	309	318	327	
	Nakit Akışının Etkisi, TL	122	119	116	112	109	106	103	99	96	93	

	S.2-d	NBD, TL	-7.319	-7.200	-7.084	-6.972	-6.862	-6.756	-6.654	-6.555	-6.458	-6.366
		NNA, TL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		Nakit Akışının Etkisi, TL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		NBD, TL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cam+Yalıtım	S.3	NNA, TL	4.096	4.255	4.401	4.560	4.720	0	0	0	0	0
		Nakit Akışının Etkisi, TL	2.049	1.999	1.941	1.888	1.835	0	0	0	0	0
		NBD, TL	6.551	8.549	10.490	12.379	14.214	0	0	0	0	0

Çizelge EK-10 2 Fotovoltaik panel NNA ve NBD değişimi

İLK 13 YIL													
Yıllar	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
NNA, TL	2.634	2.756	2.915	3.058	3.215	3.369	3.522	3.659	3.809	3.957	4.104	4.249	4.379
Nakit Akışının Etkisi, TL	2.473	2.429	2.413	2.377	2.346	2.309	2.267	2.211	2.161	2.108	2.053	1.996	1.931
NBD, TL	-46.471	-44.042	-41.629	-39.251	-36.905	-34.596	-32.329	-30.118	-27.957	-25.849	-23.796	-21.800	-19.869
İKİNCİ 13 YIL													
Yıllar	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
NNA, TL	4.521	4.661	4.800	4.924	5.060	5.194	5.327	5.458	5.588	5.714	5.839	5.962	6.083
Nakit Akışının Etkisi, TL	1.872	1.812	1.753	1.688	1.629	1.570	1.512	1.454	1.398	1.343	1.288	1.235	1.183
NBD, TL	-17.997	-16.185	-14.432	-12.744	-11.115	-9.545	-8.034	-6.579	-5.181	-3.838	-2.550	-1.315	-132

Çizelge EK-10 3 GESİS NNA ve NBD değişimi

Yıllar	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
NNA, TL	1.485	1.582	1.678	1.767	1.863	1.960	2.057	2.145	2.242	2.338
Nakit Akışının Etkisi, TL	1.394	1.394	1.389	1.373	1.360	1.343	1.323	1.296	1.272	1.246
NBD, TL	-8.606	-7.211	-5.822	-4.449	-3.089	-1.746	-422	874	2146	3392

Çizelge EK-10 4 TKIP NNA ve NBD değişimi

İLK 14 YIL														
Yıllar	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Nakit Akışı, TL	433	515	526	535	546	557	567	577	587	598	608	619	629	639
Nakit Akışının Etkisi, TL	406	454	435	416	399	381	365	348	333	318	304	291	277	265
NBD, TL	-43.803	-43.348	-42.913	-42.497	-42.098	-41.717	-41.352	-41.003	-40.670	-40.352	-40.047	-39.757	-39.479	-39.215
İKİNCİ 14 YIL														
Yıllar	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
Nakit Akışı, TL	650	660	670	680	691	701	712	722	730	736	742	748	754	760
Nakit Akışının Etkisi, TL	253	241	230	219	209	199	190	181	172	162	154	145	138	130
NBD, TL	-38.962	-38.721	-38.492	-38.273	-38.064	-37.865	-37.675	-37.494	-37.323	-37.160	-37.007	-36.861	-36.724	-36.593

ÖZGEÇMİŞ

Kimlik Bilgileri

Adı Soyadı: Gül Nihal Güğül

Doğum Yeri: Anamur/İÇEL

Medeni Hali: Bekar

E-posta: gugul@hacettepe.edu.tr

Adresi: Çevre ve Şehircilik Bak., TKGM, Dikmen Cad. Çankaya/Ankara

Eğitim

Lise: Konya Meram Gazi Lisesi

Lisans: Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği

Yüksek Lisans: Gazi Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği

Doktora: Hacettepe Üniversitesi, Çevre Mühendisliği

Yabancı Dil ve Düzeyi

İngilizce, İyi seviyede

İş Deneyimi

Çevre ve Şehircilik Bak., TKGM, Bilgi İşlem Merkezi

Deneyim Alanları

Veri tabanı yönetimi, anti virüs yazılımları, bina enerji simülasyonları

Tezden Üretilmiş Projeler ve Bütçesi

-

Tezden Üretilmiş Yayınlar

-

Tezden Üretilmiş Tebliğ ve/veya Poster Sunumu ile Katıldığı Toplantılar

-