

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**FARKLI BİNA FORMLARINDA GÜNEŞ PİLİ UYGULAMALARININ
ENERJİ VE MALİYET ETKİNLİĞİ AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Hatice Merve YANARDAĞ**

Mimarlık Anabilim Dalı

Çevre Kontrolü ve Yapı Teknolojisi Programı

MAYIS 2015

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**FARKLI BİNA FORMLARINDA GÜNEŞ PİLİ UYGULAMALARININ ENERJİ VE
MALİYET ETKİNLİĞİ AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Hatice Merve YANARDAĞ
(502121522)**

Mimarlık Anabilim Dalı

Çevre Kontrolü ve Yapı Teknolojisi Programı

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Gülten MANİOĞLU

MAYIS 2015

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 502121522 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Hatice Merve YANARDAG**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**FARKLI BİNA FORMLARINDA GÜNEŞ PİLİ UYGULAMALARININ ENERJİ VE MALİYET ETKİNLİĞİ AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ** ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Yrd. Doc. Dr. Gülten MANİOĞLU**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Alpin KOKNEL YENER**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Gülay ZORER GEDİK
Yıldız Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : **04 Mayıs 2015**
Savunma Tarihi : **29 Mayıs 2015**

ÖNSÖZ

Çalışma dönemim boyunca ilgisini, sabrını ve desteğini hiçbir zaman esirgemeyen değerli hocam Yrd. Doc. Dr. Gulden Manioğlu'na sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca yaşamım boyunca benim için hiçbir fedakarlıktan kaçınmayan anneme, mücadelenin evde başladığını öğreten babama, birtanecik kardeşime, manevi destekleriyle hep yanımda olan anne yarısı halalarım ve küçük yaşlarımdan beri eğitimimle bizzat ilgilenen rahmetli dedeme teşekkürü bir borç bilirim.

Mayıs 2015

Hatice Merve Yanardag
(Mimar)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

SUMMARY	xix
1. GİRİŞ	1
1.1. Güneş enerjisinin Alternatif Enerji Kaynağı Olarak Kullanılması	3
1.2. Güneş enerjisinin Binalarda Kullanımı	4
1.2.1 Pasif Güneş Sistemleri.....	4
1.2.2. Aktif Güneş Sistemleri.....	5
2.GÜNEŞ PİLİ (FOTOVOLTAİK) SİSTEMLERİ.....	7
2.1. Güneş Pili Hücresi, Modülü ve Paneli	8
2.1.1. Güneş Pili Bileşenleri.....	9
2.1.2. Dönüştürücüler (Invertörler)	11
2.1.3. Aküler.....	12
2.1.4. Şarj denetim birimleri	12
2.1.5. Diğer sistem bileşenleri.....	13
2.2. Güneş Pili Sistemlerinin Sınıflandırılması	13
2.2.1. Malzeme Özelliklerine Gore	15
2.2.1.1. Kristal silisyum güneş pili hücreler	15
2.2.1.2. İnce film Güneş Pilleri	17
2.2.1.3. Hibrit silikon güneş pilleri (HIT)	18
2.2.2. Bağlantı Tiplerine Gore	19
2.2.2.1. Seri bağlama.....	19
2.2.2.2. Paralel bağlama	20
2.2.3. Kullanım Tiplerine Gore	21
2.2.3.1. Şebekeden bağımsız sistemler	21
2.2.3.2. Şebekeye bağlı sistemler	22
2.2.3.3. Karma (hibrit) sistemler	23
2.2.3. Yapısal Özelliklerine Gore.....	24
2.2.4. Saydamlık Özelliklerine Gore.....	24
2.3. Binalarda Güneş Pili Uygulamalarında Enerji Yüklerini ve Maliyeti Etkileyen Güneş Pillerine İlişkin Etkenler	24
2.3.1. Hücre ve Modül Türlerine Bağlı Koşullar	25
2.3.2 Akülere bağlı durumlar	26
2.3.3 Dönüştürücülere bağlı koşullar	27
2.3.4 Yüzey alanı	27
2.3.5 Panel açısı	28
2.3.6 Güneş Pillerinin Gölgelemesi	28
2.3.7 Güneş Pillerinin Performansının Uzun Vadede Değişimi	29
3. FARKLI BİNA FORMLARINDA, GÜNEŞ PİLİ UYGULAMALARININ ENERJİ VE MALİYET ETKİNLİĞİ AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİNDE KULLANILACAK BİR YAKLAŞIM.....	31
3.1. Dış Çevreye Ait İklim Verilerinin Toplanması.....	32

3.1.1. Güneş ışıınımı.....	32
3.1.2. Dış Hava Hareketi	34
3.1.3. Dış Hava Sıcaklığı.....	34
3.1.4. Nem	35
3.2. İç çevreye ait iklim verisinin Toplanması.....	35
3.3. Farklı Bina Formlarında Güneş Pili Uygulamalarının Enerji ve Maliyet Etkinlik Açısından Değerlendirilmesinde Etkili Olan Binaya İlişkin Yapma Çevre Değişkenlerinin Belirlenmesi	35
3.3.1. Binanın Yerinin ve Diğer Binalara Gore Konumunun Belirlenmesi	36
3.3.2. Bina Formu Alternatiflerinin ve Binaların Yönlendiriliş Durumunun Belirlenmesi	37
3.3.3. Binanın Fonksiyonuna Bağlı Olarak Binaya İlişkin Kullanım Suresinin Belirlenmesi	38
3.3.4. Bina Kabuğunun Optik ve Termofiziksel Özelliklerinin Belirlenmesi....	39
3.4. Farklı Bina Formlarında Gerçeklesen Yıllık Toplam Enerji (Isıtma, Soğutma ve Aydınlatma) Yüklerinin Hesaplanması	42
3.5. Binada Güneş Pili Uygulamasına İlişkin Değişkenlerin Belirlenmesi.....	42
3.5.1 Güneş Pili Bina Kabuğuna Uygulanmasına İlişkin Seçeneklerin Belirlenmesi	43
3.5.2 Güneş Pili Tiplerinin Belirlenmesi.....	43
3.5.4. Farklı Bina Formları İçin Bina Kabuğuna Uygulanan Güneş Pillerinin Enerji Etkinliğinin Değerlendirilmesi	44
3.6. Farklı Bina Formları İçin En Yüksek Kazancın Elde Edildiği Seçeneğin Ekonomik Açından Değerlendirilmesi	44
3.6.1. Güneş Pili Uygulamalarında Ekonomik Açından Değerlendirmenin Yapılabilmesi İçin Yöntem Seçilmesi.....	45
3.6.2. Seçilen Yöntemin Uygulanması İçin Gerekli Verilerin ve Varsayımların Hazırlanması.....	46
3.6.2.1. Güneş Pili Kurulumu İlk Yatırım Maliyetlerinin Hazırlanması.....	46
3.6.2.2. Bakım Onarım, Temizlik Maliyetlerinin Hazırlanması	46
3.6.2.3. Yenileme Maliyetlerinin Hazırlanması	46
3.6.2.4. İşletme Maliyetlerinin Hazırlanması	46
3.6.2.5. Yok Etme Maliyetlerinin Hazırlanması	47
3.6.2.6. Hurda Değerinin Belirlenmesi	47
3.6.2.7. Ekonomik Değerlendirmenin Yapılacağı Surenin Belirlenmesi.....	47
3.6.2.8. İndirgeme Oranlarının Belirlenmesi.....	47
3.6.3. Farklı Bina Formlarındaki Güneş Pili Uygulaması Seçeneklerinin Yaşam Dönemi Maliyetlerinin Hesaplanması ve Karşılaştırılması	47
3.6.4. Yaşam Dönemi Maliyeti Açısından En Uygun Bina Formu ve Güneş Pili Uygulama Seçeneğinin Belirlenmesi	48
4. ÖNERİLEN YAKLAŞIMIN FARKLI BİNA FORMLARI İÇİN UYGULANMASI	49
4.1. Dış Çevreye Ait İklim Verilerinin Toplanması.....	49
4.2. İç Çevreye Ait İklim Verilerinin Toplanması	49
4.3. Farklı Bina Formlarında Güneş Pili Uygulamalarının Enerji ve Maliyet Etkinlik Açısından Değerlendirilmesinde Etkili Olan Binaya İlişkin Yapma Çevre Değişkenlerinin Belirlenmesi	50
4.3.2. Bina Formu Alternatiflerinin ve Binaların Yönlendiriliş Durumunun Belirlenmesi	50

4.3.3. Binanın Fonksiyonuna Bağlı Olarak Binaya İlişkin Kullanım Suresinin Belirlenmesi	51
4.3.4. Bina Kabuğunun Optik ve Termofiziksel Özelliklerinin Belirlenmesi ...	51
4.4. Farklı Bina Formlarında Gerçeklesen Yıllık Toplam Enerji (Isıtma, Soğutma ve Aydınlatma) Yüklerinin Hesaplanması	53
4.5. Binada Güneş Pili Uygulamasına İlişkin Değişkenlerin Belirlenmesi.....	55
4.5.1 Güneş Pili'nin Bina Kabuğuna Uygulanmasına İlişkin Seçeneklerin Belirlenmesi	55
4.5. Güneş Pili Tiplerinin Belirlenmesi	58
4.5.3. Bina Kabuğuna Uygulanan Güneş Pillerinden Elde Edilecek Enerji Miktarının Hesaplanması	58
4.5.4. Bina Kabuğuna Uygulanan Güneş Pillerinin Enerji Etkinliğinin Değerlendirilmesi.....	65
4.6. Farklı Bina Formları İçin En Yüksek Kazancın Elde Edildiği Seçeneğin Ekonomik Açıdan Değerlendirilmesi.....	67
4.6.1. Güneş Pili Uygulamalarında Ekonomik Açıdan Değerlendirmenin Yapılabilmesi İçin Yöntem Seçilmesi.....	68
4.6.2. Seçilen Yöntemin Uygulanması İçin Gerekli Verilerin ve Varsayımların Hazırlanması	69
4.6.2.1. Güneş Pili Kurulumu İlk Yatırım Maliyetlerinin Hazırlanması	69
4.6.2.2. Bakım Onarım, Temizlik Maliyetlerinin Hazırlanması	70
4.6.2.3. Yenileme Maliyetlerinin Hazırlanması	70
4.6.2.4. İşletme Maliyetlerinin Hazırlanması.....	71
4.6.2.5. Yok Etme Maliyetlerinin Hazırlanması	71
4.6.2.6. Hurda Değerinin Belirlenmesi	71
4.6.2.7. Ekonomik Değerlendirmenin Yapılacağı Surenin Belirlenmesi.....	71
4.6.2.8. İndirgeme Oranlarının Belirlenmesi	72
4.6.3. Farklı Bina Formlarındaki Güneş Pili Uygulaması Seçeneklerinin Yaşam Dönemi Maliyetlerinin Hesaplanması ve Karşılaştırılması	72
4.6.4. Yaşam Dönemi Maliyeti Açısından En Uygun Bina Formu ve Güneş Pili Uygulama Seçeneğinin Belirlenmesi	73
4. SONUÇ.....	75
KAYNAKLAR	79

KISALTMALAR

TSE	: Turk Standartlari Enstitusu
EPDK	: Enerji Piyasasi Duzenleme Kurumu
mono-si	: Mono Kristal Silisyum
poli-si	: Poli Kristal Silisyum
a-si	: Amorf Silisyum
kWh	: kilo watt saat
kWp	: kilo watt peak

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1	Gunes Pili Modul Tiplerinin Verimlilikleri ve Gerekli Alan Miktarları	18
Çizelge 3.1	Havalandırma Durumlarına Gore Çatı ve Cephelerdeki Verim Kayıpları ve Sıcaklıkları.....	35
Çizelge 4.1	Bina Formları ve Yönlendiriliş Durumları	50
Çizelge 4.2	Bina Kabuğu Katmanlaşma Detayları	52
Çizelge 4.3	Gunes Pilleri İlk Yatırım Maliyet Kalemlerinin Oranları [48]	69

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1. 1	Tahmin edilen rezervlerdeki potansiyel enerji miktarının tamamı (TeraWatt).....	2
Şekil 1. 2	Alternatif enerji kaynaklarıyla elde edilecek yıllık potansiyel enerji miktarı (TeraWatt)	2
Şekil 1. 3	Türkiye’deki Güneş Isınımı Dağılım Miktarları.....	3
Şekil 2. 1	Güneş Pillerinin modul, panel ve dizilere dönüşüm şeması [14]	9
Şekil 2. 2	Güneş Pili Modülü.....	10
Şekil 2. 3	Güneş Pili	10
Şekil 2. 4	Merkezi Donusturucu [17].....	11
Şekil 2. 5	Mikro Donusturucu [18]	11
Şekil 2. 6	Aku Şarj Denetim Birimi [19]	12
Şekil 2. 7	Aku Şarj Denetim Birimi [19]	13
Şekil 2. 8	Güneş Pillerinin Farklı Özelliklerine Göre Sınıflandırılması	14
Şekil 2. 9	Tek Kristal Yapıdaki Güneş Pilleri [21].....	16
Şekil 2. 10	Çok Kristal Yapıdaki Güneş Pilleri [21]	17
Şekil 2. 11	İnce Film Yapıdaki Güneş Pilleri [23]	17
Şekil 2. 12	Güneş Pillerinin Seri Bağlanması [25]	19
Şekil 2. 13	Güneş Pillerinin Paralel Bağlanması [25].....	20
Şekil 2. 14	Şebekeden bağımsız güneş pilleri sistemlerinde çalışma şeması [27]....	21
Şekil 2. 15	Şebekeye bağlı sistemlerde çalışma şeması.....	23
Şekil 3. 1	Güneş Açılarının Görünümü [23].....	33
Şekil 4. 1	Farklı Bina Formlarında Düz Çatı İçin Yıllık Toplam Enerji Yükleri	53
Şekil 4. 2	Farklı Bina Formlarında Kırmızı Çatı İçin Yıllık Toplam Enerji Yükleri	54
Şekil 4. 3	Farklı Bina Formlarında Beşik Çatı İçin Yıllık Toplam Enerji Yükleri..	54
Şekil 4. 4	Güneş Pili Uygulamasına İlişkin Oluşturulan Çatı ve Cephe Seçenekleri Kombinasyonları	57
Şekil 4. 5	Farklı Bina Formları ve Düz Çatı Tipleri Uygulandığında, Güneş Pilleri Yardımıyla Elde Edilen Enerji Kazançları.....	59
Şekil 4. 6	Farklı Bina Formları ve Kırmızı Çatı Tipi Uygulandığında, Güneş Pilleri Yardımıyla Elde Edilen Enerji Kazançları	60
Şekil 4. 7	Farklı Bina Formları ve Beşik Çatı Tipi Uygulandığında, Güneş Pilleri Yardımıyla Elde Edilen Enerji Kazançları.....	61
Şekil 4. 8	Düz Çatı İçin Farklı Bina Formlarında Güneş Pili Uygulaması ile Elde Edilen Enerji Kazançları	62
Şekil 4. 9	Kırmızı Çatı için Farklı Bina Formlarında Güneş Pili Uygulaması ile Elde Edilen Kazançları	62
Şekil 4. 10	Beşik Çatı için Farklı Bina Formlarında Güneş Pili Uygulaması ile Elde Edilen Enerji Kazançları	63
Şekil 4. 11	Bina Formu 1- Bina Formu 2’de Güneş Pili Uygulamasıyla Elde Edilecek	

	Enerji Kazancının, Binaya ait Yıllık Toplam Enerji Yüklerine Oranı ..	65
Şekil 4. 12	Bina Formu 3- Bina Formu 4’de Güneş Pili Uygulamasıyla Elde Edilecek Enerji Kazancının, Binaya ait Yıllık Toplam Enerji Yüklerine Oranı	66
Şekil 4. 13	Bina Formu 5- Bina Formu 6’de Güneş Pili Uygulamasıyla Elde Edilecek Enerji Kazancının, Binaya ait Yıllık Toplam Enerji Yüklerine Oranı	66
Şekil 4. 14	Bina Formu 7’de Güneş Pili Uygulamasıyla Elde Edilecek Enerji Kazancının, Binaya ait Yıllık Toplam Enerji Yüklerine Oranı	67
Şekil 4. 15	Ç1C2 Kombinasyonu İçin Farklı Bina Formlarında Gerçekleşen Yıllık Toplam Enerji Yükleri, Güneş Pili ile Elde Edilen Enerji Kazançları ve Yaşam Dönemi Maliyeti	72

FARKLI BİNA FORMLARINDA GÜNEŞ PİLİ UYGULAMALARININ ENERJİ VE MALİYET ETKİNLİĞİ AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

ÖZET

Bu tez çalışmasında farklı bina formlarında güneş pili uygulamalarının enerji ve maliyet etkinliği değerlendirilerek, güneş pili uygulamalarındaki en etkin bina formunun ve güneş pili uygulama seçeneğinin tanımlanmasına yönelik bir yaklaşım geliştirilmiştir.

Çalışma beş bölümden oluşmaktadır.

Birinci bölümde, alternatif enerji kaynaklarından güneş enerjisinin önemi ve güneş enerjisi sistemlerinin aktif ve pasif sistemler olarak binalarda kullanılması açıklanmıştır.

İkinci bölümde, aktif güneş enerjisi sistemlerinden binalarda kullanılabilen bir sistem olan güneş pilleri tanıtılarak, güneş pili bileşenleri açıklanmıştır. Güneş pili sistemleri farklı özelliklerine göre sınıflandırılmıştır.

Üçüncü bölümde, farklı bina formlarında güneş pili uygulamalarının enerji ve maliyet etkinliği açısından değerlendirilmesine yönelik bir yaklaşım binalarda güneş pili uygulamalarında enerji harcamalarını ve maliyeti etkileyen değişkenler anlatılarak tanıtılmaktadır.

Dördüncü bölümde, farklı bina formlarında iklimsel konfor ve enerji korunumunu sağlamak amacıyla güneş pili uygulamalarının enerji ve maliyet etkinliği açısından performanslarının değerlendirilmesini hedefleyen yaklaşımın uygulaması yapılmıştır. Aynı hacim ve aynı bina yüzey alanına sahip 7 farklı bina formu için, düz çatı, kırma çatı ve beşik çatı önerildiğinde, çatı ve/veya cephelerde güneş pili uygulamaları gerçekleştirilmiştir. Binaların yıllık toplam enerji (ısıtma+sogutma+aydınlatma) yükleri, farklı güneş pili uygulaması kombinasyonları ile elde edilen kazançlar hesaplanarak karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Güneş pilinin uygulandığı çatı tipi, açısı, yönü ve alanı gibi değişkenlerin güneş pili ile elde edilen enerji kazançları üzerindeki etkisi tartışılmıştır. En yüksek kazancın elde edildiği güneş pili uygulama seçeneği maliyet etkinliği yönünden değerlendirilmiştir.

Beşinci bölümde sonuç ve öneriler yer almaktadır.

EVALUATION OF ENERGY AND COST PERFORMANCE OF PV SYSTEMS ON DIFFERENT BUILDING FORMS

SUMMARY

In Turkey, more than half of the energy requirement is met by imports because of limited national energy resources. A considerable portion of total energy is consumed in the residential sector, especially for heating, cooling and lighting of buildings. Therefore; increasing energy efficiency in buildings becomes crucial in order to reduce total energy consumption. An energy efficient building would ideally rely on alternative energies as its main source to meet its heating, cooling and lighting needs. An optimized passive design integrated alternative energy systems can greatly reduce the energy consumption in buildings. One way to increase energy savings is to reduce the consumption of fossil fuels and to use alternative energy resources which are clean, cheap and unlimited.

Photovoltaics (PV) panels are one of the energy efficient systems which use solar energy to provide necessary electrical energy for heating, cooling and lighting in buildings. Rooftop installation is the most common mode of PV application in buildings, but not the only one possible. Installation in South, East and West façades is also possible. Building facade area and orientation are the main determinants of the PV panels efficiency. Therefore, building form which determines the facade area of the building is one of the most important design parameters affecting electricity generation by PV panels. It is possible to design a lot of building forms that yield the same volume, but different facade area. Therefore, the ratio of total facade area to building volume (A/V) is an indicator in describing the building form.

The aim of this study is to develop an approach to determine the most efficient Building Attached Photovoltaic Panel (BAPV) application on different building forms by evaluating energy and cost performance. The study consists of 5 chapters.

In the first chapter, the potential of energy sources are compared and the importance of solar energy, which is one of the most important alternative energy sources, is emphasized. Passive and active solar systems applied on buildings are explained with their basic specifications.

In the second chapter, Building Attached Photovoltaic Panel systems which can be applied as an active solar systems on buildings are discussed. The basic working principles of photovoltaic systems are explained and the components of the building attached photovoltaic systems (such as solar cells, module, panel, inverter, battery, charge control units and other components) are defined. The classification of PV systems is described. Building Attached Photovoltaic Panel systems are classified according to their material types (polycrystal silicon, monocrystal silicon, thin film, amorphous silicon etc.) connection types (serial, parallel), grid connection types (on-grid, off-grid, hybrid), structural characteristics and transparency characteristics. PV related factors which influence the energy loads and costs, are analyzed. These factors are classified as follows:

- Conditions related to cells and modules types
- Battery efficiency
- Inverters efficiency
- Surface area
- Angle of incidence
- Shading
- The variation of PV panel performance in long term period

In the third chapter, a new approach aimed to evaluate BAPV systems on different building forms from the energy efficiency and cost effectiveness point of view is introduced. This method consists of the following steps:

- Determination of the regional climatic data (solar radiation, outdoor temperature, outdoor air movement, outdoor humidity)
- Determination of the internal climatic data (indoor temperature, indoor surface temperature, indoor air movement, indoor humidity)
- Determination of design variables affecting the evaluation of energy and cost effectiveness of BAPV for different building forms. These variables are;
 - site and the location of the building according to the other building,
 - building form alternatives and the orientation of the building,
 - using period of the building according to the function of the building
 - optical and thermophysical properties of building envelope (the absorptivity of the building envelope, the transparency ratio, the value of the required overall heat transfer coefficient of opaque component, the detail of opaque component which satisfied the required overall heat transfer coefficient).
- Calculation of annual total energy (heating, cooling and lighting) loads for different building forms.
- Determination of variables related to PV system application. These variables are;
 - PV system application alternatives
 - PV system types

-evaluation of energy efficiency of PV systems applied on the building envelope of different building forms.

- Economic evaluation of high performed alternative for different building forms. The steps for the economic evaluation are as follows:

- Determination of an economic evaluation technique for PV system application

- Preparation of necessary datum and hypothesis to apply the chosen evaluation technique (Preparation of the initial capital cost of PV systems, preparation of the maintenance and repair cost, preparation of the management cost, preparation of disposal cost and salvage value, determination of the study period and determination of the escalation and discount rate).

- Calculation and comparison of PV system alternatives' Life Cycle Cost for different building forms

- Determination of the most convenient building form and PV system application alternative with respect to their life cycle costs

The fourth chapter consists of the application of the method introduced in the third chapter to residential buildings in different regions of Istanbul. The method is applied for 7 different building forms with the same A/V ratio. Each building form is evaluated with flat roof, gable roof and pitched roof. Buildings were assumed to be oriented toward the main directions (S, E, W, N). and located on a flat parcel of land devoid of incline, and not shaded by other buildings. The indoor air temperature in all spaces of the building was assumed to be equivalent and calculations were carried out by considering each building as a single zone. The thermal performance of the different building forms under the effect of different PV application systems are evaluated by calculating the annual heating, cooling and lighting loads by using the simulation program “ Design Builder” that is the user friendly visual interface of Energy Plus. Climatic data has been taken from, IWECC (International Weather for Energy Calculations) weather data in the Design Builder. Results of the application are compared by means of graphic systems.

In the fifth chapter, results of the present study were explained.

1. GİRİŞ

Günümüzde hızla tükenmekte olan fosil yakıt kaynakları çevreye zarar vermekte ve CO₂ gibi sera gazlarının emisyon değerlerinin yükselmesine ve atmosferin daha çok ısınmasına sebep olmaktadır.

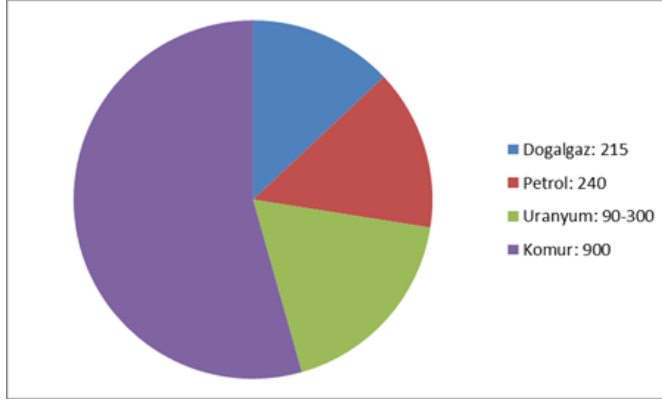
Dünya, bilinen fosil yakıt kaynaklarının % 0,1 kadarını bile kullanıyor olsa, hesaplar sonucu elde edilen tüketim miktarları ile karşılaştırıldığında, bilinen tüm kaynakların 100 yıldan daha az sürede tükenmesi beklenmektedir. [1]

Bu nedenle günümüzde kullanılan fosil yakıtları enerji kaynağı olarak kullanmaktansa, yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanmaya çalışmak, gelecek nesillere ekolojik dengesi korunmuş bir dünya bırakmak adına önemlidir.

1950’li yıllara kadar enerji üretiminde etkin bir role sahip olan kömür, 1950’lerden sonra yerini petrole bırakmıştır. Petrol fiyatları 1950-1970 yılları arasında pek fazla değişmezken, 1970 li yıllarda çıkan enerji krizi sebebiyle ani bir artış göstermiştir. Yükselen fiyatı petrolün güvenilemez bir enerji kaynağı olduğunu göstermiş ve insanları yenilenebilir ve tükenmeyecek olan alternatif enerji kaynaklarına yönlendirmiştir. [1]

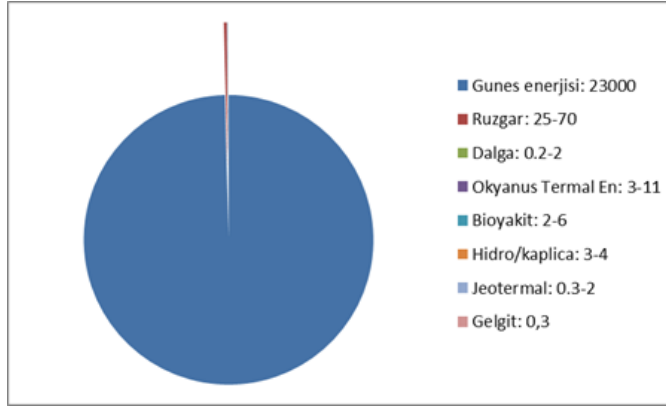
Su, güneş, rüzgâr, jeotermal, biokütle gibi kaynaklar yenilenebilir enerji kaynaklarındandır.

Dünyada nükleer yakıtlar dışında bütün yakıtların ana kaynağı güneştir. Bu yüzden diğer enerji kaynaklarına göre daha farklı bir öneme sahiptir. [1] Güneş enerjisi diğer enerji kaynaklarına oranla en yüksek potansiyele sahip enerjidir. Şekil 1.1 ve Şekil 1.2’de dünyadaki tüm enerji kaynaklarının yıllık enerji üretim potansiyelleri karşılaştırılmaktadır.



Şekil 1. 1 Tahmin edilen rezervlerdeki potansiyel enerji miktarının tamamı (TeraWatt)

Şekil.1.1'deki tablo kalan fosil yakıtların rezervlerindeki tahmin edilen toplam miktarı göstermektedir. Toplam miktar 1600 terawatt civarlarındadır.



Şekil 1. 2 Alternatif enerji kaynaklarıyla elde edilecek yıllık potansiyel enerji miktarı (TeraWatt)

Şekil.1.2'deki tabloya göre yıllık güneşten elde edilebilecek potansiyel enerji miktarı 23000 terawatt iken diğer alternatif enerji miktarlarının potansiyeli toplamda 95 terawatt civarındadır. Bu da güneş enerjisinin diğer alternatif enerji kaynaklarından 328 kat fazla olduğunu göstermektedir.

Sekil.1.1 ve Sekil.1.2 deki tabloların değerlendirilmesi sonucu güneşten elde edilen yıllık enerji potansiyelinin (23000 terawatt) , toplamda rezervlerde bulunan fosil yakıt enerji potansiyelinden (1600 terawatt) yaklaşık 14 kat fazla olduğu görülmektedir. [2]

Bu yüzden alternatif enerji kaynaklarından güneş, çevresel olarak temiz bir enerji kaynağı olması ve sahip olduğu potansiyel sebebiyle en verimli alternatif enerji kaynağı olarak kabul edilebilir.

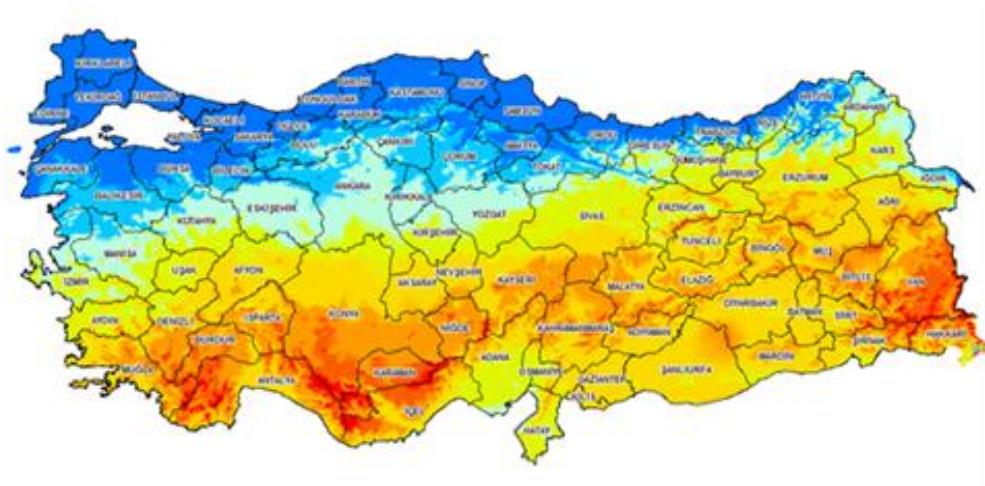
1.1. Güneş enerjisinin Alternatif Enerji Kaynağı Olarak Kullanılması

Güneşin enerji üretimi, içerisinde sürekli hidrojenin helyuma dönüştüğü füzyon reaksiyonları ile gerçekleşmektedir. Oluşan kütle farkı ısı enerjisine dönüşmekte, dönüşen enerji uzaya ve dünyaya yayılmaktadır. Güneşin oluşturduğu enerjinin çok küçük bir kısmı, kat ettiği yol miktarının fazlalığı ve yolda çeşitli gazlar tarafından yutulması sebebiyle atmosfere ulaşabilmektedir. [1]

Güneş enerjisi bahsedilen diğer enerji kaynakları arasında bina ölçeğinde kullanılabilen ve kullanımı en kolay enerji kaynağıdır. Çevreye zarar vermeyen, sonsuz bir enerji kaynağı olarak görülmektedir.

Ayrıca güneşten elde edilen enerji miktarı o kadar büyüktür ki; sadece bir saatte dünyaya güneşten ulaşan enerji miktarının insanoğlunun 1 senede tükettiği enerji miktarına eşit olduğu tahmin edilmektedir. [3]

Yapılan ölçümler göstermektedir ki, ülkemizin %63'ünde 10 ay, %17'sinde ise 1 yıl boyunca güneş enerjisinden faydalanmak mümkündür. Güneş enerjisinden ekonomik olarak yararlanabilmek için 'Güneş Kuşağı' da denilen 45 kuzey-güney enlemleri arasında yer almak gerekmektedir. Yapılan ölçümler, güneşlenme zamanı ve ısınım şiddeti açısından, ülkemizin yüksek bir potansiyele sahip olduğunu göstermektedir. . [4] . Şekil 1.3'de Türkiye'ye ait güneş atlası görülmektedir.



Şekil 1. 3. Türkiye'deki Güneş Işınımı Dağılım Miktarları [5]

Güneş enerjisinin özelliklerini aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- Güneş enerjisi temiz bir enerjidir. Gaz, duman, toz, karbon veya kükürt gibi zararlı maddeleri yoktur.
- Güneş, tüm dünya ülkelerinin faydalanabileceği hiçbir ülkenin tekelinde olmayan bir enerji kaynağıdır. Bu sayede ülkelerin enerji açısından bağımlılıkları ortadan kalkacaktır.
- Güneş enerjisi tesis ve bakım masrafı dışında kaynağa herhangi bir ücret ödemeyi gerektirmeyen devamlı olarak kullanılacak bir enerji türüdür.
- Güneşi az veya çok gören yerlerde verim farkı olmakla birlikte güneş enerjisinin en büyük özelliği hiçbir ulaştırma harcaması olmaksızın her yerde sağlanabilmesidir.
- Doğal afetler, ulaşım şebekelerinde doğabilecek bir dar boğaz, ülkelerin savunma stratejilerinde yapacakları değişiklikler gibi durumlar güneş enerjisinin sürekliliğini etkilemeyecektir.
- Güneş enerjisi hiçbir karmaşık teknoloji gerektirmemektedir. Hemen hemen bütün ülkeler, yerel sanayi kuruluşları sayesinde bu enerjiye kolaylıkla kavuşabilirler. . [6]

Belirtildiği gibi güneş enerjisi farklı disiplinlere katkı sağlayabileceği gibi binalarda da kullanılarak mimarlık alanında da alternatif enerji kaynağı olarak fayda sağlayabilir. Güneş enerjisinin binalarda kullanımı uzun süreli çalışmalar sonucunda geliştirilmiş, pek çok farklı sistem yardımıyla gerçekleştirilebilmektedir.

1.2. Güneş enerjisinin Binalarda Kullanımı

Güneş enerjisinden binalarda ısısal ve görsel konforu sağlamak amacıyla aktif ve pasif sistemler olarak yararlanılabilir.

1.2.1 Pasif Güneş Sistemleri

Pasif yöntemler güneş ve rüzgâr gibi doğal kaynakların mekânların ısıtılması, soğutulması ve aydınlatılması için kullanıldığı sistemlerdir. Pasif güneş sistemleri ilave bir enerji tüketimi olmaksızın binanın güneş enerjisinin toplanması, depolanması, dağıtılması ve kontrol edilmesi amacıyla tasarlanmasına yönelik konularını kapsamaktadır. [7]

Binanın enerji performansını etkileyen Pasif güneş sistemleri

- Binanın yeri,
- Binanın diğer binalara göre konumu,
- Binanın yönlendiriliş durumu ve hacim organizasyonu,
- Binanın formu,
- Binanın kabuğu,
- Güneş kontrolü ve
- Doğal havalandırma

Sistemleri, şeklinde ele alınabilir. [8]

1.2.2. Aktif Güneş Sistemleri

Bina kabuğu pasif ve aktif güneş sistemlerinde farklı sistem bileşenlerinin kullanımını gerektirmektedir. Pasif sistemlerde bina kabuğu, ısı geçişi ve ısı depolama özellikleri ile enerji korunumuna katkıda bulunabilir.

Aktif sistemlerde bina kabuğunda, otomatik kontrol ile pozisyonları değişebilen gölgeleme elemanları olabileceği gibi optik özellikleri güneş ışınımına göre değişebilen kaplamalı camlar da kullanılabilir. Güneş enerjisini kullanan aktif bina kabuğu sistemlerinden biri de güneş pilleridir. Güneş pilleri cephe kaplaması olarak kullanılabilecekleri gibi gölgeleme elemanı olarak da kullanılabilirler. [9]

Aktif güneş sistemleri teknik donanım yoluyla güneş enerjisinin kazanıldığı sistemlerdir. [7]

Bina cephesinde aktif güneş sistemlerinden faydalanmak için yapılabilecek yatırımlar binalara uzun vadede ekonomik olarak da katkı sağlamaktadır.

Güneş kolektörleri ve güneş pilleri güneş sistemlerinin kullanıldığı sistemlerdendir.

Güneş Kolektörleri: Bina ısıtma sistemi suyunun ya da kullanım suyunun ısıtılmasında kullanılmaktadırlar. Ülkemizde kullanım suyunun ısıtılması daha yaygın olarak görülmektedir. Türkiye'nin özellikle güney bölgelerinde kullanım suyunun neredeyse tamamı güneş kolektörleri ile ısıtılmakta ve kullanılmaktadır.

Güneş Pilleri: Güneş pilleri teknolojisi güneş ışıınımını doğrudan elektrik enerjisine dönüştürebilen bir teknolojidir. Modüllerden oluşan güneş pilleri birbirlerine elektriksel bir bağ ile bağlanarak elde edilir.

Bu çalışma kapsamında aktif güneş enerjisi sistemlerinden elektrik enerjisi üreten, güneş pili sistemleri daha detaylı olarak ele alınacaktır.

2.GÜNEŞ PİLİ (FOTOVOLTAİK) SİSTEMLERİ

Fotovoltaik sözcüğü Yunanca ışık anlamına gelen ‘photos’ ve elektriğin oncusu Alessandro Volta’dan gelen ‘voltaic’ sözcüklerinin birleşmesinden gelmektedir. [10]

Bina kabuğunda kullanılan güneş pilleri, güneş ışınının doğrudan elektrik enerjisine dönüşümünü sağlayan elemanlardır. Güneş pilleri, güneş kontrolü amacıyla kullanıldığında veya güneş kontrol sistemi ile entegre edildiğinde özellikle en sıcak dönemlerde oluşan fazla ısı kazancını azaltmaları ve bu fazla güneş ışınım elektrik enerjisine dönüştürerek binanın soğutma yüklerini ve diğer elektrik yüklerini azaltarak katkıda bulunmaları nedeniyle, binanın sürdürülebilirliği ve enerji etkinliğine katkı sağlamaktadır. [11]

Becquerel güneş pilinin çalışma prensibini teknik olarak şöyle açıklamıştır. “Enerjinin bir formu olan ışık, bir fotovoltaik hücrenin içine girer ve elektronları harekete geçirmeye yetecek enerjiyi ortaya çıkarır. Bu enerji elektronların bir elektrik akımı oluşturabilecekleri kadar voltajı üretmelerini sağlar. [12]

%1 verimli piller 1914 yılında üretilmiş fakat bunlardan tam anlamıyla bir elektrik üretimi sağlanamamıştır. 1956 yılında Chaplin ve Fuller tarafından % 6 verimli piller üretilip elektrik üretimi sağlanmıştır. [12]

Güneş pili bileşenlerinin patenti 1954’te alınmış fakat ilk senelerde düşük verimlilikleri ve pahalı olmaları sebebiyle sadece uzay araçlarında kullanılmıştır. 1970’lerde yaşanan enerji kriziyle beraber, güneş pili düzeneğinin kullanımının artması için çalışmalar yapılmış ve ABD’de 1978’de Boston yakınlarında inşa edilmiş bir binaya ilk defa uygulanmıştır.

1980 yılında şehir elektrik şebekesine bağlı ilk uygulama olan 7,5 KWp’lik güce sahip Carlsta evi inşa edilmiştir. Şehir şebekesine bağlı olması, ürettiği ihtiyaç dışı fazla elektriği de şehir şebekesine aktarabileceği anlamına gelmiştir.

Daha sonra gelişecek teknolojiye örnek olması, için inşa edilen “impact 2000 evi” ile beraber, çok sayıda binaya güneş pili uygulaması entegre edilmiş ya da eklenmiştir. Binalarda yaklaşık 35 sene önce kurulmuş bu düzeneklerin hala enerji üretmeye devam ettikleri de görülmektedir. [11]

Güneş pilleri ilk zamanlarda binalardan bağımsız olarak açık alanlarda güneş enerjisini elektrik enerjisine çeviriyorken, daha sonra binalarda çatı uygulaması olarak kullanılmaya başlanmıştır. Sistemin geliştirilmesi sonucu doğrudan çatı kaplaması olarak kullanılabilen güneş pilleri üretilmiştir. [13] Güneş pilleri düzeneklerinin düşey düzlemde kullanılması ise 1992 yılından sonra yapılan pilot uygulamalarda gerçekleşmiştir. Güneş ışıının miktarının güneş pili üzerindeki etkileri, isi geçirgenlik değeri, sızdırmazlık, gölgeleme konularında yapılan araştırmalar güneş pillerinin bina düşey kabuğunda da etkin olarak kullanılabileceğini göstermiştir.

Bugün güneş pili endüstrisindeki en büyük problem, daha ekonomik güneş pili mal etme ve pazarlayabilme çabasıdır. [14] Güneş pillerinin yeterince yaygınlaştırılamamasının nedenlerinden bazıları sistemlerin yüksek fiyatları ve yıpranma payı (amortisman) sürelerinin belirsizliğidir.

Güneş pilleri ile 1 Watt elektrik (Wp) üretiminin maliyeti 1960 yılında 1000\$, 1990 yılında 5\$, 1995 yılında 4\$, 1999 yılında 4,23 \$~ 2,73\$, 2005 yılında ~1,16\$’dir. [13]

2.1. Güneş Pili Hücresi, Modülü ve Paneli

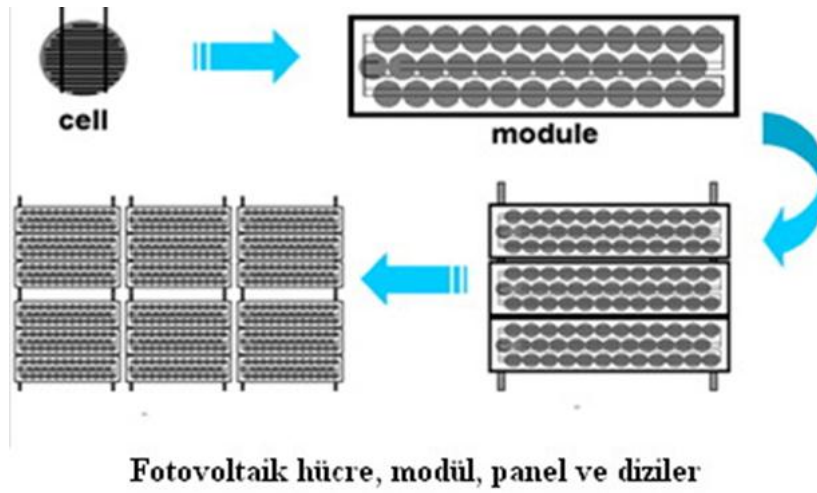
Güneş pili sistemleri, güneş pili hücresi, modülü ve paneli, dönüştürücü (invertedor), akü, şarj denetim birimleri ve diğer sistem bileşenlerinden oluşmaktadır.

Güneş pili sistemlerinin çalışma prensibi temel olarak güneş pili hücreleri aracılığıyla elde edilen doğru akimin (DC), alternatif akıma dönüştürülmesi (AC)nden oluşur. Bu dönüşüm invertedorler (dönüştüren elemanlar) vasıtasıyla gerçekleşir. Elde edilen enerji aküler ile depolanır. Güneş enerjisinin yetersiz kaldığı durumlarda, ihtiyaç duyulan elektrik enerjisi aküde depolandığından gerektiğinde kullanılabilir.

Sayaçlar, sistemde güneş pili panelleri ile elde edilen enerji miktarını ölçmek için kullanılırlar. Güneş pili sistemleri şehir şebekesine bağlı olabildikleri gibi bağımsız da olabilirler. Şehir sistemine bağlı olduklarında üretilen ihtiyaç dışı elektrik enerjisi şebekeye satılabilir.

2.1.1. Güneş Pili Bileşenleri

Güneş pillerinde akım üretimi özel işlenmiş yarı iletken malzemelerin biçimlendirilmesiyle oluşan solar hücrelerle sağlanır. [13] Daha fazla güç çıkışını sağlamak için bu hücreler birbirlerine paralel veya seri olacak şekilde bağlanırlar. Solar hücrelerin birbirine bağlanmalarıyla solar modül, modüllerin bağlanmasıyla panel, panellerin bağlanmasıyla solar dizisi elde edilir. (Şekil 2.1)



Şekil 2. 1 Güneş Pillerinin parça, panel ve dizilere dönüşüm şeması [15]

Çevre etkilerine karşı sızdırmazlık sağlayacak şekilde fotovoltaik hücrelerin birbirlerine bağlanmasıyla güneş pilleri modülleri oluşur. Elektrik kabloları ile en az iki ya da daha fazla modülün birbirlerine bağlanmasıyla fotovoltaik paneller oluşur. Güneş pili modülü ya da paneli içerisinde barındıran güneş pili enerji ekipmanlarının tamamı ise güneş pili dizisi olarak adlandırılır. (Şekil 2.2- Şekil 2.3)

Yarı iletken malzemelerden oluşan bu düzenekler, fotovoltaik, güneş panelleri gibi çeşitli isimlerle de adlandırılmaktadırlar



Şekil 2. 2 Güneş Pili Modülü



Şekil 2. 3 Güneş Pili

Güneş pili modül üretiminde kullanılan temel malzeme yarı iletken yapıya sahip olan silisyumdur. Silisyumun hammaddesi silikat yani kumdur. [12] Kum yeryüzünde bol miktarda olduğundan dolayı hammadde sıkıntısı yaşanmamaktadır. Temel madde aynı olsa da, farklı tekniklerle ve farklı maddelerin katkısıyla güneş pili modül malzemelerine göre çeşitlendirilebilir.

Güneş pili paneli maddesi olan silisyum yeryüzünde çok miktarda bulunan hammaddesi kum olan malzeme olsa da, güneş pili panel maliyetleri yüksektir. Bunun sebepleri pahalı üretim yöntemleri, düşük verimleri ve talep azlığı olarak sıralanabilir. Fakat kullanımın artmasıyla, talep yükselmesi ve günümüz teknolojisinin gelişmesiyle verimin artırılarak daha uygun üretim yöntemlerinin geliştirildiği görülmektedir. Bu da fiyatlarının her geçen gün düşmesine neden olacaktır. [16]

2.1.2. Dönüştürücüler (Invertörler)

Güneş pillerinin ürettikleri doğru akım enerjisini, alternatif akıma dönüştüren sistem bileşenleridir. Ayrıca şebekeye elektrik gönderilmesi konusunda sigorta vazifesi görürler. [17] Direnci arttırarak ve çeşitlendirerek elektrik üretiminin maksimum seviyede elde edilmesine neden olurlar. Dönüştürücülerin verimleri genelde %93-96 arasındadır. %100 olmamasının sebebi girdi olarak kullanılan doğru akımın 10-25W civarında olduğunda kullanılabilmektedir. Daha yüksek akımda sistemin tam verimlilikle çalışabilmesi için ilave farklı düzeneklere ihtiyaç vardır.

Dönüştürücüler eğer çok sayıda güneş pili paneline bağlıysa merkezi dönüştürücü (string ya da central inverter), bir veya iki panele bağlıysa micro dönüştürücü diye çeşitlendirilebilirler. (Şekil 2.4-Şekil 2.5)



Şekil 2. 4 Merkezi Dönüştürücü [18]



Şekil 2. 5 Mikro Dönüştürücü [19]

Merkezi dönüştürücünün daha etkin olabilmesi için güneş pili panellerinin aynı karakteristik özelliklere sahip olması ve aynı şartlar altında bulunması gerekir. Örneğin aynı yöne yönlendirilmemişlerse ya da gün içerisinde kısmen gölgede kalıyorlarsa birden fazla merkezi dönüştürücüye bağlanması tavsiye edilir. Merkezi dönüştürücülerin garantileri genellikle 5-10 sene arasında değiştiğinden güneş pili panel ömrü (20-25 yıl) düşünüldüğünde en az 1 kere dönüştürücünün değişmesi gerekecektir. Bu durum sistem maliyetinin hesaplanmasında göz ardı edilmemesi gereken bir durumdur. Mikro dönüştürücülerin ise ortalama 25 senelik ömürleri olduğu üreticiler tarafından söylenmektedir. İki dönüştürücü tipi karşılaştırıldığında mikro dönüştürücüler, merkezi dönüştürücülere göre daha pahalıdır ve daha az imalatçı tarafından üretilmektedir. Sadece farklı gölgelemeye maruz kalan güneş pili paneller olduğunda çözüm olarak düşünülebilir. [17]

2.1.3. Aküler

Üretilen elektrik enerjisinin depolandığı birimlerdir. Her farklı sistem için, sistem ihtiyacı ve iklimsel verilere göre, ne kadar kapasitede, kaç adet aküye ihtiyaç duyulacağı hesaplanmalıdır. (Şekil 2.6)



Şekil 2. 6 Akü Şarj Denetim Birimi [20]

2.1.4. Şarj Denetim Birimleri

Güneş pili hücrelerinde üretilen elektriğin doğrudan aküye gönderilmesi aküye zarar verebileceğinden, aşırı enerji yüklemesini ve boşaltılmasını önlemesi amacıyla kullanılan araçlardır. (Şekil 2.7)



Şekil 2. 7 Akü Şarj Denetim Birimi [20]

2.1.5. Diğer Sistem Bileşenleri

Diyot, kablolama, bağlantı kesme elemanı, elektrik panosu, sayaç, sigorta, topraklama elemanı, aşırı akımdan koruma elemanı gibi güneş pili paneli sistemlerinin tamamlanmasında ihtiyaç duyulacak diğer elemanlardır.

2.2. Güneş Pili Sistemlerinin Sınıflandırılması

Güneş pili sistemleri; malzeme özelliklerine, bağlantı ve kullanım tiplerine, yapısal özelliklerine ve saydamlık özelliklerine göre sınıflandırılabilir. (Şekil 2.8)



Şekil 2.8 Güneş Pillerinin Farklı Özelliklerine Gore Sınıflandırılması

2.2.1. Malzeme Özelliklerine Gore

Güneş pili hücreleri malzemelerine göre farklı sınıflara ayrılabilirler.

2.2.1.1. Kristal silisyum güneş pili hücreler

Silisyum kullanım esnasında kararlılığını koruyabilen yarı iletken bir madde olmasından dolayı, soğurma, elektriksel ve yapısal özelliklerini uzun süre muhafaza edebilmektedir. Araştırmaların ve üretimin silisyum hammaddeli güneş pili panelleri üzerinde artmış olması da günümüz piyasasında en yaygın güneş pili paneli malzemesi olmasına neden olmuştur. [12]. 2006 yılında dünyadaki güneş pili piyasasının %95 i kristal silisyumdan oluşmaktadır. [14] Monokristal ve Polikristal olarak 2 sınıfa ayrılmaktadır.

• MonoKristal (Tek Kristal)

Saf tek Kristal silisyumdan oluşmaktadır. Silisyumun saf ve kesintisiz devam eden kristal örgüsünde neredeyse hiçbir kusur ve kirlilik bulunmamaktadır.

Yüksek saflıkta silisyumdan oluşan ve çapı 15 cm'ye varan külçeler “Czochralski çekmesi” ve “yüzer bölge” yöntemi denilen, iki kristal oluşum yöntemiyle elde edilir. Bu külçeler ince rondelalar halinde kesilir. Bu rondelalar güneş pilinin gövdesini oluşturmaktadırlar. [21]

Tek Kristal yapılı hücreler pilin ön yüzeyinde normal olarak yansıyan ışığın bir kısmını daha iyi yakalayabilmek amacıyla piramitler ve koniklerden oluşan bir yapıdadırlar. Pilin üst yüzeyinde yansımayı önleyen bir kaplama tabakası bulunur. [7]

Laboratuvarlarda %18, üretimde ise yaklaşık %12-13 verim sağlamaktadırlar. [21] Yüksek verimli olmalarına rağmen üretim sürecinin karmaşıklığı sebebiyle diğer teknolojilerden pahalıdırlar. Tek kristal yapıdaki güneş pili Şekil 2.9'da görülmektedir.

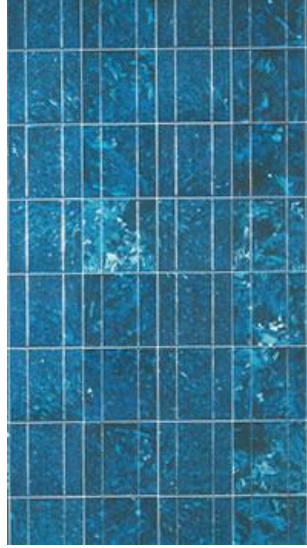


Şekil 2.9 Tek Kristal Yapıdaki Güneş Pilleri [21]

- **Polikristal (Çok Kristal)**

Polikristal hücreler polikristal silisyum külçelerinin kullanımıyla üretilir. Üretim sürecinde çoklu silisyum hücreler eriyik halde kare ve üçgen formlara dökülür ve soğumaya bırakılır. Oluşan külçeler ince silisyum pulları şeklinde kesilerek montajlanır. Yeni üretim metotlarında düşük maliyetli polikristal zar alt tabaka kullanılmaktadır. Bu alt tabakada metalürjik derecesi çok iyi, silisyum tabaka, paslanmaz çelik, seramik, kuartz cam ya da silisyum zarını tabaka olarak çöktürecek gelişmiş teknolojiler kullanılmaktadır. [23]

Üretimi daha kolay olan çok kristal hücreler daha uygun maliyetlidirler. Enerji verimlilikleri tek kristal hücrelere kıyasla biraz daha düşük olmalarına rağmen düşük maliyetleri sebebiyle daha yaygındırlar. [3] . Çok kristal yapıdaki güneş pilleri Şekil 2.10’da görülmektedir.



Şekil 2.10 Çok Kristal Yapıdaki Güneş Pilleri [22]

2.2.1.2. İnce film Güneş Pilleri

Daha hızlı üretim süreçleri ve daha az malzeme ile üretilebilmeleri sebebiyle son yıllarda yarı iletken malzemenin geniş yüzeyler üzerine ince film şeklinde kaplanmasıyla elde edilmiş bir malzemedir. Yalnızca birkaç mikrometre kalınlıkta ve büyük yüzeyli pillerdir. [21] İnce film hücreler, plaka boyutlarıyla sınırlanmaz, istenilen boyutta kesilip yarı iletken malzemeyle kaplanabilirler. Bu alanda yapılan araştırma ve geliştirme çalışmaları güneş pilleri üretiminde kullanılabilecek birçok yarı-iletken malzemenin düşük maliyetlerde cam, metal ya da plastik folyo gibi tabakalar üzerinde geniş yüzeylere kaplanabileceğini göstermiştir. [7] . İnce film güneş pillerinde kavisli formlar ve geniş yüzeyler elde edilebilmektedir. (Şekil 2.11) İnce film güneş filmleri çeşitleri amorf silisyum, kadmiyum tellür ve bakır indiyum diselenid olarak sıralanabilir. [3]



Şekil 2.11 İnce Film Yapıdaki Güneş Pilleri [24]

• Amorf Silisyum Güneş Pilleri

Amorf silisyum hücreleri, kristal yapıdan ziyade ince homojen katmandaki silisyum atomlarından oluşur. Amorf silisyum, silisyum pulunu kesmek yerine alt tabaka üzerine çökmeyle oluşturulduğundan hücreler daha incedir. Bu sebeple amorf silisyum ‘ince film’ güneş pili teknolojisi olarak bilinir. Bükümlü ve kavisli olarak uygulanabilmektedir. [7]

Amorf silisyum güneş pillerinin kristal silikon güneş pillerine kıyasla uzun vadede avantajı, enerji üretimi için daha az enerjiye ihtiyaç duyması ve daha kısa surede amortismanını sağlayabilmesidir. [3]

• Kadmiyum Tellür İnce Güneş Pilleri (CdTe)

Periyodik tablonun ikinci grubunda yer alan kadmiyum elementinden ve altıncı grubunda yer alan tellür elementinden yapılan kadmiyum tellür (CdTe) güneş pilleri de geniş yüzey alanlı üretimlere olanak tanımakla birlikte yüksek soğurma özelliğine sahiptir. Bu pillerin uzun süreli verimlilikleri de henüz istenen seviyeye ulaşamamıştır. [12]

• Bakır İndiyum Diselenid Güneş Pilleri (CIS)

Periyodik tablonun birinci, üçüncü ve altıncı grubunda yer alan bakır, indiyum ve selenyumdan üretilen bu güneş pillerinin verimliliği de % 18'lere ulaşmasına karşın pil ömrü olan 20 yıl süresince verimlilik düşmekte ve % 10 sınırını aşamamaktadır [12]

2.2.1.3. Hibrit silikon güneş pilleri (HIT)

Kristal silisyum ve ince film güneş pillerinin bir araya gelmesiyle üretilmiş olan güneş pilleridir. HIT hücreler diğer hücrelere oranla daha verimlidirler ve işletim sıcaklığının artması sonucu verimlilikleri etkilenmemektedir. Çizelge 2.1’de güneş pili modül tiplerinin verimlilikleri ve gerekli alan miktarları verilmektedir.

Çizelge 2.1 Güneş Pili Modül Tiplerinin Verimlilikleri ve Gerekli Alan Miktarları [14]

Malzemelerine Gore Modul Tipleri	Modullerin Verimlilik Oranlari	Gerekli Alan Miktari
ince film amorf silikonlar	% 5-7	14-20 m ²
ince film kadmiyum tellur (CdTe)	% 6-8	12-17 m ²
ince film bakir indium diselenid (CIS)	% 9-11	9-11 m ²
cok kristal	% 11-14	7-10 m ²
tek kristal	% 12-15	7-9 m ²
hibrit silikon (HIT)	% 17-18	6-7 m ²

Çizelge 2.1’de görüldüğü gibi hibrit silikon güneş pillerinin enerji performansı diğer modüllerden daha yüksek verime sahiptir.

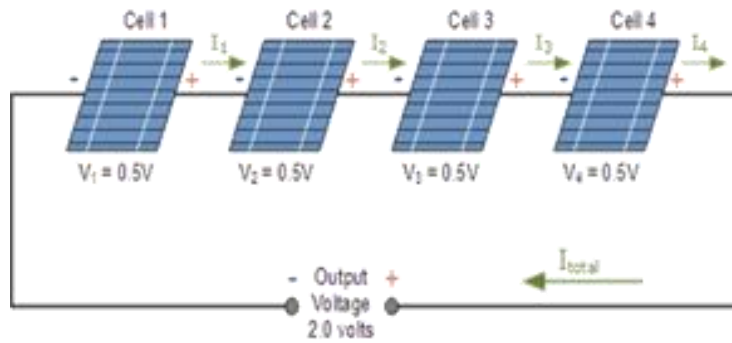
2.2.2. Bağlantı Tiplerine Gore

Fotovoltaik modüller birbirleriyle seri ya da paralel olacak şekilde istenilen sayı ve kombinasyonda bağlanabilirler. Bu da hesap makinesi, saat gibi küçük cihazlarda ya da merkezi enerji üreten büyük sistemlerde üretilen enerji güçlerinin çeşitlenmesine sebep olur. [3]

2.2.2.1. Seri bağlama

Seri bağlama bir modülün pozitif (+) yönünün, diğer modülün negatif (-) yönüne bağlanmasıyla gerçekleşir. Üretilen akımın takip ettiği tek bir yol olduğu için ilk hücrede üretilen akım 2. 3. ve diğer hücrelerin de üzerinde bulunduğu yoldan geçmek zorundadır. Güneş pili sistemlerinin seri bağlanmaları sonucu sistemdeki voltaj yükselir. Üretilen amper miktarı ise artmaz. Devre içerisindeki ölçülen akım miktarı da devrenin her kısmında aynıdır. [3]

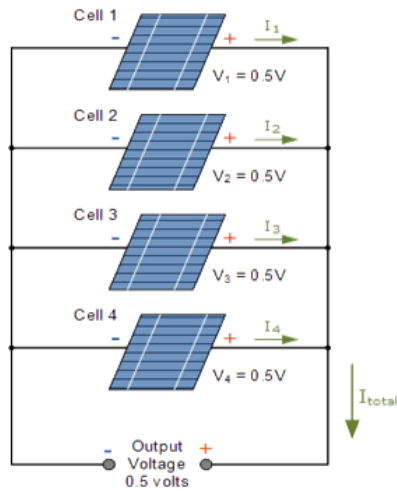
Panellerin seri bağlanmalarının tek dezavantajı, panellerden herhangi birisinde aksamaya yol açacak bir bozulma, örneğin kısmen gölgede kalma durumu olduğunda sistemdeki panellerin tamamı etkilenmişçesine sistem performansını etkilerler. Ayrıca sistemin ilerleyeceği tek bir yol olduğundan, panelin bozulduğu yerdeki elektrik birikmesi devredeki elektrik sisteminin de zarar görmesine neden olabilir. [25] (Şekil 2.12)



Şekil 2.12 Güneş Pillerinin Seri Bağlanması [25]

2.2.2.2. Paralel bağlama

Paralel bağlama panellerin pozitif (+) yönünün, diğer panelin pozitif (+) yönüne, negatif (-) yönünün diğer panelin negatif (-) yönüne bağlanmasıyla gerçekleşir. Sistemde üretilen elektriğin takip edeceği tek bir yol yoktur, alternatif yollar da vardır. Yüklerin ya da kaynakların birbirlerine paralel bağlanması durumunda akım artar, voltaj miktarı ise sabit kalır. Sistemde ölçülen amper miktarının artması için paneller birbirlerine paralel bağlanmalıdır. [3] (Şekil 2.13)



Şekil 2.13 Güneş Pillerinin Paralel Bağlanması [25]

İstenilen voltaj ve amper ölçülerine göre güneş pilleri seri ya da paralel bağlanabildikleri gibi her iki çeşit bağlantı tipini aynı sistemde kullanabilmek de mümkündür.

Panellerin kısmen gölgede kalma durumlarına bağlı olarak enerji performanslarında farklılık gösterip göstermediklerine dair çalışmalar yapılmıştır. Paralel bağlantılı panel diziliminde 2 adet panelden 8 adete kadar paneller gölgede bırakılmış ve neredeyse güç kaybının sabit kaldığı görülmüştür. Aynı panellerin seri bağlandığı durumda ise güç kaybında kayda değer miktarda artış olduğu fark edilmiştir. [26] . Gölgeleme durumunun göz önünde bulundurulduğu uzun süren ölçümlere dayalı deneyler aynı şartlar altında paralel bağlantı ile elde edilecek enerji kazancının seri bağlantıyla elde edilecek bir enerjiden neredeyse %30 a varan bir oranda daha fazla olduğunu ortaya çıkarmıştır [26]

2.2.3. Kullanım Tiplerine Gore

Güneş pili sistemleri kullanım tiplerine göre 3 sınıfta incelenebilir.

1)Şebekeden bağımsız sistemler

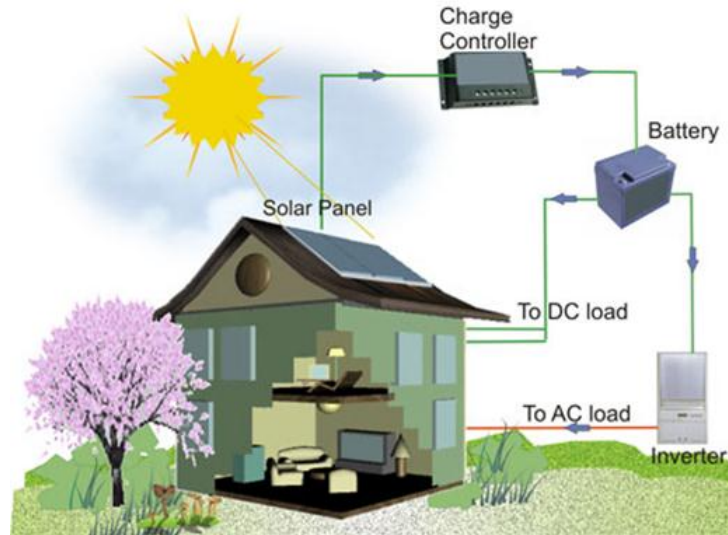
2)Şebeke bağlantılı sistemler

3)Karma sistemler

Güneş pili sistemlerinin ilk kullanıldığı alanlar elektrik şebekesinin olmadığı yerlerde, şebekeden bağımsız olan sistemler olsa da günümüzde artık güneş enerjisinden elde edilen elektrik enerjisinin şehir şebekesine satılabilmesi gibi olanaklarla şebeke bağlantılı sistemlerin kurulumu hızla artış göstermiştir.

2.2.3.1. Şebekeden bağımsız sistemler

Bu sistemlerin çalışma prensibi güneşli saatlerde elde edilecek enerjinin akülerde depolanması ve ihtiyaç duyulduğunda doğrudan kullanılmasıdır. (Şekil 2.14) Bu yüzden sistemde güneş pili dizileri ve depolama ünitesi dışında başka bir ilave araca ihtiyaç yoktur. Güneş pili panelleri ve aküler bu sistemlerde oldukça önemli ekipmanlardır.



Şekil 2.14 Şebekeden Bağımsız Güneş Pilleri Sistemlerinde Çalışma Seması [27]

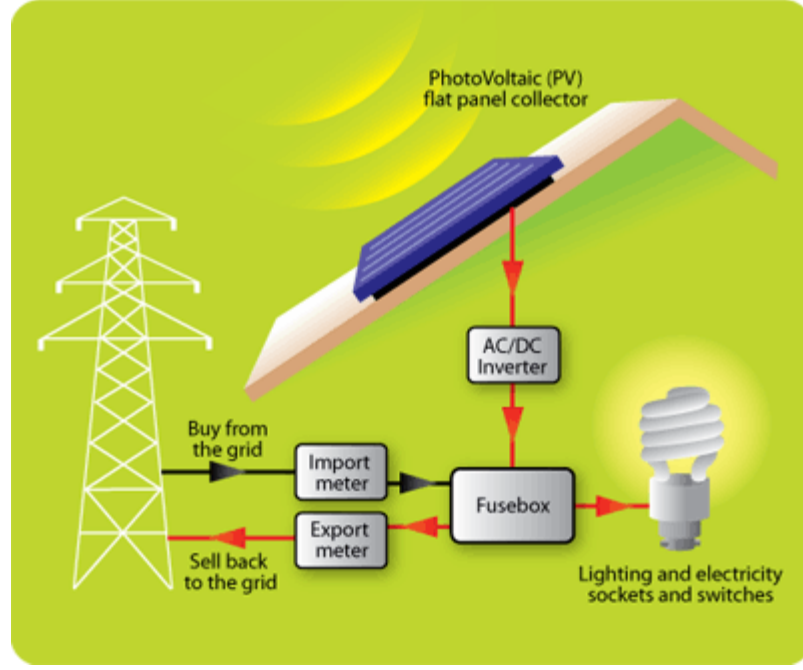
Bu sistemlerde üretilen enerji ve tüketilen enerji miktarlarının birbirlerine eşit olması beklenildiğinden sistem hesabi yapılırken günlük elektrik tüketimi, güneş ışınlamı miktarı, akü kapasitesi gibi verilerin gerçek değerlerine oldukça yakın olması istenilir. Özellikle mevsimsel farkların oluştuğu, kış ve yaz mevsimlerinde elde edilecek enerji performansının çok farklılaştığı düşünülürse hesaplar düşük enerji elde edilebilecek zaman dilimi olan kış mevsimine göre yapılacağından yaz aylarında üretilen enerji fazlalığı olacaktır. Yazları gereğinden fazla üretim yapan bir sistemin yatırım maliyeti de yüksek olacağından, geri dönüşüm süresi de uzun olacaktır. Böyle koşullar için jeneratör ya da rüzgâr tribünü gibi başka enerji kaynaklarını da içeren çözümler düşünmek daha faydalıdır. [7]

Şebekeden bağımsız çalışan bu sistemlerin kurulabileceği en uygun alanlar henüz elektriğin gelmemiş olduğu ya da enerji kaynaklarına ulaşımın pahalı olduğu alanlardır. İletim hattının 800 metre uzak olması durumunda, bu alanlarda trafo direk kablo maliyeti gibi ilave maliyetler de olduğundan dolayı çok fazla enerji gerektirmeyen ihtiyaçlara karşılık kendi kendine yetebilecek olan şebekeden bağımsız bir güneş pili sistemi kurmak daha hesaplı olacaktır. [7]

Şebekeden bağımsız sistemlerde sistemin verimi üzerinde akülerin sayısı ve niteliği, dönüştürücü sayısı ve niteliği, kablolama ve bağlantı özellikleri etkilidir.

2.2.3.2. Şebekeye bağlı sistemler

Bu sistemlerde elektrik enerjisi hem şebeke hem de güneş pili sistemi vasıtasıyla elde edilir. Tüketilen enerji miktarının üretilen enerji miktarından fazla olması durumunda şebeke devreye girer ve enerji şebekeden temin edilir. Üretilen enerjinin tüketilen enerjiden fazla olması durumunda ise Güneş pili sistemi ile elde edilen ve fazla olan enerji şebekeye farklı bir tarifieden ayrı bir sayaç üzerinden satılır. Bu sistemlerde akü kullanılmamaktadır. (Şekil 2.15)



Şekil 2.15 Şebekeye Bağlı Sistemlerde Çalışma Seması

Bu sistemlerde şebeke ile güneş pili sistemi arasında alışverişi yapılan elektriğin niteliğinin ve gücünün uyumlu olması gerekmektedir. Elektrik enerjisinin cevrimi özel elektronik aletlerle denetlenir.

Sistemin verimliliğini doğru akım-alternatif akım dönüştürücülerinin nitelikleri ve sayıları, sistemin planlanması, kablolama ve bağlantı ve şebeke özellikleri etkilemektedir.

Güneş ışınlamalarının düzenli olarak aynı süreklilikle geldiği durumlar için şebekeye bağlı olan sistemlerde genellikle verimlilik en yüksektir. [28]

Şebekeye bağlı sistemlerde enerji depolamaya ihtiyaç duyulmadığından depolama için gerekli yatırım ve kullanım maliyetlerine gerek kalmamıştır. Böylelikle sistemler daha ucuz ve şebeke bağlantısı olması sebebiyle güvenli olan sistemler olarak kabul edilebilir.

2.2.3.3. Karma (Hibrit) Sistemler

Güneş pili sistemlerinin diğer enerji kaynakları ile beraber kullanıldıkları sistemlerdir. Güneş pili panellerinin tek başına yetersiz olması ya da performansta dalgalanması gibi risklerin olduğu yerlerde tercih edilir. [29]

Jeneratör gibi ek kaynakların kullanıldığı bu sistemler kesintisiz bir enerjinin ihtiyaç duyulduğu hastane, askeri kurum gibi uygulamalarda ya da elektrik şebekesine erişimin uzak olduğu yerleşim alanlarında kullanılır.

2.2.3. Yapısal Özelliklerine Gore

Üretilen güneş pili modülleri yapısal özelliklerine göre farklı sınıflara ayrılmaktadırlar.

- Alüminyum çerçeveli ve camlı modüller: Üzeri koruyucu bir filmle kaplı güneş pili ve camdan oluşur. Panel alüminyum bir çerçevenin içine oturtulmuştur. En yaygın modül tiplerinden biri olarak bilinir. [12]
- Çerçevesiz modüller: Yüksek etkinliğe sahip mono kristal silikon güneş pillerinin iki tabaka optik filmle kaplanmasıyla oluşur.
- Metal tabanlı modüller: Monokristal silikonlar ince tabakalara ayrılmış olarak optik film tabakaları arasındadır. Bu panel alüminyum, metal ya da paslanmaz çelik levha üzerine oturtulur.
- Çift yüzeyli modüller: Enerji maliyetinde önemli bir azalma sağlayan bu modüllerin her iki yüzeyi de enerji üretebilmektedir.

2.2.4. Saydamlık Özelliklerine Gore

Güneş pili panelleri saydamlık özelliklerine göre yarı geçirgen veya opak olmak üzere sınıflandırılabilirler. Geçirgen paneller binalarda pencerelerde, ışığın içeriye girmesi istenilen durumlarda kullanılabildiği gibi, opak paneller de güneş ışığının bina içerisine girmesi istenilmeyen durumlarda tercih edilebilmektedir. [13]

2.3. Binalarda Güneş Pili Uygulamalarında Enerji Yüklerini ve Maliyeti Etkileyen Güneş Pillerine İlişkin Etkenler

Sistem ekipmanlarına ait teknik özellikler, panele ilişkin olabilecek değişkenler veya uzun vadede etki gibi etkenler güneş pili uygulamalarında enerji harcamalarını etkileyen değişkenlerdir.

2.3.1. Hücre ve Modül Türlerine Bağlı Koşullar

Çeşitli görünüm ve renklere, farklı geometrik şekillere sahip güneş pili modülleri, binanın görünümünü etkileyeceğinden, tasarımcı tarafından belirlenmesi gereken özelliklerdendir. Güneş kontrolünün sağlanması istenilen durumlarda yarı geçirgen modüller, pencere amaçlı kullanılacak kısımlarda geçirgen modüller kullanılmaktadır. Modül yapısının özellikleri, çerçeveli ya da çerçevesiz oluşu, çerçevenin malzemesi, montaj teknikleri de görünümü etkileyeceğinden önceden düşünülmelidir. Çerçevesiz modüller de tek bir yüzey etkisi bırakmaları sebebiyle uyumlu bir etki yaratırlar. Güneş pili panelleri genellikle siyah mavi ve lacivert renklerinde üretilmektedirler. Gri, kırmızı, yeşil, turuncu ve sarı renkleri de üretilmektedir ancak maliyetleri standart üretimleri olmamasından dolayı daha yüksektir.

Teorik olarak silikon hammaddeli güneş pili modüllerin en yüksek verimliliği %30 iken, bu verimlilik farklı malzemelerde daha da azalmaktadır. Hücre tipine göre yaklaşık olarak,

Monokristal silikonlarda hücre verimi % 13-17, modül verimi %12-15,

Polikristal silikonlarda hücre verimi % 12-15, modül verimi % 11-14,

İnce film silikonlarda (amorf silikon içeren) hücre verimi % 5, modül verimi %4.5-4.9'dir. [28]

Düşük voltajdaki hücrelerin birbirlerine seri bağlanmaları sonucu oluşturulan modüllerden daha yüksek voltajda enerji elde edilmesi sağlanabilir. [28] Monokristal silikon modüllerin renkleri genelde mavi ile siyah arasında değişmektedir. Çok çeşitli renkleri üretilebilir ancak açık renklerin yansıtma özelliği olduğundan ve rengin açık olması yutulacak güneş ışınım miktarını azaltacağından verimi düşürücü özelliğe sahiptir. Örneğin magenta ya da altın rengi gibi renkler % 20 civarlarında bir performans kaybına neden olurlar. [28]. Polikristal silikonlar da genelde mavi renkte üretilmektedir. Parlak bir yüzeye sahip olmalarından ötürü ışıltılı bir görünümeleri vardır. İnce film silikonlar ise daha renkli boyanmış camdan elde edilmiş gibi mat bir yüzeye sahiptirler.[28]

Güneş pillerinin ömürleri en az 20 sene olarak düşünülmektedir. Genellikle firmalar kristal silikon ve ince film silikonlar için 10 senelik garanti suresi vermektedirler. Ayrıca, montajı yapıldığı zamanki performansın en az %90 i kadar aynı performansı sürdürebileceği garantilenmektedir. [28]

2.3.2 Akülere Bağlı Durumlar

Aküler yapıda üretilen enerjinin talebi karşılayamadığı durumlarda sisteme destek veren elemanlardır. Akülerin konumlandırılması gereken ideal yerler sert hava koşullarından korunabilen ve kısmen havalandırılabilir olan yerlerdir. Akülerden istenilen en önemli özellik zarar görmeden tekrar tekrar şarj olabilmeleridir. Daha yüksek kapasitede çalışabilmeleri paralel bağlanmalarıyla sağlanabilir [4]

Akülerin tipi ve ölçüsü ihtiyaç duyulan enerji miktarına ve binanın elektrik yüklerine bağlıdır. Bununla beraber akünün donuşum ömrü, bulunabilirliği, çalıştırma kolaylığı ve sürdürülebilirliği akü tercihinde rol oynayan kısıtlardır. Depolama araçları kısa, orta ve uzun vadeli olarak kullanılan hammaddeleri, ilk yatırım maliyetleri ve diğer niteliklerine göre sınıflandırılabilir. [29]

Kısa vadeli seçenekler; Nikelkadmiyum ve kursun asit aküler bu gruba girer. Nikel kadmiyum akü uygulamalar yüksek maliyetleri sebebiyle %1 i gibi çok düşük bir kullanım oranına sahipken kursun asit aküler en sık uygulanan akü tipleridir. Fakat zehirli maddeler olmaları sebebiyle bu sistemler üzerinde sınırlandırmalar vardır. [29]

Orta vadeli seçenekler; Sodyum sülfür (Na-S) ve cinkobrom (Zn-Br₂) akülerdir. Sodyum sülfür aküler yüksek enerji yoğunluklarına sahiplerdir ancak çalışma sıcaklıkları oldukça yüksektir. Cinkobrom aküler ise yüksek enerji yoğunluğuna sahiptirler ve normal sıcaklıkta çalışabilirler. İlk yatırım maliyetlerinin nikel kadmiyum ve kursun asit akülere oranla daha düşük olmaları sebebiyle pazarlama kolaylığı daha yüksek ürünlerdir. [29]

Uzun vadeli seçenekler; Demir krom redoks akim aküleri ve şarj edilebilir cinkomanganez dioksit akülerdir. Bu akü tipleri üzerinde çalışmalar devam etmektedir. [29]

Aküler genelde şebekeye bağlı olmayan sistemlerde kullanılırsalar da, şebekeye bağlı olan sistemlerde de enerjiyi depolayabilirler. Fakat şarj boşaltma surelerine bağlı olarak 5 ile 10 sene arasında değişecek kullanım ömürleri sebebiyle maliyetli ürünlerdir. [17] Fakat gün geçtikçe akü maliyetlerinin düşmesi sebebiyle şebekeye bağlı sistemlerde de kullanımı cazip hale gelmektedirler.

Aküler tam verimle çalışabilen araçlar değildir. Akü ve ilgili diğer ekipmanların genel verimliliği %50 dire. Örneğin 1 kWh lık enerjinin depolanması sonucu elde edilen kullanılabilecek enerji 0,5 kWh'tır. [17]

Yeni bir akünün verimi şarj edilme yöntemine göre %70 ve %85 arasında değişmektedir. [26]

Akülerde depolanan enerji miktarı, kullanım esnasındaki performansı da etkilemektedir. Örneğin lead-acid akü tipinde belirli bir sıcaklığın referans alındığı durumda farklı şarj dolum miktarlarında enerji verimliliği aşağıda belirtildiği gibidir.

Şarj boşluk durumu %90 ise, verimlilik > %85

Şarj boşluk durumu %75 ise, verimlilik > %90

Şarj boşluk durumu < %50 ise, verimlilik > %95 [26]

2.3.3 Dönüştürücülere Bağlı Koşullar

Dönüştürücüler üretilen doğru akımı alternatif akıma dönüştüren elemanlardır. Binada bu elemanların korunması ve güvenliğinin sağlanması gerekmektedir. Dönüştürücüler modüllerin yakınına koymak verimi arttıracığından en uygun yer panelin hemen arkasındaki boşluk olacaktır. Ayrıca kristal hücrelerin etkinliğinin sıcaklık arttığında düşmesi sebebiyle panelin arkasında bir boşluk oluşturmak ve bu boşluğa dönüştürücülerin bulunacağı bağlantı kutusunu koymak hem havalandırma ihtiyacını karşılayacak hem de, panel kutusu için korunaklı bir alan sağlanmış olacaktır. [4]

2.3.4 Yüzey Alanı

Güneş pillerinde yüzey alanı arttıkça elde edilen enerji miktarı da doğru orantılı olarak artmaktadır. Güneş pilleri malzemelerine bağlı olarak farklı boyutlarda üretilerek farklı yüzey alanlarına sahip olabilmektedirler.

2.3.5 Panel Açısı

Türkiye’de PV panellerin yaz ve kış ortalamasına göre optimum yerleştirme açısı 30 derecedir. Farklı yön ve açılarda yerleştirilen PV panellerdeki performans düşüşü, modül tipine göre farklılıklar gösterir. Türkiye şartlarında 10° ile 30° arasındaki yıllık performans farkı %15’i geçmeyecektir. [34]

2.3.6 Güneş Pillerinin Gölgeleme

Güneş pili panellerine bağlı olan gölgeleme geçici gölge ve güneş pillerinin oluşturduğu gölge olarak sınıflandırılabilir.

Gölgeleme geçici gölge, konumdan kaynaklı gölge ve binanın kendisinin maruz bıraktığı gölge ve güneş pili sistemlerin oluşturduğu gölge olarak sınıflandırılabilir.

Geçici gölge: Kar, yapraklar ve kus pislikleri gibi faktörlerdir. Kar genellikle dağlık alanlarda, çöpler endüstri bölgelerinde, yapraklar ise ormanlık alanlarda sıklıkla görülür. Bu faktörler yağmurların etkisiyle kaybolacağı gibi düzenle olarak temizlenerek de yok edilebilir. Genellikle en az 12 derecelik bir eğim açısı da yağmurun bu kalıntıları temizlemesi açısından yeterlidir. Uzun vadede hava kirliliği ve kus pislikleri gibi etkenler için yağmur yeterli gelmez ve güneş pili yüzeyleri temizlenmediği takdirde %2 ile %5 arasında enerji performansında düşüş görülebilir. Fakat bu kayıp kabul edilebilir bir kayıptır. [26]

Güneş pili sistemlerin oluşturduğu gölge; panellerin birbirlerinin üzerine gölge düşürmeleriyle oluşmaktadır. Tek bir modül kısmen gölgelemiş olsa da dizi halinde birbirlerine bağlı iseler tahmin edilenden daha fazla enerji kaybına neden olmaktadır. Bunun sebebi tüm serinin etkilenmesidir. Amorf silisyum ve titanyum dioksit gibi diğer güneş pili teknolojileri, gölgelemenin düzenli olmaması durumunda, elektriksel bağlantı farklılıkları ve düşük ışıktaki gösterdikleri daha yüksek performanstan dolayı daha az etkilenirler. [4] Böyle bir ihtimale karşı, gölgeleme oluşmasına engel olmak için, panellerin eğim açıları ve dizinlerin kendi aralarındaki mesafe kontrol edilmeli ve düzenlenmelidir.

Gölgelemenin gerçekleşmesi büyük miktarda enerji kaybı demektir. Bir panelin bütünüyle gölgede kalması enerji performansını %60 - %80 arasında düşürürken, kısmen gölgede kalması sonucu performans %30-%40 arası düşmektedir. [26]

2.3.7 Güneş Pillerinin Performansının Uzun Vadede Değişimi

Güneş pili sistemi içerisindeki en dayanıklı araçlar panellerdir. Kristal silikon modüllerden 25 senedir çalışan örnekler incelendiğinde herhangi bir eskime belirtisi görülmemiştir. Çok nadiren hava durumu sebebiyle plastik hücrelerin aşınmaya bağlı olarak zarar gördükleri görülmüştür. Ancak 25 senedir kullanılabilen, yaslanma belirtisi gösteren, hücreleri zarar görmüş panellerde dahi ilk enerji çıktılarının %75 i oranında elektrik üretilmektedir. Yapılan araştırmalar ve incelemeler yıllık ortalama olarak %0.5 den daha az oranlarda olmak üzere performansta düşüşün olduğunu ortaya koymaktadır. [26]

Uzun vadede şebekeye bağlı olan sistemde yapılan başka bir araştırma da 10 senelik bir urunun ilk bozulma etkisinin üretimden sonra urunun güneş ışınımına temas ettiği ilk anda gerçekleştiğini göstermektedir. Fakat o andan sonra devam eden bozulmalar çok yavaş ilerlemektedir. Kristal silikon hücrelerde ilk andaki bu bozulma %2 oranına kadar çıkabilmektedir. İnce film modüllerde bozulma durumu her sene %0.25-0.5 arasında düşüş gösterirken, amorf silikonlarda ilk 1000 saat çalışmaya başlayan sistem yaklaşık %10-%15 arasında performans düşüşü gerçekleştirir. Ancak daha sonraki yıllarda enerji üretimindeki değişim sabit denebilecek kadar azdır. [26]

Dönüştürücüler ise panellere oranla daha çabuk eskiyen sistem elemanlarıdır. Sorunsuz olarak ilk 5-8 sene çalıştıkları, uzun vadede ortalama olarak 10 seneden sonra ya onarıma ya da tamamen değişime ihtiyaç duydukları görülmektedir. Dönüştürücüden kaynaklı problemler genellikle sigortanın atması, fırtına ya da gerilimin ani olarak değişimini engelleyen cihazın arızası sebebiyle olmaktadır. Günümüzde artık müşteri talebine bağlı olarak 20 seneye kadar dönüştürücü cihazlara da garanti sunulmaktadır. [26]

Akülerin kısa ömürleri, yeniden ürün satın almayı gerektirdiğinden, maliyetleri sebebiyle kullanıcılar tarafından sorun teşkil edilen en temel problemdir. Tam şarj edilip-şarj boşaltma devirleri 100 ile 800 arasında, ömürleri ise 3-8 yıl arasında değişmektedir. Duran akülerin ise servis ömürleri 10-15 sene arasındadır. [26]

3. FARKLI BİNA FORMLARINDA, GÜNEŞ PİLİ UYGULAMALARININ ENERJİ VE MALİYET ETKİNLİĞİ AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİNDE KULLANILACAK BİR YAKLAŞIM

Türkiye’de enerji harcamalarının büyük bir oranı konutların ısıtılması ve soğutması için kullanılmaktadır. ‘5627 Sayılı Enerji Verimliliği Kanunu’ ve buna bağlı olarak çıkartılan ‘Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği’nde, binalarda enerjinin ve enerji kaynaklarının etkin ve verimli kullanılması, enerji israfının önlenmesi ve çevrenin korunması amacıyla, asgari olarak binanın enerji ihtiyacı ve enerji tüketim sınıflandırması, yalıtım özellikleri, ısıtma ve soğutma sistemlerinin verimleri ile ilgili asgari bilgiler mevcuttur. Enerji verimliliği kanunu ile birlikte binalarda fosil yakıtlar yerine alternatif enerji kullanımı teşvik edilmeye başlamıştır. Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği’ne göre yeni yapılacak olan ve 1.000 m²’nin üzerinde kullanım alanına sahip binalardaki ısıtma, soğutma, havalandırma, sıhhi sıcak su, elektrik ve aydınlatma enerjisi ihtiyaçlarının tamamen veya kısmen karşılanması amacıyla, yenilenebilir enerji kaynaklı sistem çözümleri üretilmelidir. Yine aynı yönetmelik yeni yapılacak binalarda yenilenebilir enerji sistemleri için belirtilen raporda tespit edilen ilk yatırım maliyeti enerji ekonomisi göz önünde bulundurulmak suretiyle, inşaat alanı 20.000 m²’ye kadar olan binalarda 10 yıl, inşaat alanı 20.000 m² ve daha büyük binalarda 15 yılda geri kazanılması durumunda bu sistemlerin yapılmasını zorunlu hale getirmiştir. Aynı şekilde, yeni yapılacak olan ve kullanım alanı 1.000 m²’nin üzerindeki oteller, hastaneler, yurtlar ve benzeri konaklama amaçlı konut harici binalar ile spor merkezlerindeki merkezi ısıtma ve sıhhi sıcak su sistemlerinde güneş enerjisi toplayıcıları ile sistemin desteklenmesi de zorunludur. [35]

Son yıllarda hızla yükselişe geçen toplu konut üretimi, binalarda ısıtma ve soğutma yüklerini alternatif enerji ile karşılanabilmesi açısından büyük bir fırsat olarak görülmelidir. Güneş pili uygulamaları bina kabuğuna kolayca uygulanabilir sistemler olduğundan bu sistemler için, uygulanan binanın özellikleri de dikkate alınarak enerji ve maliyet etkin analizlerinin yapılması bir gereklilik haline gelmiştir. Bu nedenle, bu çalışmada farklı formlarda üretilen binalar için, binaların ısıtma, soğutma ve aydınlatma yüklerinin güneş pili sistemleri ile karşılanmasının enerji ve maliyet etkinliği açısından değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaca uygun olarak geliştirilen yaklaşımın adımları aşağıdaki gibidir.

3.1. Dış Çevreye Ait İklim Verilerinin Toplanması

Dış çevredeki iklim durumu, dış iklim elemanlarının ulaştığı değerlerin bir bileşkesinden oluşmaktadır. Binalar, dış çevrede belirli iklim durumunun geçerli olduğu koşullarda pasif ısıtma ve iklimlendirme sistemleri olarak işlev görebilirler. Dolayısı ile binalar, dış iklim koşullarının ulaştığı değerlere bağlı kalınarak pasif ısıtma ve iklimlendirme sistemleri olarak tasarlanmalıdır. Dış iklim koşulları yörelere göre değişim gösterdiklerinden, pasif ısıtma ve iklimlendirme sistemlerini tanımlayan tasarım değişkenlerine ait değerler de yörelere göre değişim gösterecektir. Bu durumda dış iklimsel değişkenlerin, tasarımının girdileri olarak ele alınması gerektiği söylenebilir. Dış iklimsel değişkenler güneş ışıınımı, dış hava sıcaklığı, dış hava nemliliği ve rüzgâr olarak sıralanabilir. [36]

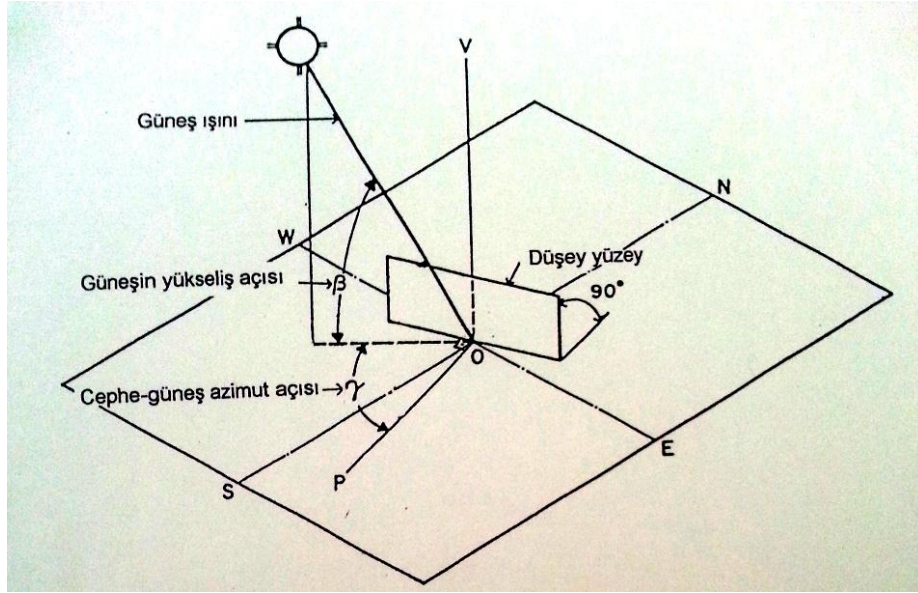
Yapının hangi iklim bölgesinde bulunduğu güneş pılıının performansını etkileyen değişkenlerden biridir. Bu nedenle uygulamanın yapılacağı bölgeye ait hava sıcaklığı, hava hareketi, nemlilik ve güneş ışıınımı gibi iklim elemanlarına ait veriler derlenmelidir.

3.1.1. Güneş ışıınımı

Güneş isinim değerleri ve güneş ışıınlarının geliş açıları güneş pili verimlerini doğrudan etkilemektedir. Güneş isinim değerleri yıl boyunca, günlerin uzunluklarına ve güneş yükseliş açılarına bağlı olarak da değişkenlik göstermektedir.

Bulutlu günlerde güneş ışınlamı yegınllığı düşeceği için güneş pilinin verimi de düşecektir. Bu nedenle güneş ışınlamı değerleri enleme bağlı olarak profil açılarını yardımıyla belirlenirken ele alınan bölgedeki ortalama bulutlu gün sayısı da belirlenmelidir.

Profil açısı, güneş bina ilişkisini kuran önemli bir faktördür ve binanın ele alınan cephesine dik olarak geçirilen kesit düzlemi üzerindeki izdüşümü ile yatay düzlem arasındaki açı olarak tanımlanır [30]. Profil açıları, güneşin yükseliş açısı ve cephe güneş azimut açısına bağlı olarak hesaplanabilmektedir. Güneş yükseliş açısı (β), güneşin doğrultusu ile yatay eksen arasındaki açı miktarıdır. Güneş azimut açısı (γ) ise güneşin yüzeye geliş doğrultusunun yatay bileşeninin güney doğrultusu ile yaptığı açıdır. [23] (Şekil 3.1)



Şekil 3.1 Güneş Açılarının Görünümü [23]

Profil açısı yapının bulunduğu yöreye ve yılın farklı zamanlarına göre değişiklik gösterebilen bir açıdır ve sistemin kurulacağı bölgeye ait profil açılarının belirlenmesi performans değerlendirmesi için gereklidir.

3.1.2. Dış Hava Hareketi

Dış hava hareketinin hızı ve esme sayısı farklı iklim bölgelerinde yerleşme dokusunun sıklığı, yerleşmenin arazideki konumu ve baktığı yöne göre değişkenlik göstermektedir. Aynı şekilde ısıtmanın istendiği ve istenmediği dönemler için de hâkim rüzgâr yönleri değişmektedir.

Yaz koşullarında, güneş pillerinde aşırı ısınma nedeniyle verim düşebilir. Bu durumda bölgedeki hakim rüzgâr aşırı ısınan modülleri soğutarak verimin düşmesini engeller.

3.1.3. Dış Hava Sıcaklığı

Dış hava sıcaklığının yüksek değerleri, özellikle ısıtmanın istenmediği dönemde güneş pillerinin aşırı ısınmasına dolayısıyla panelin performansının düşmesine sebep olur. Performans düşüklüğü özellikle kristal silisyum bileşen malzemeli panellerde amorf silisyum güneş piline oranla daha belirgindir. Bu yüzden binaya entegre edilmiş güneş pillerinde, paneldeki ısınmayı engellemek amacıyla, arka yüzeyinde hava akışını sağlayabilecek bir sistem oluşturulması güneş pili performansını artırıcı özelliğe sahiptir. [28] Sıcak iklim bölgelerinde binaya entegre edilmiş güneş pilinin ısınması, isi kazancına neden olup mekândaki konfor koşullarını olumsuz etkileyebilir. Bu da soğutma yükünü arttıracığından istenilmeyecek bir durumdur.

Güneş pilleri güneş enerjisinin %5-25 ini elektrik enerjisine dönüştürürler. Bu nedenle güneş enerjisinin fazlası güneş pili modüllerinde ısınmaya sebep olarak performansın düşmesine sebep olur. Dış hava sıcaklığı yaz aylarında daha yüksek olduğundan güneş pilinin arkasında oluşan sıcaklık 70-75°C'ye kadar yükselebilir. [14] Yüksek güneş ışıınımı olan bölgelerde binaya entegre panellerde panel sıcaklığı 20°C ile 40 °C arasında değişmektedir. Fakat 25 °C derecenin üzerinde panelde her 1°C lik sıcaklık artışı % 0.4-0.5 lik performans kaybına neden olmaktadır. Örneğin panel sıcaklığının 40°C ölçülmesi sonucu %7 civarında bir kayıp ortaya çıkmaktadır ki bu panelin kirlenmesiyle oluşabilecek enerji kaybına yakın bir miktardır. [28]

Yatayda ve düşeyde uygulanan güneş pillerinin aşırı sıcaklık sonucu performans kayıpları arasında ciddi farklılık görülmektedir. Kristal yapılı modüllerin çatı ve cephe uygulamalarında havalandırma durumu ve sıcaklık artışına bağlı olarak verimliliklerindeki düşüş miktarları Çizelge 3.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.1 Havalandırma Durumlarına Gore Çatı ve Cephelerdeki Verim Kayıpları ve Sıcaklıkları [14]

Havalandırma Durumu	ÇATI		CEPHE	
	Verim Kaybı (%)	Sıcaklık (°C)	Verim Kaybı (%)	Sıcaklık (°C)
İyi Havalandırma	2,1	29	3,9	35
Zayıf Havalandırma	2,6	32	4,8	39
Havalandırma Olmadan	5,4	43	8,9	55

Düşey cephe, çatı uygulamasına oranla daha zor havalandırılmasından dolayı verim kayıpları daha yüksek olmaktadır. [14]

3.1.4. Nem

Uzun süre kullanılan sistemlerde bazı modül tiplerinde suyun içeri girmesi sonucu birleşme yerlerine zarar verdiği ve böylelikle performansı etkilediği görülmektedir. Bu nedenle ele alınan bölgenin nemli bir bölge olup olmadığı belirlenerek güneş pilinin performansı bu verilere göre hesaplanmalıdır.

3.2. İç çevreye ait iklim verilerinin Toplanması

İklimsel konfor; belirli bir eylem gerçekleştirmekte olan insanın, bedensel ve zihinsel performansının en az enerji sarf ederek istenen düzeyde gerçekleşmesi olarak özetlenebilir. İklimsel konfor durumu 'insanın minimum miktarda enerji harcayarak çevresine uyum sağlayabildiği koşullar' olarak tanımlanmıştır. [37]

İç iklimsel değişkenlerinin alacağı optimum değerlerin bileşkesi, iklimsel konforu oluşturduğu için, iç iklimsel değişkenler tasarımın çıktıları olarak ele alınırlar. Bu değişkenler iç hava sıcaklığı, iç yüzey sıcaklıkları, iç hava hareketi ve iç hava nemidir. [36]

3.3. Farklı Bina Formlarında Güneş Pili Uygulamalarının Enerji ve Maliyet Etkinlik Açısından Değerlendirilmesinde Etkili Olan Binaya İlişkin Yapma Çevre Değişkenlerinin Belirlenmesi

Bu adımda, binalarda gerçekleşen ısıtma, soğutma ve aydınlatma yüklerini etkileyen ve bu yüklerin güneş pili uygulamaları ile karşılanmasında doğrudan etkili olan

binaya ilişkin yapma çevre değişkenleri belirlenmektedir.

3.3.1. Binanın Yerinin ve Diğer Binalara Gore Konumunun Belirlenmesi

Binanın konumu; enerji harcamalarını etkileyen güneş ışıınımı, hava sıcaklığı, hava hareketi ve nem gibi iklim elemanlarının değerlerinin bilinmesi için önemlidir. Binanın bulunduğu yörede geçerli olan iklimsel verilerin yani sıra bulunduğu arazinin konumu, yönlendiriliş durumu, eğimi, örtüsü gibi veriler binanın ısıtma, soğutma ve aydınlatma yüklerinin hesaplanmasında dolayısıyla Güneş pili uygulamasına ilişkin hesaplamaların yapılmasında oldukça önemlidir. Dünyanın şekli ve eksenini etrafında belli bir açıyla dönmesi nedeniyle güneş ışınlarının yeryüzüne geliş açısı bölgeden bölgeye farklılık göstermektedir. Bu nedenle güneş pili uygulaması yapılacak bir binanın bulunduğu bölgeye ait yıllık güneşlenme değerleri, güneş pilleri ile elde edilecek elektrik enerjisi miktarının belirleyicileridir. [28]

Binalar aralarındaki uzaklıklara bağlı olarak birbirleri için güneş ışıınımı engeli haline gelebilirler. Bu durum ısıtma, soğutma ve aydınlatma yükü hesaplamalarını ve binaya uygulanmış olan güneş pili verimini doğrudan etkiler. Bu nedenle binaların dış cephelerinin ne kadar direkt güneş ışıınımı aldığı belirlenmelidir ve binanın bulunduğu yere ek olarak binaların yükseklikleri ve birbirlerine göre olan konumları da belirlenmelidir.

Binanın konumlanması diğer binalarla arasındaki mesafeyi, güneş ışıınımı, hava akış hızını ve yönünü etkileyeceğinden tasarım değişkenleri açısından önemlidir. Binalar birbirleri üzerinde rüzgâr veya güneş kırıcı olarak işlev görebilir, komşu binanın direkt güneş ışıınım almasına engel olup, gölgede kalmasına sebep olabilirler. Binalarda yenilenebilir enerji kaynakları kullanılmak istenildiği durumlarda bu konumlanış alternatif enerji kaynağı sisteminin performansını doğrudan etkileyebilir.

Güneş pillerinin uygulandığı binalarda bina aralıkları gölgelenme sebebiyle oldukça önemlidir.

Güneş pillerinin veriminin belirleyicisi olan güneş ışıınım, çevre binaların veya diğer engellerin güneş pili uygulanan binadan uzaklığına, yüksekliğine ve binaya göre konumlandırılış durumuna bağlı olarak değişkenlik gösterir.

3.3.2. Bina Formu Alternatiflerinin ve Binaların Yönlendiriliş Durumunun Belirlenmesi

Binaların yönlendiriliş durumu, farklı yönlere bakan cephelerdeki güneş pili uygulamalarından elde edilecek enerji kazancını doğrudan etkilemektedir. Ayrıca rüzgâr yönü binanın doğal havalandırmasını ve olabilecek isi kayıplarını da etkileyeceğinden binaların iklim bölgesinin ihtiyaçlarına göre gerektiğinde rüzgârdan ve güneşten faydalanmaları gerektiğinde ise korunacak şekilde yönlendirilmeleri beklenmektedir. Güneş pillerinden elde edilen enerji miktarı binanın bulunduğu enleme ve panelin yüzey ile yaptığı eğim açısına göre değişim göstermektedir. [14] Bina kabuğundan geçen isi miktarını hesaplayabilmek amacıyla, binayı çevreleyen elemanların ve dolayısıyla kabuk elemanının yüzey alanını belirleyen, hacmin yatay ve düşey doğrultudaki boyutlar ve bunun bir fonksiyonu olan binanın formu belirlenmelidir. [38]

Bina formu, binanın çevresel etmenlerden korunma ve yararlanma düzeyini belirleyen, enerji tüketimini etkileyen faktörlerdendir. Enerji korunumu açısından ısıtmanın istenmediği dönemde isi kazancının en az, ısıtmanın istendiği dönemde ise maksimum ısı kazancının sağlanabileceği formlar seçilmelidir.

Bina formu; biçim faktörü (bina cephesinin derinliğine oranı), bina yüksekliği, çatı tipi (düz, beşik, kırma), döşeme turu (toprağa oturan döşeme, altı açık döşeme), çatı eğimi ve cephe eğimi gibi geometrik değişkenlerle tanımlanabilir.

Bina kabuğunda gerçekleşen isi kayıp ve kazançları binanın enerji yüklerinin dolayısıyla güneş pili uygulamaları sonucu elde edilen enerji kazançlarının da belirleyicileridir. Bir başka deyişle, bina formu pasif ısıtmada güneş ışınlamından ve gün ışığından faydalanmayı ve farklı yönlere yönlendirilmiş bina kabuğu alanlarının etkisiyle elde edilecek elektrik üretimini doğrudan etkileyebilmektedir. Bununla birlikte; bina kabuğu yüzey alanı ve bina hacmi arasındaki ilişkinin (V/A) güneş ışınlamı miktarından elde edilecek elektrik üretimi ve binanın enerji verimliliğini etkilediği bilinmektedir.

Bu noktada binanın isi kayıp ve kazançlarına karşı korunmuş hacmi (V) ile isi geçişinin gerçekleştiği alanı (A) arasındaki V/A oranının esas alınarak ısıtma, soğutma ve aydınlatma enerjisi harcamalarına ilişkin değerlendirme yapılabilir. Başka bir deyişle, aynı hacmi çevreleyen farklı bina formlarını tanımlamada V/A oranı temel alınarak minimum ısıtma, soğutma ve aydınlatma enerjisini gerçekleştiren bina formunu belirlemek olanaklıdır. [39]

Bu nedenle, gerçekleşen ısıtma, soğutma ve aydınlatma yüklerini azaltmak amacıyla yapılacak olan güneş pili uygulaması sonucu enerji etkinlik ve maliyet açısından en uygun sonucu verecek bina formunun belirlenebilmesi için farklı yönlendiriliş durumları ile birlikte bina formu alternatiflerinin belirlenmesi gerekmektedir.

Bununla birlikte binalarda farklı çatı tipleri uygulandığında, çatılara yerleştirilen güneş pillerinin eğimleri ve yönleri de farklılık göstermekte ve bu durum enerji yükü ve kazancı dengesini etkileyebilmektedir. Bunlara ek olarak binanın formu kendi kendine gölge atarak cephelerin günün belirli saatlerinde gölgede kalmasına yol açabilir. Bacalar, cephe ve çatıdaki çıkıntılar ve saçaklar, bina strüktürünün uzantıları, çatıya kadar çıkan merdivenkovaları veya ek kat gibi birçok yapı elemanı da güneş pillerinin üzerinde gölgeli alan yaratabilir. Bu durum güneş pillerinin performanslarının düşmesine ve elektrik üretiminin azalmasına yol açacaktır.

Bina yüzey alanları ve hacimleri aynı ancak farklı formlara sahip binaların dış cephe alanları farklı olacağından bu binaların yüzeylerinde gerçekleşecek olan isi geçişleri de farklı olacaktır

3.3.3. Binanın Fonksiyonuna Bağlı Olarak Binaya İlişkin Kullanım Suresinin Belirlenmesi

Binalar fonksiyonlarına bağlı olarak yıl içinde belirli dönemlerde (örn. eğitim yapıları), gün içinde belirli saatlerde (örn. ofis binaları) veya 24 saat kesintisiz (örn. konut binaları) kullanılabilirler.

Binaların fonksiyonları enerji tüketimi ile doğrudan ilişkili olduğundan güneş pili ile üretilen enerji verimini de etkiler. Buna bağlı olarak; kullanım aralığının farklılığı, enerji gereksiniminin de farklı dönem veya saatlerde olması sonucunu doğurur.

Örneğin sadece gündüz kullanılan bir binada gündüz güneş pilleri ile elde edilecek enerji depolanmaya gerek kalmadan kullanılabilirken, 24 saat kullanılan yapılarda gece artan enerji gereksinimi sebebiyle, gündüz üretilen enerjinin depolanması gerekmektedir. Bu durum ilk yatırım maliyetlerinin artmasına yol açmaktadır.

Ayrıca yine binanın fonksiyonuna bağlı olarak, binada tüketilen enerji miktarı elektrik cinsinden belirlenmelidir. Elektrik yükleri hesaplanırken fazla güvenli tarafta kalınması ya da hatalı hesap yapılması, kullanılacak sistemin gereğinden büyük boyutlandırılmasına, dolayısıyla maliyetin artarak optimum fayda-maliyet dengesinden uzaklaşmasına yol açacaktır.

Yapma ısıtma, soğutma ve aydınlanma enerji yüklerinin değerlendirildiği binaya ait değişkenlerin belirlenmesi ve buna bağlı olarak da maliyet açısından en uygun güneş pili sistemi kurulumuna karar verilmesi için binanın fonksiyonuna bağlı olarak kullanım süresi belirlenmelidir.

3.3.4. Bina Kabuğunun Optik ve Termofiziksel Özelliklerinin Belirlenmesi

Bina kabuğunun optik ve termofiziksel özellikleri opak ve saydam bileşenlerden geçen ısı miktarının ve hacimde gerçekleşen iç hava sıcaklığının dolayısıyla ısıtma enerjisi yüklerinin belirleyicileridir. [31]

Kabuk bileşeninin dış yüzeyine bağlı olarak yutuculuk (a), ve yansıtıcılık (r), saydam bileşenine bağlı olarak da geçirgenlik (τ) gibi optik özellikleri bulunmaktadır. Bu özellikler birim alandan geçen güneş ışınımı ile kazanılan ısı miktarını etkiler. Güneş ışınımına karşı yutuculuk, yansıtıcılık ve geçirgenlik katsayıları aşağıdaki bağıntılar ile ifade edilir.

$$a_o + r_o = 1 \text{ (opak bileşenler için)} \quad (3.1)$$

a_o = Bileşenin yutuculuk katsayısı

r_o = Bileşenin yansıtıcılık katsayısı

$$a_o + r_o + \tau_o = 1 \text{ (saydam bileşenler için)} \quad (3.2)$$

a_o = Bileşenin yutuculuk katsayısı

r_o = Bileşenin yansıtıcılık katsayısı

τ_o = Bileşenin geçirgenlik katsayısı

Yerleşim yerinin dış iklimine ilişkin özelliklerine göre iç iklime ilişkin konfor koşullarını sağlayan bina kabuğunun;

- Saydamlık oranı,
- Toplam isi geçirme katsayısı (U)
- Kabuğun zaman geciktirmesi ve genlik küçültme faktörü
- Kabuğun isi depolama özelliği gibi termofiziksel özellikleri bulunmaktadır.

Saydamlık oranı, kabuktaki saydam bileşen yüzey alanlarının tüm kabuk yüzey alanına oranıdır. Saydam ve opak bileşenden geçen isi miktarının farklı olması nedeniyle, kabuktan geçen toplam isi miktarını etkileyen bir değişkendir. [32]

Toplam isi geçirme katsayısı (U), gerek opak, gerekse saydam yapı kabuğu bileşenlerine ilişkin bir termofiziksel özelliktir ve farklı iki çevreyi ayıran bir yapı bileşeninin iki yüzünde etkili olan hava sıcaklıkları arasındaki fark 1°C iken, 1 m^2 alandan, 1 saatte geçen toplam isi miktarı olarak tanımlanmaktadır. [33] Bir yapı bileşeninin toplam isi geçirme katsayısı aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır.

(3.3)

$U = \text{Opak bileşenin toplam isi geçirme katsayısı , (W/m}^2\text{°K)}$

$a_1, a_2 = \text{Dış ve iç yüzeysel isi iletkenlik katsayıları , (W/m}^2\text{°K)}$

$d_1, d_2, \dots, d_n = \text{Opak bileşeni oluşturan katmanların kalınlıkları, (m)}$

$\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n = \text{Opak bileşeni oluşturan katmanların ısı iletkenlik katsayıları, (W/m}^2\text{°K) [32]}$

Kabuğun zaman geciktirmesi, gün içinde, kabuk bileşenini etkileyen maksimum sol-air sıcaklığın etkisinin, bileşenin iç yüzünde maksimum yüzey sıcaklığını oluşturuncaya kadar geçen süre olarak tanımlanmaktadır. Genlik küçültme faktörü ise, gün içinde ele alınan bileşene ilişkin maksimum iç yüzey sıcaklığı ile ortalama iç yüzey sıcaklıkları farkının, maksimum sol-air sıcaklık ile ortalama sol-air sıcaklık farkına olan oranıdır, şeklinde tanımlanabilir. [33]

Zaman geciktirmesi ve genlik küçültme faktörü gibi termofiziksel özellikler, ısı depolama niteliklerinden ötürü, opak kabuk bileşenleri için söz konusudur. Bu özellikler bileşeni oluşturan katmanların, ısı iletkenlik katsayıları (λ), kalınlıkları (d), yoğunlukları (ρ), özgül ısıları (c) ve dolayısıyla ısı kapasitelerinin (ρc) fonksiyonudurlar. [32]

Kabuğun ısı depolama özelliği, kabuk bileşenini oluşturan katmanların, ısı iletkenlik katsayıları, kalınlıkları, yoğunlukları, özgül ısıları ve dolayısıyla ısı kapasitelerinin fonksiyonudur.

Kabuğun optik ve termofiziksel özellikleri, kabuğun opak ve saydam bileşenlerinden geçen ısı miktarlarının ve hacimde gerçekleşen iç hava sıcaklığı ve iç yüzey sıcaklıklarının belirlenmesinde etkili olurlar.

Bina kabuğuna ait tüm optik ve termofiziksel özellikler göz önünde bulundurularak ısıtma enerjisi hesaplamalarında kullanılmak üzere;

- Bina kabuğunun saydam alanlarının tüm cephe alanına oranı olan saydamlık oranı belirlenmelidir.
- Saydam bileşene ilişkin optik ve termofiziksel özelliklerin hesaplamalarda kullanılabilmesi için binada kullanılan cam ve doğrama tipleri belirlenmelidir.
- Güneş pili uygulaması için kullanılabilecek opak yüzey alanlarının belirlenmesi için bina kabuğunun saydamlık oranı belirlenmelidir.
- Bina kabuğunun opak bileşenlerini oluşturan malzemelerin ısı geçişine ilişkin fiziksel özellikleri de (λ , e , c , u) hesaplamalarda kullanılmak üzere belirlenmelidir.

[38]

- Bu nedenle öncelikle opak bileşen toplam ısı geçirme katsayısı hesap değerlerine karar verilmelidir.

Saydamlık oranı;

Saydamlık oranı aynı zamanda opak bileşenin yani güneş pili uygulaması yapılabilecek olan yapı bileşeninin alanını da belirler. Dolayısıyla farklı saydamlık oranlarına sahip farklı cephelerde uygulanabilecek güneş pili alanı da saydamlık oranına bağlı olarak belirlenir.

Toplam Isı Geçirme Katsayısı;

Güneş pili uygulamalarında güneş pilleri binaya entegre ediliyorsa toplam ısı geçirme katsayısı (U değeri) hesaplanırken güneş pilinin de en dış katman olarak hesaplamalara katılması gerekmektedir. Dolayısıyla binaya entegre güneş pili uygulamaları bina kabuğunun toplam ısı geçirme katsayısı değerini daha da düşürerek ısıtma enerjisi harcamalarını azaltmaktadır. Ancak güneş pilleri ile bina cephesi arasında boşluk bırakılarak (entegre edilmeden) uygulama yapıldığında bu sistem toplam ısı geçirme katsayısını değiştirmemektedir. Bu uygulama turu yardımıyla güneş pillerinin arka yüzeyleri açık hava ile doğrudan temas ettiği için aşırı ısınmadan kaynaklanabilecek performans düşüklüğü de engellenmiş olur.

Bina ısı geçirme katsayısı sınır değeri, binanın bulunduğu iklim bölgesine ait koşullara göre, iç mekânda iklimsel konfor koşullarının sağlayacak şekilde yönetmelikler tarafından belirlenmiştir. [40] Farklı iklim bölgeleri için yönetmeliklerin belirlediği sınır değerlere uygun olacak şekilde opak bileşenlere ait toplam ısı geçirme katsayısı hesap değeri belirlenebilir.

3.4. Farklı Bina Formlarında Gerçeklesen Yıllık Toplam Enerji (Isıtma, Soğutma ve Aydınlatma) Yüklerinin Hesaplanması

Bina kabuğunun birim alanından kaybedilen ve kazanılan saatlik ısı miktarları, opak ve saydam bileşenin termofiziksel özelliklerinin belirlenmiş değerlerine (cephelerin yönlendiriliş durumu, opak bileşen toplam ısı geçirme katsayısı, zaman geciktirme ve genlik küçültme faktörü ve saydamlık oranları) bağlı olarak hesaplanmaktadır. Belirlenmiş olan farklı bina formlarına ilişkin değişkenler ve iç ve dış iklimsel koşullara ait değerler yardımıyla her bina seçilen bir simülasyon programında modellenip mevcut durumlarındaki ısıtma, soğutma ve aydınlatma yükleri hesaplanmalıdır.

3.5. Binada Güneş Pili Uygulamasına İlişkin Değişkenlerin Belirlenmesi

Binanın yıl boyunca gerçekleştirdiği ısıtma, soğutma ve aydınlatma yüklerinin bir bolumu, binaya ait değişkenlere ilişkin alınan doğru kararlar yardımıyla karşılanabilir.

Ancak, yılın belli dönemlerinde, dış çevreye ait iklim koşullarının uç değerler göstermesi olanaklıdır. Bu dönemlerde binadaki iç iklimsel konfor koşullarının sağlanabilmesi için aktif sistemlere gereksinim duyulmaktadır. Aktif sistemlerden güneş pili uygulaması sonucu elde edilen alternatif enerji yardımıyla çalıştırılması binanın tüketeceği enerjiyi kendisinin üretmesine olanak tanır. Binalarda güneş pili uygulamasının surecinde ele alınacak olan değişkenler aşağıdaki gibidir.

3.5.1 Güneş Pili Bina Kabuğuna Uygulanmasına İlişkin Seçeneklerin Belirlenmesi

Güneş pili sistemleri güneş ışınımı yardımıyla elektrik enerjisi üreten sistemlerdir. Güneş pili uygulamasının yapıldığı yöreye bağlı olarak güneş ışınımının yeryüzüne geliş açıları farklılık gösterecektir. Aynı şekilde güneş pilinin yatay düzlemle yaptığı açıya ve yönlendiriliş durumuna göre güneş ışınımı kazancı, dolayısıyla verimi de değişim gösterecektir. Bu nedenle güneş pili uygulamalarında sağlanan verimin hesaplanabilmesi için güneş pilinin bina kabuğunun hangi yüzeyine ve hangi açı ile uygulanacağına ilişkin seçeneklerin belirlenmesi gerekmektedir.

3.5.2 Güneş Pili Tiplerinin Belirlenmesi

Güneş pillerinin verimleri ve maliyetleri üretildikleri malzemeye göre değişim göstermektedir. Bu nedenle seçilen malzemeye göre kullanılacak olan güneş pilinin yıllık verimleri belirlenmelidir. Ayrıca güneş pili sisteminin kurulum maliyetlerinin hesaplanabilmesi açısından da güneş pili sisteminin şebekeye bağlı olup olmadığı, eğer bağlı ise seri veya paralel bağlantı tiplerinden hangisi ile bağlandığı gibi değişkenlerin tanımlanmış olması gerekmektedir.

3.5.3 Bina Kabuğuna Uygulanan Güneş Pillerinden Elde Edilecek Enerji Miktarının Hesaplanması

Bina kabuğunun güneş pilleri ile kaplanması sonucu, kabuğun yüzey alanına, eğim açısına, yönlendiriliş durumuna ve dış hava sıcaklığına bağlı olarak farklı miktarlarda enerji üretimi gerçekleşmektedir.

Bolum 4.5.1’ de: güneş pillerinin bina kabuğunun hangi yüzeyine, hangi açı ile uygulanacağına ilişkin üretilmiş olan seçeneklerin hepsi bolum 4.3.2’de belirlenmiş olan farklı bina formlarına uygulandığında elde edilecek olan enerji üretimi miktarı hesaplanmalıdır.

3.5.4. Farklı Bina Formları İçin Bina Kabuğuna Uygulanan Güneş Pillerinin Enerji Etkinliğinin Değerlendirilmesi

Güneş pillerinin bina kabuğuna uygulanması için geliştirilmiş olan seçenekler her bir farklı bina formu için ayrı ayrı uygulandığında; simülasyon programı yardımıyla hesaplanmış olan ısıtma, soğutma, aydınlatma yükleri ve güneş pillerinin ürettikleri enerji miktarlarını karşılaştırmak olanaklıdır. Böylelikle güneş pillerinin binanın ısıtma, soğutma ve aydınlatma yüklerini hangi oranda karşıladığı her güneş pili uygulanması seçeneği ve bina formu kombinasyonu için ayrı ayrı belirlenerek enerji etkinliği açısından değerlendirme yapılabilir.

3.6. Farklı Bina Formları İçin En Yüksek Kazancın Elde Edildiği Seçeneğin Ekonomik Açıdan Değerlendirilmesi

Bu adıma kadar elde edilen veriler binanın ısıtma soğutma ve aydınlatma yüklerini ve güneş pili kazançlarının belirlenmesini sağlamaktadır. Böylelikle bina kabuğuna uygulanacak güneş pilinin kazandırdığı enerji miktarının, binadaki yıllık toplam enerji yüklerine oranına erişilebilmektedir. Ancak, binaya yapılacak her uygulama, yatırımın bir parçası olduğundan belirli bir maliyeti bulunmaktadır.

Bu adımda, 4.5.4. bölümde belirlenmiş olan en yüksek kazancın elde edildiği seçenekler için ekonomik değerlendirme yapılarak hangisinin maliyet etkin olduğu görülmek istenmektedir. Çalışmanın ekonomik açıdan değerlendirmeye ilişkin adımları aşağıdaki gibidir.

3.6.1. Güneş Pili Uygulamalarında Ekonomik Açıdan Değerlendirmenin Yapılabilmesi İçin Yöntem Seçilmesi

Bina maliyeti, projeye ilişkin girişim işlemleriyle başlayıp, kullanım evresinin tamamlanıp, yok edilmesiyle sona eren üretim sürecindeki tasarım, gerçekleştirme ve kullanım donemi boyunca oluşan tüm maliyetleri kapsamaktadır. Sonlu yakıtların kullanımını azaltan ve çevre ile dost alternatif enerji sistemleri için ilk yatırım-maliyetinin esas alınması görüşü, alternatif enerji temelli sistemlerin maliyet hesabı olarak kullanılamaz. [41] . Ekonomik değerlendirme önerilen projelerden hangisinin daha ekonomik olduğuna ve projenin istenen kârlılığı sağlayıp sağlamadığı sorusuna cevap vermektedir. Özellikle inşaat sektöründeki riskler ve belirsizlikler sebebiyle, yatırımın gerçekleştirilmeden önce ekonomik olarak değerlendirilmesi, yatırımcılara projeyi uygulamadan önce değerlendirme, mali riskleri görme fırsatı vermektedir. Ekonomik kararlılığın oluşturulmasında, yaşam donemi maliyet analizini kavramı hem ilk yatırım maliyetlerini ve hem de yıllık işletim maliyetlerini dahil eder. [42] Yaşam dönemi maliyet değerlendirmesi sistemin belirlenecek ömrü için su anki ve gelecekteki maliyetlerin güncel bugünkü değer üzerinden toplandığı hesap edilir. Amaç, diğer tüm proje alternatifleriyle toplam maliyeti tahmin ederek kalite ve fonksiyonunda tutarlılık sağlayan tasarımlardan maliyeti en düşük olanı seçmektir. [43] Bu sebeplerden dolayı, inşaat sektöründe, ekonomik değerlendirme yaklaşımlarından Yaşam Donemi Maliyeti (Life Cycle Cost) yaklaşımı en yaygın olanıdır. Paranın zaman değerini de göz önünde bulunduran bu yaklaşımda, projenin tasarım safhasından, ürünün yok ediliş safhasına kadar belirlenen süreçte işletme, bakım, onarım maliyetleri gibi maliyetler de hesaplanmaktadır.

Bahsedilen ekonomik değerlendirme yöntemi olan ‘Yaşam Donemi Maliyeti’ yönteminde paranın eşdeğerliliğinin de sağlanması gerekmektedir. Sabit para değeri ile ekonomik analiz arasında ilişki kurmak uygun olduğu için şimdiki değer yöntemi kullanılmalıdır. [44] Gelecek para akışının veya ödemenin şimdiki değeri, ödenen paranın zaman değeri ile akışın gelecekteki değeridir. [45]

3.6.2. Seçilen Yöntemin Uygulanması İçin Gerekli Verilerin ve Varsayımların Hazırlanması

İlk yatırım maliyetleri, bakım, onarım, yenileme ve işletme maliyetleri, hurda değeri, hesap döneminin belirlenmesi ve indirgeme oranının belirlenmesi gibi varsayımlar, ekonomik değerlendirme yöntemlerinin uygulanabilmesi için gereklidir.

3.6.2.1. Güneş Pili Kurulumu İlk Yatırım Maliyetlerinin Hazırlanması

Binalara uygulanacak güneş pili kurulumları metrajlarına, monte edildikleri mimari elemana, acılarına ve güneş pili tipine göre değişebilmektedir. Bina kabuğuna uygulamanın güneş pili uygulamasının ekonomik açıdan değerlendirilebilmesi için piyasadan elde edilecek verilere göre anahtar teslim maliyetlerinin bilinmesi gerekmektedir.

3.6.2.2. Bakım Onarım, Temizlik Maliyetlerinin Hazırlanması

Bakım, onarım, temizlik maliyetleri Güneş pili sistemi için gelecek maliyeti olarak tanımlanabilir. Bu tür maliyetler, sistemler kullanıldığı müddetçe periyodik olarak var olurlar. Enerji masrafları, vergiler, temizlik de bu tip maliyetlerdendir.

3.6.2.3. Yenileme Maliyetlerinin Hazırlanması

Sistemin ömrüne göre bazı bileşenlerin ömrü daha kısa olacağından, bu bileşenlerin periyodik olarak yenileneceği, aynı şekilde sistemin ömrü boyunca fonksiyonlarında meydana gelebilecek değişimler sebebiyle yenilemeler geçirebileceği göz önünde bulundurularak, bu kalemlere ait maliyetlerin hesaplanması gerekmektedir. [31]

Güneş Pili sistemleri içerisinde çok çeşitli bileşenleri barındırmaktadır. Bazı bileşenlerin ömürleri, güneş pili sistemi için belirlenen dönemden daha kısa olabilir. Bu durumda, bu süre zarfında sistem içerisindeki cihazlardan ömrünü tamamlayıp, yenisi ile değiştirilmesi gerekebilmektedir.

3.6.2.4. İşletme Maliyetlerinin Hazırlanması

İşletme maliyetleri bina içerisinde kurulması planlanan bu sistemlerin çalışması için gerekli olan, sürekli istenen hizmetlerin sağlanabilmesi için düzenli olarak oluşan maliyetlerdir. Teknik olan bu sistemlerin kontrol edilmesi için gerekli olabilecek bedel işletme maliyeti olarak tanımlanabilir.

3.6.2.5. Yok Etme Maliyetlerinin Hazırlanması

Belirli bir periyod için yapılması planlanan bu ekonomik değerlendirme yaklaşımında, periyodun tamamlanmasıyla beraber sistemin tamamen ortadan kaldırıldığı kabul edildiğinden, sistemin yok edilmesi için gereken maliyet belirlenmelidir. Yok etme maliyeti kurulumu tamamlanmış olan urunun, yerinden sokulup, geri kazanımı mümkünse hurdaya verildiği, değilse tamamen yok edildiğinin kabulüyle ortaya çıkmaktadır.

3.6.2.6. Hurda Değerinin Belirlenmesi

Kurulan sistemin, yaşam döneminin sonunda varsa taşıdığı parasal değer hurda değeri olarak tanımlanabilir. Hurda değeri genellikle negatif maliyettir. [45]

3.6.2.7. Ekonomik Değerlendirmenin Yapılacağı Surenin Belirlenmesi

Kurulacak güneş pili sistemin ömrüne bağlı olan ya da yatırımı yapacak kişi ya da kuruluşların yatırım açısından öngördükleri süre olarak tanımlanabilir. Bir ekonomik değerlendirmenin yapılabilmesi için ne kadarlık bir dönemi kapsayacağının belirlenmesi gerekmektedir.

3.6.2.8. İndirgeme Oranlarının Belirlenmesi

Belirlenen dönem içerisinde maliyetlerin ne kadarlık değer kaybına uğrayacağı, ya da enflasyon sebebiyle maliyetlerin ne kadar artış gösterdiğinin belirlenmesi gerekmektedir. İndirgeme değeri gelecekteki maliyetin bugünkü değerine ulaşmak için gerekli olan katsayıdır. Bu veriler, çeşitli istatistik ve tahmin kuruluşlarının yapmış olduğu çalışmalardan elde edilebilir. [31]

3.6.3. Farklı Bina Formlarındaki Güneş Pili Uygulaması Seçeneklerinin Yaşam Dönemi Maliyetlerinin Hesaplanması ve Karşılaştırılması

Bina kabuğuna güneş pili uygulama seçeneklerinin her birinin farklı bina formlarında uygulandığı kombinasyonlar için yaşam dönemi maliyetlerini hesaplamak ve her bina formu için en ekonomik seçeneği önermek olanaklıdır. Aynı şekilde bu hesaplamalar sonucunda en ekonomik seçeneğin gerçekleştiği farklı bina formları da karşılaştırmalı olarak değerlendirilebilir.

3.6.4. Yasam Dönemi Maliyeti Açısından En Uygun Bina Formu ve Güneş Pili Uygulama Seçeneğinin Belirlenmesi

Bir önceki adımda belirlenmiş olan her bina formu için en ekonomik güneş pili uygulaması seçeneklerinin birbirleriyle karşılaştırılması sonucunda ‘Binanın ısıtma, soğutma ve aydınlatma yüklerini maksimum enerji kazancı ve minimum yaşam dönemi maliyeti ile karşılayan seçenek en uygun seçenektir.’ kıstası esas alınarak uygun seçenek belirlenebilir.

4. ÖNERİLEN YAKLAŞIMIN FARKLI BİNA FORMLARI İÇİN UYGULANMASI

Bu adımda, farklı bina formlarında iklimsel konfor ve enerji korunumunu sağlamak amacıyla güneş pili uygulamalarının enerji ve maliyet etkinliği açısından performanslarının değerlendirilmesi hedeflenmiştir. Aynı hacim ve aynı bina yüzey alanına sahip 7 farklı bina formu için, düz çatı, kırma çatı ve beşik çatı önerildiğinde, çatı ve/veya cephelerde güneş pili uygulamaları gerçekleştirilmiştir. Uygulama çalışmasında yapılan kabuller ve izlenen yol aşağıdaki gibidir.

4.1. Dış Çevreye Ait İklim Verilerinin Toplanması

Uygulama çalışmasında, tüm hesaplamalar meteorolojik veriler doğrultusunda hazırlanmış meteorolojik veri dosyasının, kullanılan simülasyon programına aktarılmasıyla, gerçek atmosfer koşulları altında yapılmıştır.

Simülasyon hesaplarında hava sıcaklığı, güneş ışıınımı, hava hareketi ve nemlilik gibi dış iklim elemanlarına ait veriler bulunmaktadır. Simülasyonlarda ele alınan İstanbul iline ait epw. (energy plus weather) formatındaki iklimsel veriler Design Builder simülasyon programında hesaplamalar için kullanılmıştır.

4.2. İç Çevreye Ait İklim Verilerinin Toplanması

Binada ısıtma ve soğutma sistemleri için elektrikli bir sistem seçilmiştir. İç hava sıcaklığı konfor değeri; ısıtmanın istendiği dönem için 20°C, soğutmanın istendiği dönem için ise 26°C olarak belirlenmiştir. İç hava sıcaklığının alt sinir değeri olarak 12°C, üst sinir değeri olarak da 28°C kabul edilmiştir. Binada sağlanması gereken aydınlık düzeyi ise 150 lux olarak belirlenmiştir.

4.3. Farklı Bina Formlarında Güneş Pili Uygulamalarının Enerji ve Maliyet Etkinlik Açısından Değerlendirilmesinde Etkili Olan Binaya İlişkin Yapma Çevre Değişkenlerinin Belirlenmesi

Binaya ilişkin yapma çevre değişkenleri, binanın ısıtma soğutma ve aydınlatmaya bağlı yıllık toplam enerji yüklerini ve güneş pili sistemlerinden elde edilecek yıllık enerji kazançlarını etkilemektedir. Farklı bina formları için ele alınan yapma çevre değişkenleri aşağıda verilmiştir.

4.3.1. Binanın Yerinin ve Diğer Binalara Gore Konumunun Belirlenmesi

Ele alınan binalar İstanbul ilinde, düz bir arazide yer almaktadır. Binanın çevresinde herhangi bir bina bulunmadığı, dolayısıyla herhangi bir bina tarafından gölgelenmediği varsayılmıştır.

4.3.2. Bina Formu Alternatiflerinin ve Binaların Yönlendiriliş Durumunun Belirlenmesi

Değerlendirme çalışmasında kullanılmak üzere V/A oranları aynı olan ancak farklı formlara sahip 7 farklı bina formu üretilmiştir. Her bina formunda sırasıyla teras çatı, kırma çatı ve beşik çatı uygulanmıştır. Çalışma için üretilen bina formları ve yönlendiriliş durumları Çizelge 4.1’de gösterilmektedir.

Çizelge 4.1 Bina Formları ve Yönlendiriliş Durumları

$V=4800 \text{ m}^3$ (+-%2) $A=1760 \text{ m}^2$ (+-%2) $V/A=2,73$ (+-%2)	BF1	BF2	BF3	BF4	BF5	BF6	BF7
DÜZ ÇATI							
KIRMA ÇATI							
BEŞİK ÇATI							
Güney C. Genişliği (m)	28,8	24	17,7	20	16,6	14,2	12,8
Doğu C. Genişliği (m)	12,8	14,2	16,6	20	16,6	14,2	12,8
Yükseklik (m)	12,8	14,2	16,6	12	17,7	24	28,8
Bina Taban Alanı (m ²)	369	341	294	400	276	202	164
Güney C. Alanı (m ²)	369	341	294	240	294	341	369
Doğu + Batı C. Alanı (m ²)	328	403	551	480	588	682	737
Toplam Cephe Alanı (m ²)	1065	1085	1139	960	1175	1363	1475

4.3.3. Binanın Fonksiyonuna Bağlı Olarak Binaya İlişkin Kullanım Suresinin Belirlenmesi

Binanın toplam ısıtma, soğutma ve aydınlatma yüklerinin belirlenmesi amacıyla, bina kullanım suresine ilişkin kabul edilen değişkenler aşağıdaki gibidir.

- Kullanıcıların hafta içi ve hafta sonu 24 saat binada bulundukları kabul edilmiştir.
- Kullanıcı yoğunluğunun 0,04 kişi/m² olduğu kabul edilmiştir.
- Isıtmanın istendiği dönemde ısıtma sistemlerinin işletme biçimi hafta içi ve hafta sonu 07:00 – 23:00 saatleri arasında iç hava sıcaklığı 20°C, 23:00-07:00 saatleri arasında ise 12°C olacak şekilde ayarlanmıştır.
- Soğutmanın istendiği dönemde soğutma sistemlerinin işletme biçimi hafta içi ve hafta sonu 07:00 – 23:00 saatleri arasında iç hava sıcaklığı 26°C, 23:00-07:00 saatleri arasında ise 28°C olacak şekilde ayarlanmıştır.

4.3.4. Bina Kabuğunun Optik ve Termofiziksel Özelliklerinin Belirlenmesi

Bina kabuğunun optik ve termofiziksel özellikleri, binanın, ısıtma ve soğutma ve aydınlatmaya bağlı yıllık enerji harcamalarını etkileyen oldukça önemli bir değişkendir. Uygulamada kullanılacak binalardaki kabuğa ilişkin optik ve termofiziksel özellikleri aşağıda belirtilmiştir.

- Tüm bina formlarında, tüm cepheler için toplam saydamlık oranı %30 olarak kabul edilmiştir.
- Tüm bina formlarında, saydam bileşenlerin doğramaları (Çift cam C1r 3 mm/13 mm hava) olacak şekilde, toplam ısı geçirme katsayısı $U= 1,79 \text{ W/m}^2\text{-K}$ olarak kabul edilmiştir.
- Opak bileşenlere ait toplam ısı geçirme katsayıları TS-825 ‘Bina Isı Yalıtım Kuralları’ Standardının verdiği sınır değerlere uygun olarak tanımlanmıştır. [40]

2. Bölgede bulunan İstanbul şehri (ılımlı-nemli iklim bölgesi) TS-825 ‘Binalarda Isı Yalıtım Kuralları’ Standardına göre kabul edilmesi tavsiye edilen sınır U değerler aşağıda görülmektedir.

$$U_{duvar} = 0,57 \text{ (W/m}^2\text{K)}$$

$$U_{tavan} = 0,38 \text{ (W/m}^2\text{K)}$$

$$U_{döşeme} = 0,57 \text{ (W/m}^2\text{K)}$$

$$U_{pencere} = 1,8 \text{ (W/m}^2\text{K)}$$

Bu sınır değerler esas alındığında, uygulamada seçilen binaların bina kabuklarını oluşturan malzemelerine ilişkin fiziksel özellikler Çizelge 4.2'de gösterilmektedir.

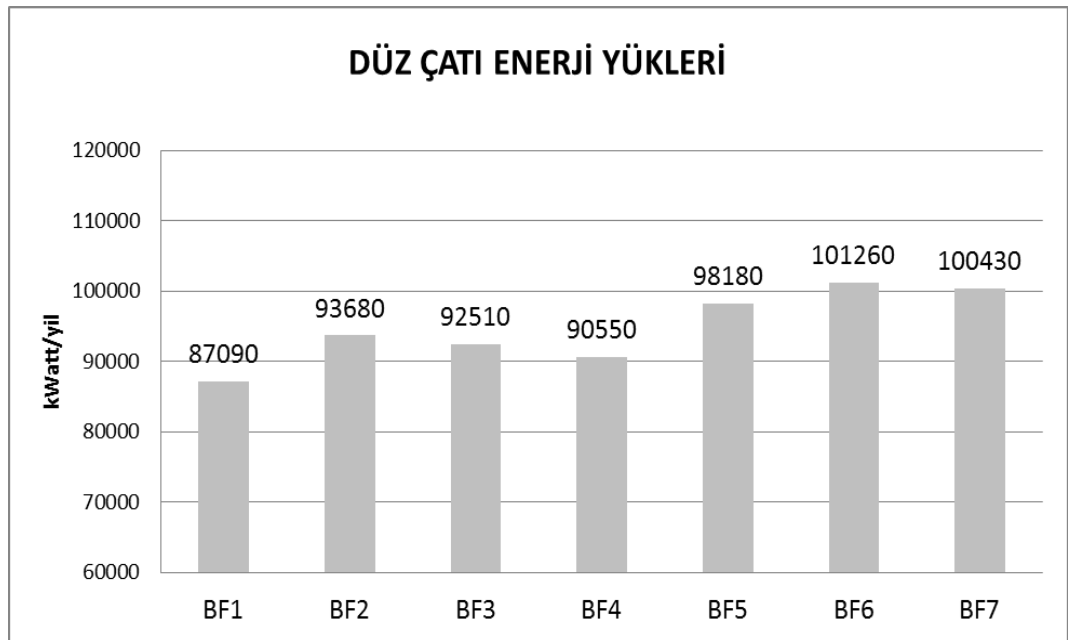
Çizelge 4.2 Bina Kabuğu Katmanlaşma Detayları

	Malzeme	Kalınlık (m)	Isı Geçirgenlik Katsayısı λ (W/mK)	Toplam Isı Geçirme Kats. (U değeri) (W/m ² k)
Düz Çatı Katmanları	Asfalt	0,01	0,7	0,36
	Çimento Sıva Harcı	0,03	0,23	
	EPS İzolasyon Malz.	0,08	0,04	
	Çimento Sıva Harcı	0,03	0,23	
	Dökme Beton	0,12	0,38	
	Alçı Sıva	0,01	0,4	
Kırma-Beşik Çatı Katmanları	Kiremit Catı	0,025	1	0,36
	Hava Bosluğu	0,25	0,19	
	EPS İzolasyon Malz.	0,09	0,04	
	Dökme Beton	0,12	1,13	
	Alçı Sıva	0,01	0,4	
Dış Duvar Katmanları	Çimento Sıva Harcı	0,02	0,72	0,57
	XPS İzolasyon Malz.	0,04	0,03	
	Tugla	0,19	0,62	
	Alçı Sıva	0,02	0,4	
Zemine Oturan Döşeme Katmanları	Kaucuk Döşeme	0,001	0,06	0,54
	EPS İzolasyon Malz.	0,05	0,04	
	Çimento Sıva Harcı	0,03	0,23	
	Dökme Beton	0,1	1,13	
	Blokaj	0,15	1,8	

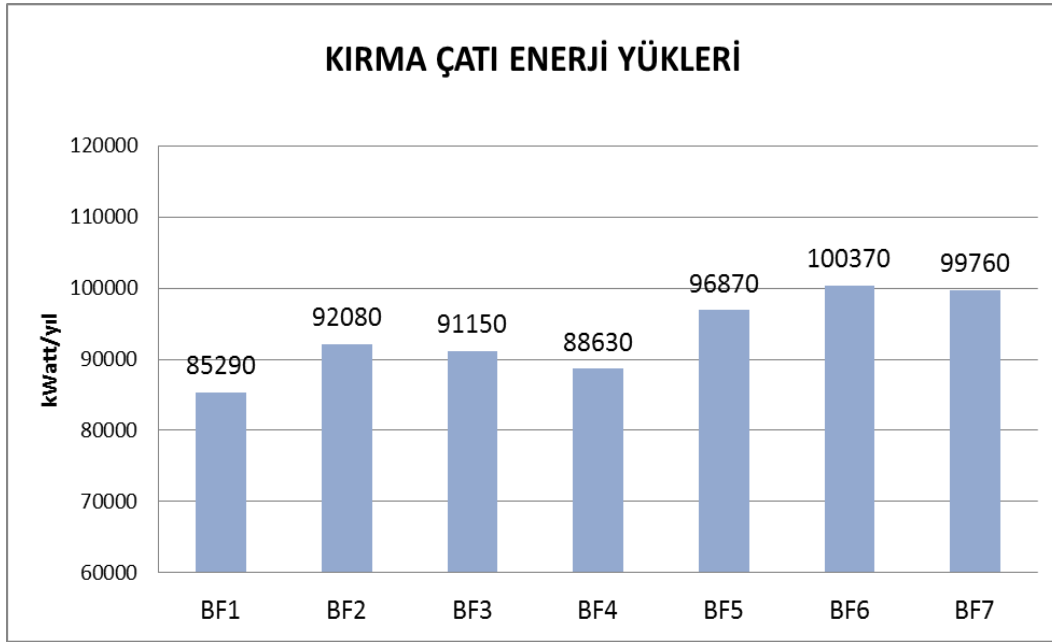
4.4. Farklı Bina Formlarında Gerçeklesen Yıllık Toplam Enerji (Isıtma, Soğutma ve Aydınlatma) Yüklerinin Hesaplanması

Belirlenmiş olan farklı formlar ve çatı tiplerine sahip bina formları için gerekli hesaplamalar Design Builder adlı simülasyon programı yardımıyla yapılmıştır. Design Builder binanın ve binaya ilişkin yapma sistemlerin enerji performansını inceleyen U.S. Department of Energy tarafından geliştirilmiş dinamik termal bir bina enerji simülasyon programıdır.

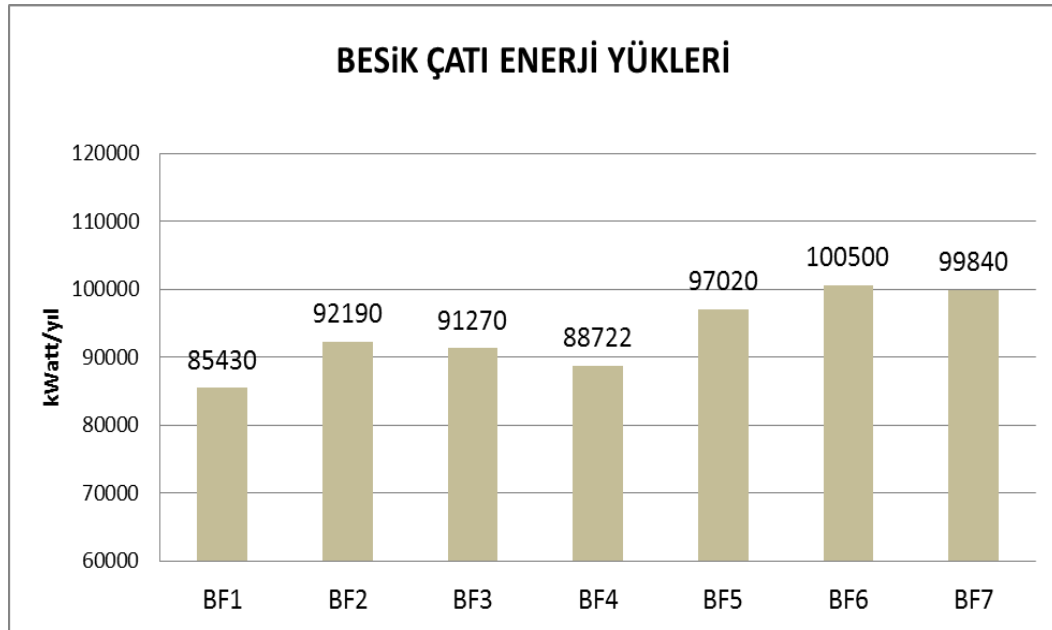
Yapılan hesaplamalar sonucu farklı bina formları için ortaya çıkan yıllık toplam (ısıtma, soğutma ve aydınlatma) enerji yükleri Şekil 4.1-4.3’de görülmektedir.



Şekil 4. 1 Farklı Bina Formlarında Düz Çatı İçin Yıllık Toplam Enerji Yükleri



Şekil 4. 2 Farklı Bina Formlarında Kırma Çatı İçin Yıllık Toplam Enerji Yükleri



Şekil 4. 3 Farklı Bina Formlarında Beşik Çatı İçin Yıllık Toplam Enerji Yükleri

Farklı bina formlarının ve farklı çatı tipleri ile kombinasyonları sonucunda ortaya çıkan yıllık toplam enerji yükleri değerlendirildiğinde (Sekil 4.1, Sekil 4.2, Sekil 4.3);

- Tüm bina formları için; kırma çatı uygulamalarının en düşük, düz çatı uygulamalarının ise en yüksek yıllık toplam enerji yüklerini gerçekleştirdiği belirlenmiştir. (Sekil 4.1-4.2-4.3)

- Tüm çatı tiplerinde BF1 in en düşük, BF6 nın ise en yüksek yıllık toplam enerji yüklerine yol açtıkları görülmektedir. (Sekil 4.1-4.2-4.3)

- Bina formu boyutları aynı olan ancak uygulamada yatay ve düşey olarak iki farklı doğrultuda kullanılan BF1 ve BF7; BF2 ve BF6 ve BF3 ve BF5, ortaya çıkan yıllık toplam enerji yükleri bakımından karşılaştırıldıklarında,

- BF1’de BF7’ye oranla, düz çatıda %13,3, kırma çatı ve beşik çatıda %14,6,

- BF2’de BF6’ya oranla, düz çatıda %7,5, kırma çatı ve beşik çatıda %8,3,

- BF3’de BF5’e oranla, düz çatıda % 5,8, kırma çatı ve beşik çatıda % 6 daha düşük yük değerleri elde edilmiştir. (Sekil 4.1-4.2-4.3)

4.5. Binada Güneş Pili Uygulamasına İlişkin Değişkenlerin Belirlenmesi

Güneş pili uygulamaları sonucu elde edilen enerji üretimi panelin yönü, eğimi ve yüzey alanına bağlı olarak değişim gösterecektir.

4.5.1 Güneş Pilinin Bina Kabuğuna Uygulanmasına İlişkin Seçeneklerin Belirlenmesi

Bu çalışmada güneş pilinin binaya uygulanma biçimine ilişkin seçenek üretilmesinde güneş pilinin eğim açısı, uygulandığı yapı elemanı ve yönü esas alınmıştır. Tüm bina tiplerinde güneş pilleri;

- Düz çatıda,

- 0° eğim ile (Ç1)

- 28° eğim ile (Ç2):

28° eğim PVSYST simülasyon programına göre İstanbul için yerleştirilecek güneş pilinden en fazla kazancın elde edildiği yerleştirme acısıdır. Güneş pilleri güneye yönlendirilmiştir.

- Kıрма çatıda,

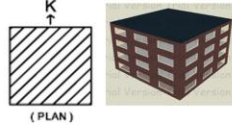
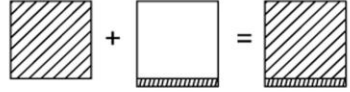
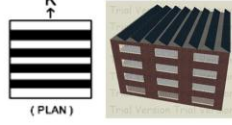
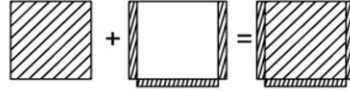
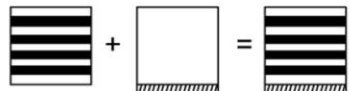
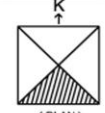
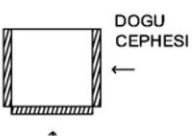
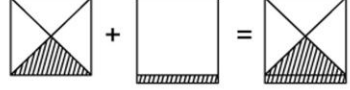
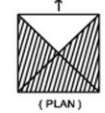
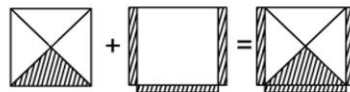
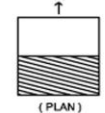
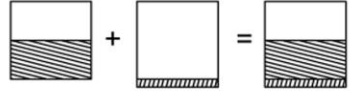
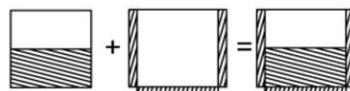
-Kırma çatının güneye bakan yüzeyinde (Ç3) 28° eğim ile

-Kırma çatının güney, doğu ve batıya bakan yüzeyinde (Ç4) :

Bu seçenekte güneş pillerinin eğim açısı, çatının güneye bakan yüzeyi için 28° alınmış, doğu ve batı yüzeyleri ise her bina formuna bağlı olarak farklı eğim açıları oluşmuştur.

- Beşik çatının güneye bakan yüzeyinde (Ç5) 28° eğim ile
- Binanın sadece güney cephesinde (C1)
- Binanın güney, doğu ve batı cephelerinin tamamında uygulandığı kabul edilmiştir. (C2)

Güneş pili uygulamasına ilişkin oluşturulan çatı ve cephe seçenekleri kombinasyonları Sekil 4.1’de görülmektedir.

	ÇATI SEÇENEKLERİ	CEPHE SEÇENEKLERİ	KOMBİNASYONLAR
DUZ ÇATI	ÇATI 1 (Ç1)  Düz Catının Güneş Pili ile Kaplanması (0°): Düz Catının tamamının, çatıya paralel olacak şekilde, 0° açıyla yerleştirilerek güneş pili ile kaplanıldığı durumdur.	CEPHE 1 (C1)  GÜNEY CEPHE	ÇATI 1 + CEPHE 1 (Ç1C1) 
	ÇATI 2 (Ç2)  Düz Catının ideal eğimdeki Güneş Pili ile Kaplanması (28°): Düz Çatıya, güneş pillerinin İstanbul için ideal eğim olarak tanımlanan (PVSYST) 28° ile yerleştirilerek, alt konstrüksiyon desteğiyle kaplandığı durumdur. Fakat bu tipte yerleştirilecek güneş pilleri birbirlerine gölge düşürmeleri sebebiyle 1'er metre aralıklarla yerleştirilmişlerdir.		ÇATI 1 + CEPHE 2 (Ç1C2) 
			ÇATI 2 + CEPHE 1 (Ç2C1) 
			ÇATI 2 + CEPHE 2 (Ç2C2) 
KIRMA ÇATI	ÇATI 3 (Ç3)  Kırmızı Catının Güney Yonunun Güneş Pili ile Kaplanması: İstanbul şartları için ideal güneş pili yerleştirme açısında (28°-PVSYST) eğime sahip olan kırmızı çatının sadece güneye bakan kısmının güneş pili ile kaplanmasıyla elde edilmiş durumdur.	CEPHE 2 (C2)  BATI CEPHESİ → ← DOĞU CEPHESİ GÜNEY CEPHE	ÇATI 3 + CEPHE 1 (Ç3C1) 
	ÇATI 4 (Ç4)  Kırmızı Catının Güney, Doğu ve Batı Yonlarının Güneş Pili ile Kaplanması: İstanbul şartları için ideal PV yerleştirme açısında (28°-PVSYST) eğime sahip olan kırmızı çatının kuzey hariç tüm kısımlarının güneş pili ile kaplanmasıyla elde edilmiş durumdur.		ÇATI 3 + CEPHE 2 (Ç3C2) 
			ÇATI 4 + CEPHE 1 (Ç4C1) 
			ÇATI 4 + CEPHE 2 (Ç4C2) 
BESİK ÇATI	ÇATI 5 (Ç5)  Besik Catının Güney Yonunun Güneş Pili ile Kaplanması: İstanbul şartları için ideal panel yerleştirme açısında (28°-PVSYST) eğime sahip olan besik çatının güneye bakan kısmının güneş pili ile kaplanmasıyla elde edilmiş durumdur.	Güney, Doğu ve Batı Cephelerinin Güneş Pili ile Kaplanması: Kuzey cephesi hariç tüm cephelerin %30 oranında bulunan saydam alanlar hariç güneş pili ile kaplanıldığı durumdur.	ÇATI 5 + CEPHE 1 (Ç5C1) 
			ÇATI 5 + CEPHE 2 (Ç5C2) 

Şekil 4.4 Güneş Pili Uygulamasına İlişkin Oluşturulan Çatı ve Cephe Seçenekleri Kombinasyonları

4.5. Güneş Pili Tiplerinin Belirlenmesi

Güneş pilleri malzemelerine, paralel ve seri bağlantı tiplerine ve şebekeye bağlı olup olmama durumlarına göre sınıflandırılmaktadırlar. Çalışmada, güneşin olmadığı saatlerde ve geceleri elektrik kesintisi durumu ile karşılaştırılması olasılığı üzerine şebekeye bağlı olan bir sistem kurulması uygun görülmüştür.

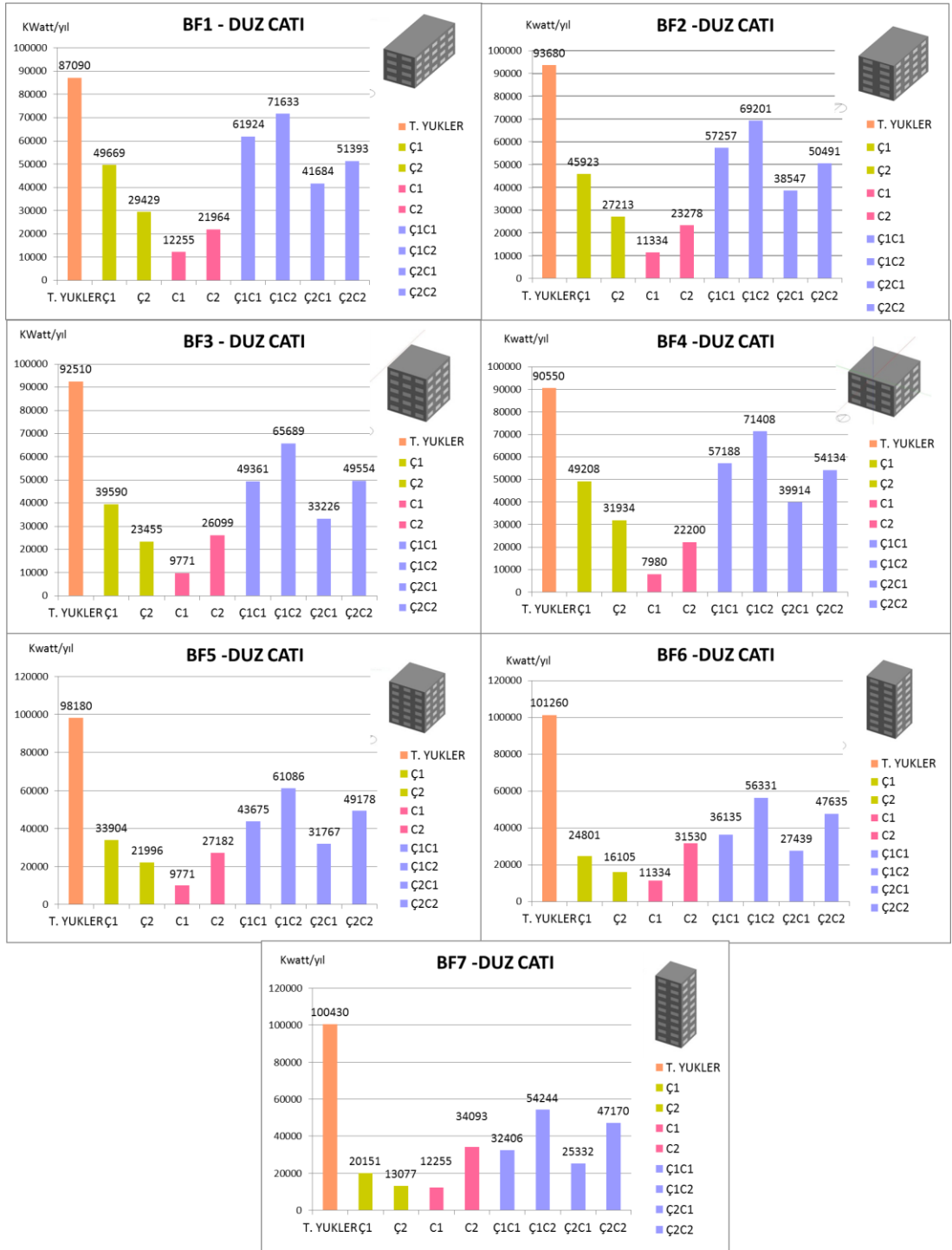
Çalışmada kurulacak sistemler bağlantı tiplerine göre paralel ve seri bağlanmışlardır. Ayrıca çalışmada uygulanacağı yapı elemanına bağlı olarak iki farklı tipte güneş pili paneli kullanılmıştır. Tüm Çatı tipleri için kullanılan güneş pili panel tiplerinin Polikristal PV Panel olduğu kabul edilmiştir. Tüm cepheler için İnce Film güneş pili panelinin kullanıldığı kabul edilmiştir.

4.5.3. Bina Kabuğuna Uygulanan Güneş Pillerinden Elde Edilecek Enerji Miktarının Hesaplanması

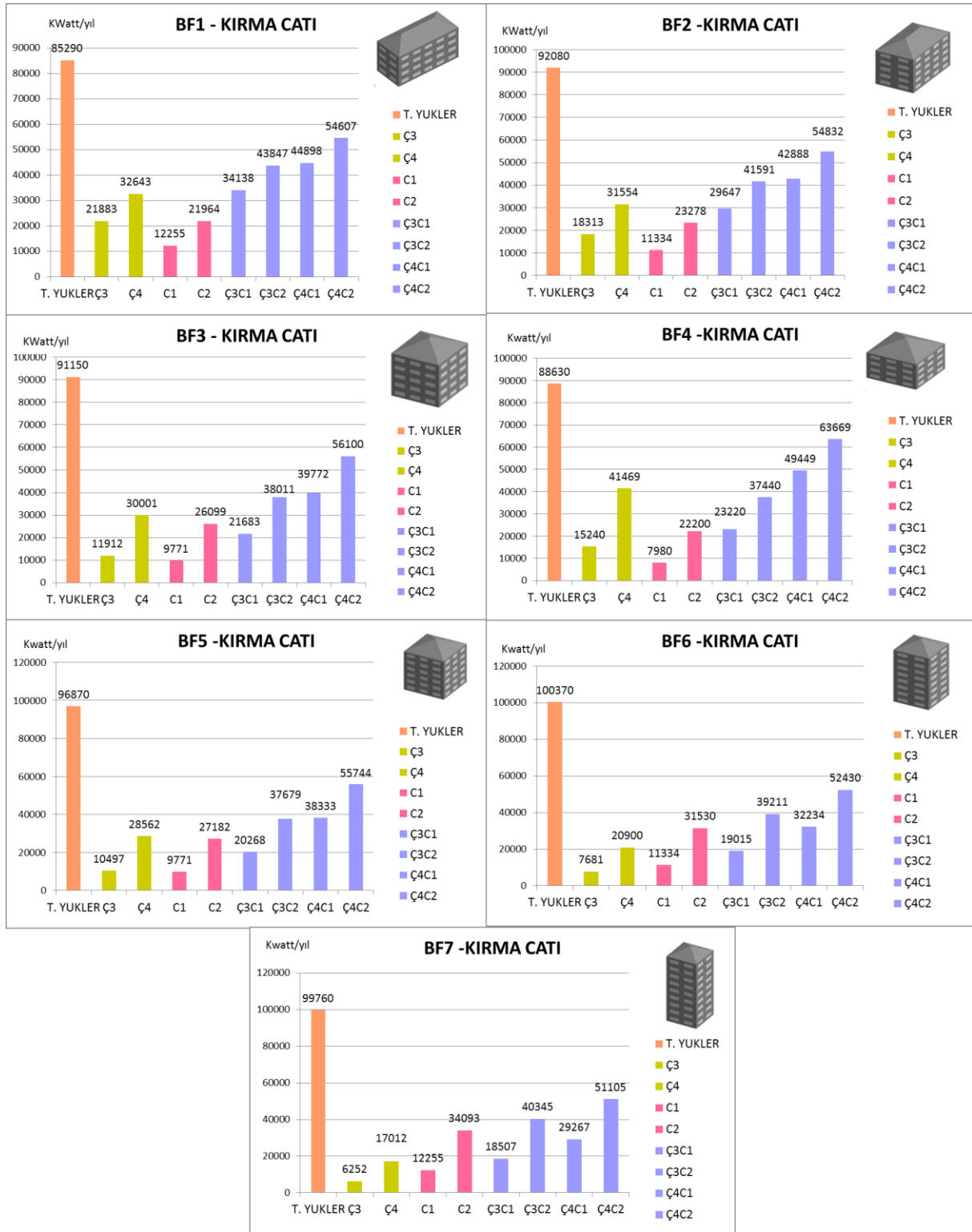
Belirlenmiş olan farklı formlara ve çatı tiplerine sahip bina tipleri için; bolum 5.5.1’de belirlenmiş olan seçenekler yardımıyla bina kabuğuna uygulanan güneş pillerinden elde edilecek enerji miktarları PVSYST adli simülasyon programı yardımıyla hesaplanmıştır.

PVSYST paket programı şebekeden bağımsız ve şebekeye bağlı güneş pillerinin simülasyonunda kullanılabilen, benzer programlar içerisinde en detaylı hesaplama yapan ve birçok farklı değişken kullanımına izin veren, sonuçları gerçek değerlere çok yakın olan bir simülasyon programıdır. [7] PVSYST yazılımı, söz konusu bölgenin aylık veya saatlik ölçülmüş iklim verilerine dayanarak dizi eğimi ve yönü değişkenlerine göre üretilebilecek elektrik enerjisini hesaplamaktadır. [46]

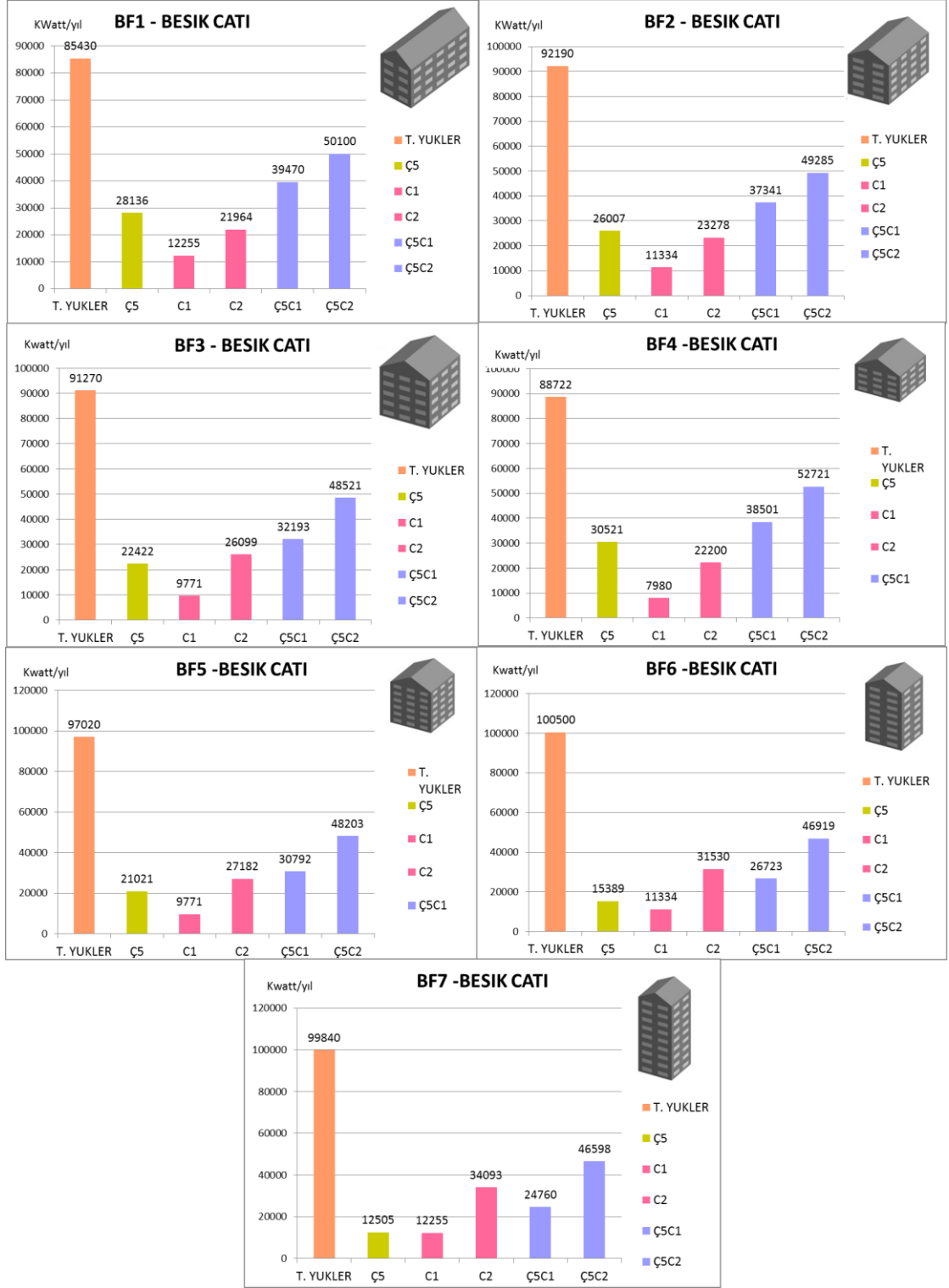
Hesaplamalarda güneş pillerinin bina kabuğuna eklendiği (entegre edilmediği) dolayısıyla bina kabuğunun U değerinde ve dolayısıyla enerji yüklerinde bir değişiklik olmadığı varsayılmıştır. Her bina formu için farklı çatı tipleri uygulandığında, güneş pilleri yardımıyla elde edilen enerji kazançları Şekil 4.5- Şekil 4.7’de gösterilmiştir.



Şekil 4.5 Farklı Bina Formları ve Duz Catı Tipleri Uygulandığında, Güneş Pilleri Yardımıyla Elde Edilen Enerji Kazançları

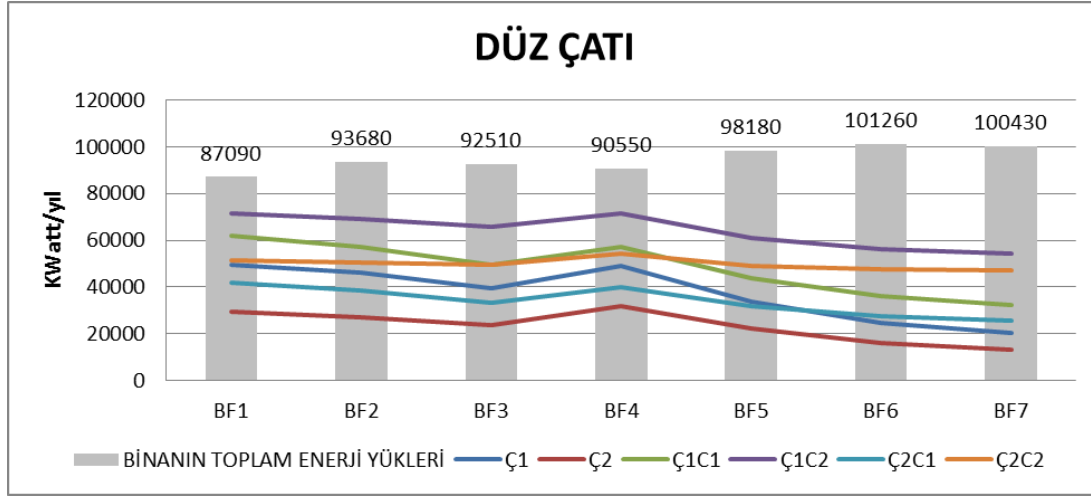


Şekil 4.6 Farklı Bina Formları ve Kirma Catı Tipi Uygulandığında, Güneş Pilleri Yardımıyla Elde Edilen Enerji Kazançları

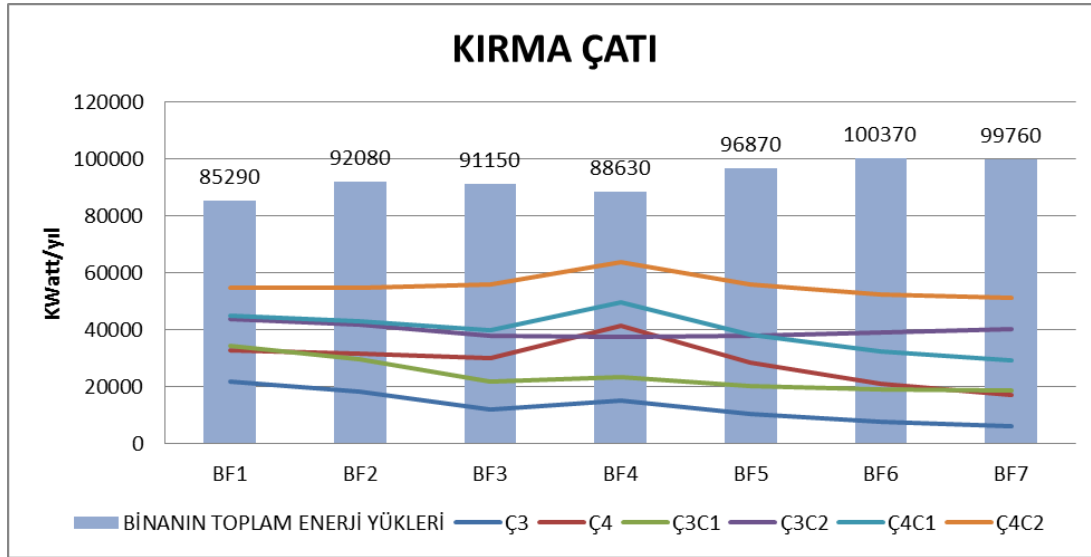


Şekil 4.7 Farklı Bina Formları ve Beşik Catı Tipi Uygulandığında, Güneş Pilleri Yardımıyla Elde Edilen Enerji Kazançları

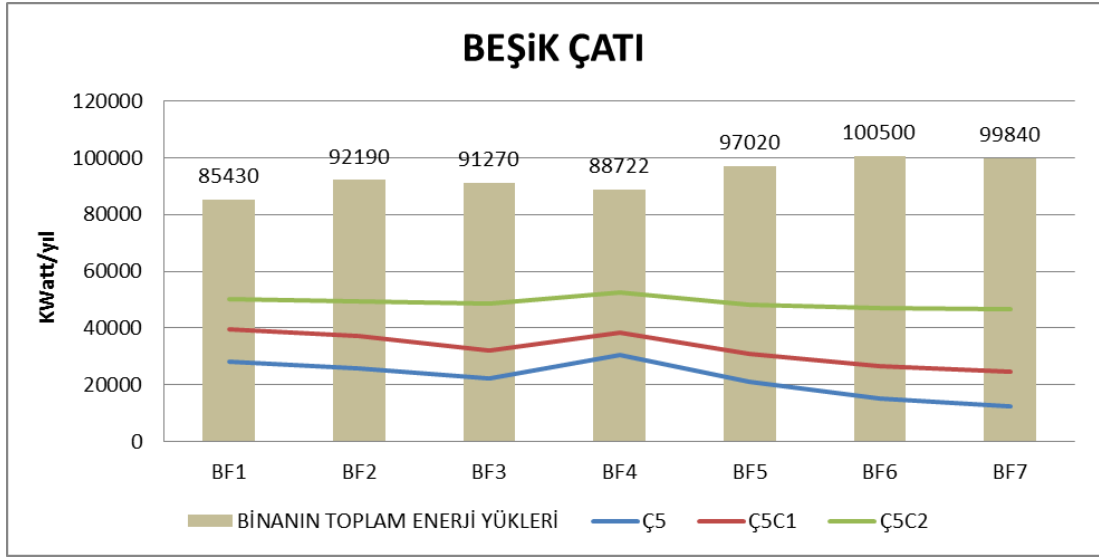
Bölüm 4.4.'de hesaplanmış olan yıllık toplam enerji yükleri ile, bölüm 4.5.4'de hesaplanmış olan ve güneş pili uygulamaları ile elde edilen enerji kazançları karşılaştırmalı olarak Şekil 4.8, Şekil 4.9 ve Şekil 4.10'da gösterilmiştir



Şekil 4.8 Düz Çatı İçin Farklı Bina Formlarında Güneş Pili Uygulaması ile Elde Edilen Enerji Kazançları



Şekil 4.9 Kırma Çatı için Farklı Bina Formlarında Güneş Pili Uygulaması ile Elde Edilen Enerji Kazançları



Şekil 4.10 Beşik Çatı için Farklı Bina Formlarında Güneş Pili Uygulaması ile Elde Edilen Enerji Kazançları

Güneş pili uygulamalarının farklı çatı ve cephe seçenekleri ile kombinasyonları sonucu;

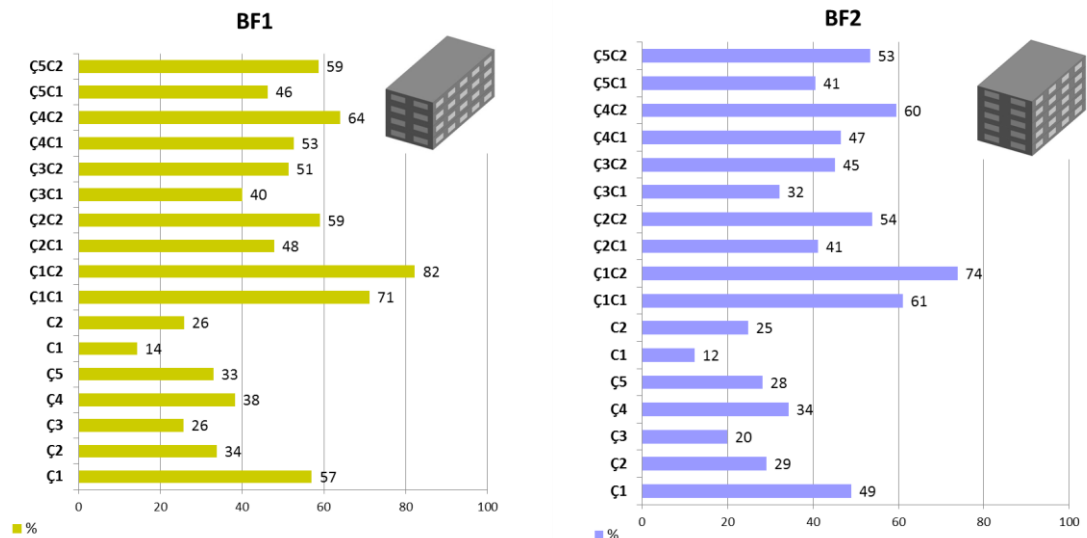
- Tüm bina formlarında en yüksek enerji kazançları çatı için;
- düz çatıya 0° eğim ile güneş pili döşendiği (Ç1), kırma çatının doğu, güney ve batı yüzeylerine güneş pili döşendiği (Ç4) ve beşik çatının da güney yüzeyine güneş pili döşendiği (Ç5) seçeneklerde, cephe için ise;
- binaların doğu, güney ve batı cephelerinin tamamına güneş pili döşendiği (C2) seçenekte elde edilmiştir.(Şekil 4.5-4.6-4.7) Buna göre,
- BF1 için; düz çatı uygulandığında elde edilen enerji kazançları, kırma çatı uygulandığında elde edilen kazançtan % 23,8 beşik çatı uygulandığında elde edilen kazançtan ise % 30 daha fazladır. (Şekil 4.5)
- BF2 için; düz çatı uygulandığında elde edilen enerji kazançları, kırma çatı uygulandığında elde edilen kazançtan % 19,8 beşik çatı uygulandığında elde edilen kazançtan ise % 28,8 daha fazladır. (Şekil 4.5)
- BF3 için; düz çatı uygulandığında elde edilen enerji kazançları, kırma çatı uygulandığında elde edilen kazançtan % 14,6 beşik çatı uygulandığında elde edilen kazançtan ise % 26,2 daha fazladır.

- BF4 için; düz çatı uygulandığında elde edilen enerji kazançları, kırma çatı uygulandığında elde edilen kazançtan % 10,9 beşik çatı uygulandığında elde edilen kazançtan ise % 26,2 daha fazladır.
- BF5 için; düz çatı uygulandığında elde edilen enerji kazançları, kırma çatı uygulandığında elde edilen kazançtan % 8,8 beşik çatı uygulandığında elde edilen kazançtan ise % 31,2 daha fazladır.
- BF6 için; düz çatı uygulandığında elde edilen enerji kazançları, kırma çatı uygulandığında elde edilen kazançtan % 7 beşik çatı uygulandığında elde edilen kazançtan ise % 16,8 daha fazladır.
- BF7 için; düz çatı uygulandığında elde edilen enerji kazançları, kırma çatı uygulandığında elde edilen kazançtan % 5,8 beşik çatı uygulandığında elde edilen kazançtan ise % 14,1 daha fazladır.
- Düz çatı uygulamalarında en yüksek enerji kazancı Ç1C2 seçeneği ile ve en düşük enerji kazancının da Ç2 seçeneği ile elde edildiği görülmektedir.
- Güneş pilinin düz çatıya 0° eğim ile uygulanması (Ç1) ideal eğim olan 28° eğim uygulanmasına (Ç2) göre her zaman daha yüksek kazanç sağlamıştır. (Sekil 4.5-4.6-4.7)
- Düz çatılı bina formları için tüm kombinasyonlar karşılaştırıldığında, en yüksek enerji kazancı Ç1C2 kombinasyonu ile BF1’de elde edilmiştir. Buna göre BF2, BF3, BF4,BF5,BF6 ve BF7 için elde edilen kazançlar BF1 ile karşılaştırıldıklarında sırasıyla; %3,4 - %8,3 - % 0,04 - %14,8 - % 21,4 - % 24,3 daha düşüktür. (Sekil 4.5)
- BF1 ile BF4 ün enerji kazançları arasındaki fark çok az olduğu için (% 0,04) bu iki bina formunun aynı performansı gösterdiği kabul edilebilir. (Sekil 4.5-4.6-4.7)
- Kırma çatı uygulamalarında en yüksek verimin Ç4C2 seçeneği ile ve en düşük verimin de Ç3 seçeneği ile elde edildiği görülmektedir. (Sekil 4.6)
- Kırma çatılı bina formları için tüm kombinasyonlar karşılaştırıldığında, en yüksek enerji kazancı Ç4C2 kombinasyonu ile BF4’de elde edilmiştir. Buna göre BF1, BF2, BF3, BF5,BF6 ve BF7 için elde edilen kazançlar BF4 ile karşılaştırıldıklarında sırasıyla; %14,3 - % 13,9 - % 11,9 - % 12,5 - % 17,7 – % 19,8 daha düşüktür. (Sekil 4.6)

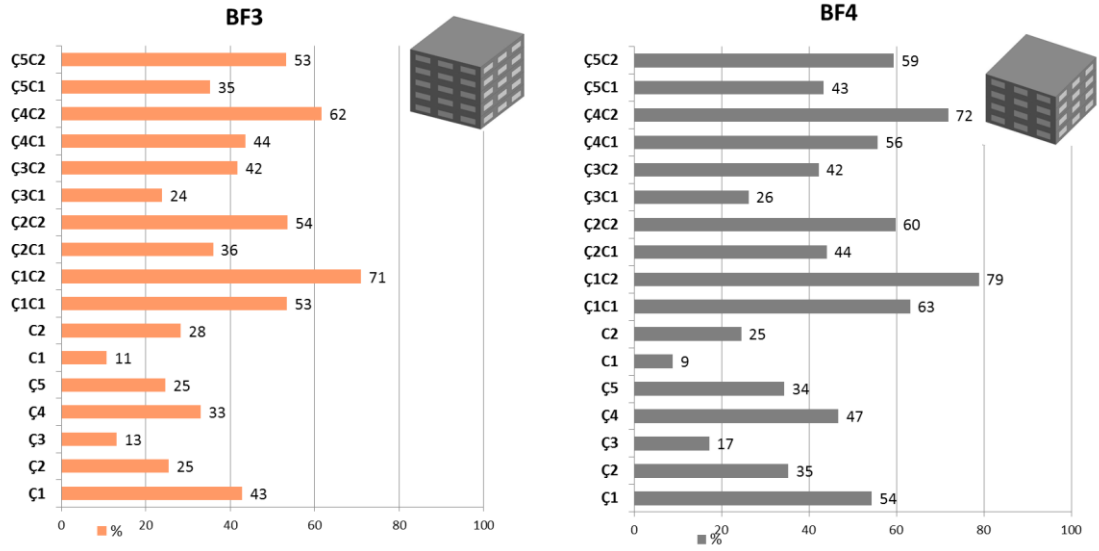
- Beşik çatı uygulamalarında en yüksek enerji kazancının Ç5C2 seçeneği ile ve en düşük enerji kazancının da Ç5 seçeneği ile elde edildiği görülmektedir. (Sekil 4.7)
- Beşik çatılı bina formları için tüm kombinasyonlar karşılaştırıldığında, en yüksek enerji kazancı Ç5C2 kombinasyonu ile BF4’de elde edilmiştir. Buna göre BF1, BF2, BF3, BF5,BF6 ve BF7 için elde edilen kazançlar BF4 ile karşılaştırıldıklarında sırasıyla; % 5 - % 6,6 - % 8 - % 8,6 - % 11,1 - % 11,7 daha düşüktür. (Sekil 4.7)
- Tüm bina formları kendi aralarında karşılaştırıldığında ise en yüksek enerji kazancı Ç1C2 kombinasyonu ile BF1 de sağlanmıştır. (Sekil 4.5-4.6-4.7)

4.5.4. Bina Kabuğuna Uygulanan Güneş Pillerinin Enerji Etkinliğinin Değerlendirilmesi

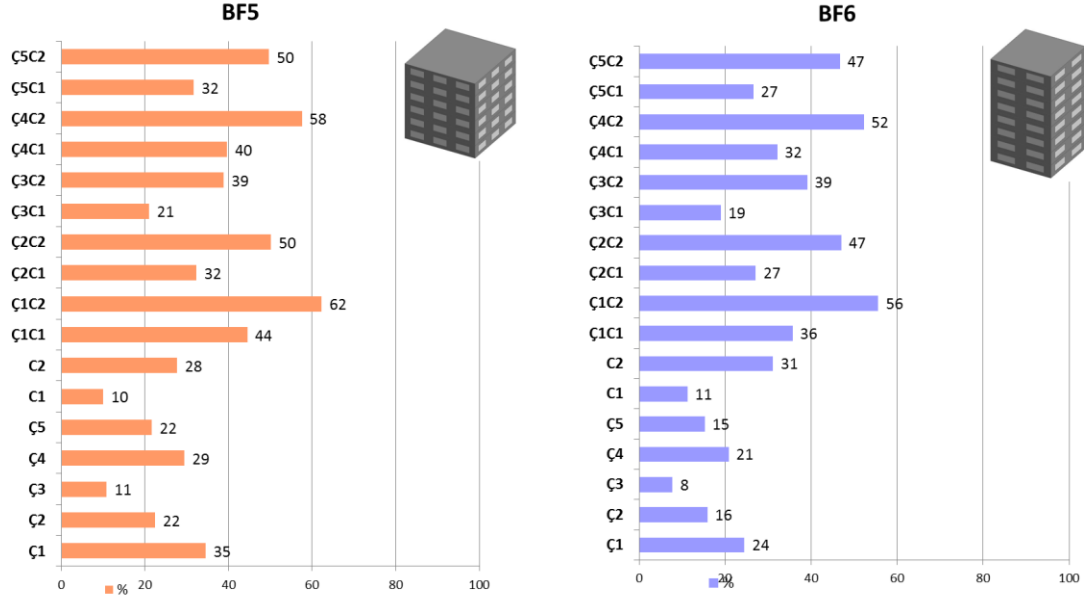
Güneş pili uygulaması sonucu elde edilen enerji kazançlarını karşılaştırmak sadece bina formlarına bağlı olarak elde edilen enerji kazançlarını göstermektedir. Oysaki ele alınan binalarda gerçekleşen yıllık toplam enerji yükleri ile elde edilen enerji kazançları karşılaştırıldığında, bina formlarına bağlı olarak, en düşük enerji yükünün ve en yüksek enerji kazancının gerçekleştiği bina formu seçeneğinin belirlenmesi olanaklı olacaktır. Bu değerlendirmenin yapılabilmesi için bölüm 4.5.4’de hesaplanan ve güneş pili uygulamaları ile elde edilen yıllık enerji kazançlarının; bölüm 4.4’de hesaplanan, binaya ait yıllık toplam enerji yüklerini ne oranda karşıladığı Şekil 4.11-4.14’de gösterilmiştir.



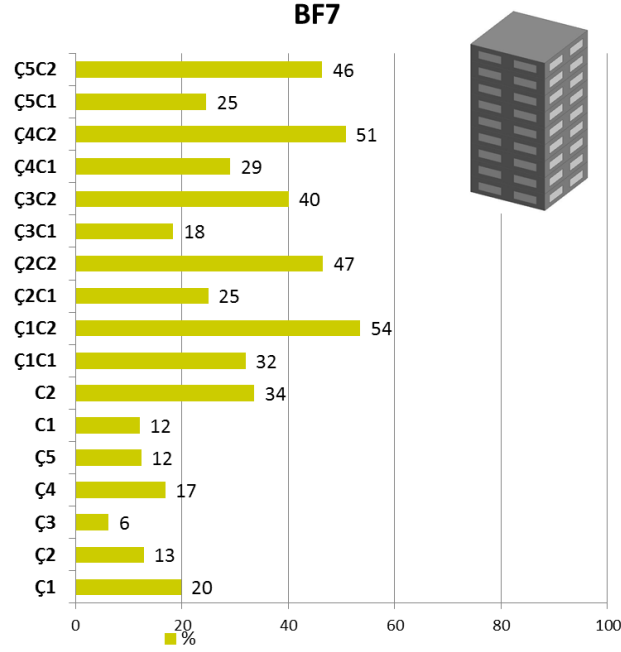
Şekil 4. 11 Bina Formu 1- Bina Formu 2’de Güneş Pili Uygulamasıyla Elde Edilecek Enerji Kazancının, Binaya ait Yıllık Toplam Enerji Yüklerine Oranı



Şekil 4. 12 Bina Formu 3- Bina Formu 4’de Güneş Pili Uygulamasıyla Elde Edilecek Enerji Kazancının, Binaya ait Yıllık Toplam Enerji Yüklerine Oranı



Şekil 4. 13 Bina Formu 5- Bina Formu 6’de Güneş Pili Uygulamasıyla Elde Edilecek Enerji Kazancının, Binaya ait Yıllık Toplam Enerji Yüklerine Oranı



Şekil 4. 14 Bina Formu 7’de Güneş Pili Uygulamasıyla Elde Edilecek Enerji Kazancının, Binaya ait Yıllık Toplam Enerji Yüklerine Oranı

Karşılaştırmalar sonucunda, güneş pilleri uygulaması ile en fazla enerji kazanımının gerçekleştiği durum un belirlenmesi olanaklıdır.

Buna göre;

- Tüm bina formlarında binanın yıllık enerji yüklerini en yüksek güneş pili verimiyle karşılayan seçenek Ç1C2 kombinasyonu olmuştur. (Sekil 4.11-4.12-4.13-4.14)
- Buna göre BF1, BF2, BF3, BF4, BF5, BF6 ve BF7 için yıllık toplam enerji yüklerine karşı güneş pilleri ile elde edilen verim; %82, %74, %71, %79, %62, %56 ve %54’tür. (Sekil 4.11-4.12-4.13-4.14)

4.6. Farklı Bina Formları İçin En Yüksek Kazancın Elde Edildiği Seçeneğin Ekonomik Açıdan Değerlendirilmesi

Bolum 5.5.4’de belirlenmiş olan güneş pili uygulaması ile en yüksek enerji kazanımı gerçekleştiren bina formları için ekonomik değerlendirme yapmak ve seçeneklerin enerji ve maliyet etkinliği belirlemek olanaklıdır. Ekonomik değerlendirmenin yapılabilmesi için gerekli adımlar aşağıda belirtilmektedir.

4.6.1. Güneş Pili Uygulamalarında Ekonomik Açıdan Değerlendirmenin Yapılabilmesi İçin Yöntem Seçilmesi

Çalışmada ekonomik değerlendirme yaşam döngüsü maliyet analizi ile yapılacaktır. Yaşam döngüsü maliyet analizinin hesaplanmasında aşağıdaki eşitlikten faydalanılabilir.

$$YDM (LCC) = I + M + R + E - S \quad (4.1)$$

I: İlk yatırım maliyeti giderleri (€)

M: Bakım, Onarım, İşletme giderleri (€)

R: Yenileme giderleri (€)

E: Enerji giderleri (€)

S: Hurda değeri (€)

[31]

Ekonomik değerlendirme yöntemlerinde ‘net bugünkü güncel değer’ yöntemi kullanılarak maliyetler hazırlanmıştır. Net bugünkü güncel değer değerinin hesaplanmasında aşağıdaki formülden yararlanılabilir.

$$P = A \cdot \left[\frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \right] \quad (4.2)$$

P: paranın güncel değeri

F: paranın gelecek değeri

i: indirgeme oranı

n: indirgeme periyotlarının sayısı

A: eşit zaman aralıklarında yapılan uniform serideki ödemeler – taksitler [47]

4.6.2. Seçilen Yöntemin Uygulanması İçin Gerekli Verilerin ve Varsayımların Hazırlanması

Yasam dönemi maliyet yöntemi ile ekonomik analiz yapabilmek amacıyla gerekli veriler ve varsayımlar aşağıdaki adımlarda açıklanmıştır.

4.6.2.1. Güneş Pili Kurulumu İlk Yatırım Maliyetlerinin Hazırlanması

Güneş pillerinde ilk yatırım maliyetleri şantiye maliyetleri ve genel giderlerden oluşmaktadır. Şantiye maliyetleri başlığı altında malzeme maliyetleri, işgücü maliyetleri, Araç-makine tesis maliyetleri, genel giderler başlığı altında ise vergiler, mühendislik hizmetleri bulunmaktadır. Güneş pilleri sistemi kurulum malzemeleri panel, dönüştürücü, kablolama ve yapı gibi alt malzeme başlıklarından oluşur. Binaya sabitlenecek olan polikristal yapıda güneş pili sistemi için ilk yatırım maliyetleri açısından yüzdelik oranlar Çizelge 4.3’de belirtilmiştir.

Çizelge 4.3 Gunes Pilleri İlk Yatırım Maliyet Kalemlerinin Oranları [48]

İLK YATIRIM MALİYETLERİ							
ŞANTIYE MALİYETLERİ				GENEL GİDERLER			
MALZEME MALİYETLERİ				İSGÜCÜ MALİYETLERİ	ARAC MAKİNA TESİS MALİYETLERİ	VERGİLER	MUHENDİSLİK HİZMETLERİ
PANEL MALİYETİ	İNVERTOR MALİYETİ	KABLOLAMA MALİYETİ	KONSTRÜKSİYON				
35%	16%	6%	8%	13%	9%	3%	10%

Güneş pilleri kurulumunda, panelin m2 cinsinden alanının bilinmesi gerekmektedir. Ancak, günümüz koşullarında enerji sektörünün bir parçası olan güneş pili ürünlerin fiyatlandırması Euro/WattPeak üzerinden gerçekleşmektedir. Çalışmada öngörülen güneş pili sistem kurulumları farklı tiplerde güneş pili sistemini içermesinden dolayı fiyatları da değişmektedir. Farklı malzeme ya da konstrüksiyona sahip güneş pilleri kurulumlarının anahtar teslim ilk yatırım maliyetleri aşağıda tanımlanmaktadır.

Polikristal Yapıdaki ilave konstrüksiyon gerektirmeyen güneş pili sistem kurulum : 1.5 Euro/WattPeak

Polikristal Yapıdaki ilave konstrüksiyon gerektiren güneş pili sistem kurulumu: 1.56 Euro/WattPeak

İnce film Yapıdaki ilave konstrüksiyon gerektiren güneş pili sistem kurulumu: 1.4 Euro/WattPeak [48]

4.6.2.2. Bakım Onarım, Temizlik Maliyetlerinin Hazırlanması

Binaya kurulacak güneş pili sisteminin yaşam dönemi maliyet analizinin hesaplanmasında yıllık harcanacak bakım onarım maliyetlerinin de etkisi yüksektir. Bakım onarım maliyetleri güneş pili temizliği ve periyodik bakım ve kontrollerden oluşmaktadır.

Güneş pili temizliği: Güneş pillerinde paneller özellikle yaz döneminde tozlanmaları performans düşüşüne neden olacağından düzenli olarak temizlenmeleri gerekmektedir. Tez kapsamında ele alının projede yazın 2'ser hafta arayla, diğer mevsimlerde ise 1,5 ay arayla temizlendikleri kabul edilmiştir. Çatı için ilk yatırım maliyetinin %1 inin temizlik için yeterli olduğu, cephe için daha zor olması sebebiyle %1,5 alındığı kabul edilmiştir. [48]

Periyodik Bakım ve kontroller: Güneş pilleri düzeneklerindeki topraklama, kablo ve gerilim kontrolü gibi teknik ekipmanların bilirkişiler tarafından kontrol edilmesini içerir. Güneş pilleri sistem düzeneğini kuran firma tarafından yıllık olarak yapılır. Tez için yapılan çalışmada kurulacak sistemler ortalama 10 kwatt ile 100 kwatt arasında değişen sistemlerdir. Bu yüzden periyodik bakım ve kontrol maliyetinin sadece cephe ya da çatıya uygulanan sistemler için 500 Euro, hem cephe hem çatıya uygulanan sistemler için ise 750 Euro olduğu kabul edilmiştir. [48]

4.6.2.3. Yenileme Maliyetlerinin Hazırlanması

Güneş pilleri sistemlerin ilk 10 sene için %90 enerji verimliliği, 25 sene için de %80 verimlilik garantisi verilmektedir. [48] Dünyada daha uzun suredir çalışmaya devam eden güneş pilleri sistemler halen mevcuttur. Bu çalışma kapsamında ortalama bir güneş pili sisteminin ömrünün 25 yıl olduğu kabul edilerek yaşam dönemi maliyet analizi çalışması yapılmıştır. Güneş pillerinde dönüştürücü için 10 sene garanti verilmesine rağmen yıllar içerisinde dönüştürücüden kaynaklı performans düşüklükleri ve aksaklıklar da görülmektedir. Bu sebepten dolayı hesaplamada 15 seneden sonra dönüştürücünün yenileneceği farz edilmiştir. [48]

4.6.2.4. İşletme Maliyetlerinin Hazırlanması

İşletme maliyetleri yönetim maliyetleri, vergiler ve enerji maliyetlerinden oluşmaktadır. Bu çalışma kapsamındaki projede işletme ve yönetim maliyeti bulunmamaktadır. İlk yatırım maliyetindeki vergiler dışında proje ‘lisanssız elektrik enerjisi üreten’ sistemler olarak kabul edildiğinden düzenli vergi verilmesi gerekmemektedir. Aksine, destekleyici niteliktedir. İhtiyaç fazlası üretilen enerji 0,133\$ / kWh karşılığında devlete satılabilmektedir. Güneş pillerinin ürettiği enerjinin yeterli gelmemesi durumunda ihtiyaç duyulan elektrik enerjisi ise 0,36 TL/kWh olarak faturalandırılmaktadır. [49] Enerji maliyeti olarak ise kurulacak sistemin şebekeye bağlı olması halinde, akımın görebilecek kadar az elektrik enerjisine ihtiyaç duymaktadır. Bu nedenle enerji maliyetlerinin olmadığı kabul edilmiştir.

4.6.2.5. Yok Etme Maliyetlerinin Hazırlanması

Günümüzde Türkiye’de yapılan örneklerde henüz yok etme maliyetine örnek olabilecek çalışma bulunmamaktadır. Çalışma kapsamında yok etme maliyeti olan güneş pili sisteminin sökülmesi ve parçalara ayrılmasının, ilk yatırım maliyetinin %10 u olarak alınmıştır. [48]

4.6.2.6. Hurda Değerinin Belirlenmesi

Güneş pili sistemi kurulumunda en önemli kalem olan panellerin herhangi bir hurda değerinin olmadığı kabul edilmiştir. Fakat panellerin etrafını çevreleyen alüminyum profillerin hurda değeri ele alınabilir. Her bir panelde (1,65 m² alanda) yaklaşık 2 kg hurda alüminyum profil olduğu düşünülebilir [48]. Piyasada hurda alüminyum imalat doğrama profil hurdası kg değeri 3,80 TL/kg’dır [50] Bu durumda panel birim alanında 4,6 TL (1,67 Euro) alüminyum hurda değeri bulunmaktadır. Güneş pillerinde panellerin alt konstrüksiyonu için de alüminyum destekleme birimleri kullanılmaktadır. Fakat bilgi yokluğundan dolayı bu tip maliyetler hesaplama dahil edilmemiştir.

4.6.2.7. Ekonomik Değerlendirmenin Yapılacağı Surenin Belirlenmesi

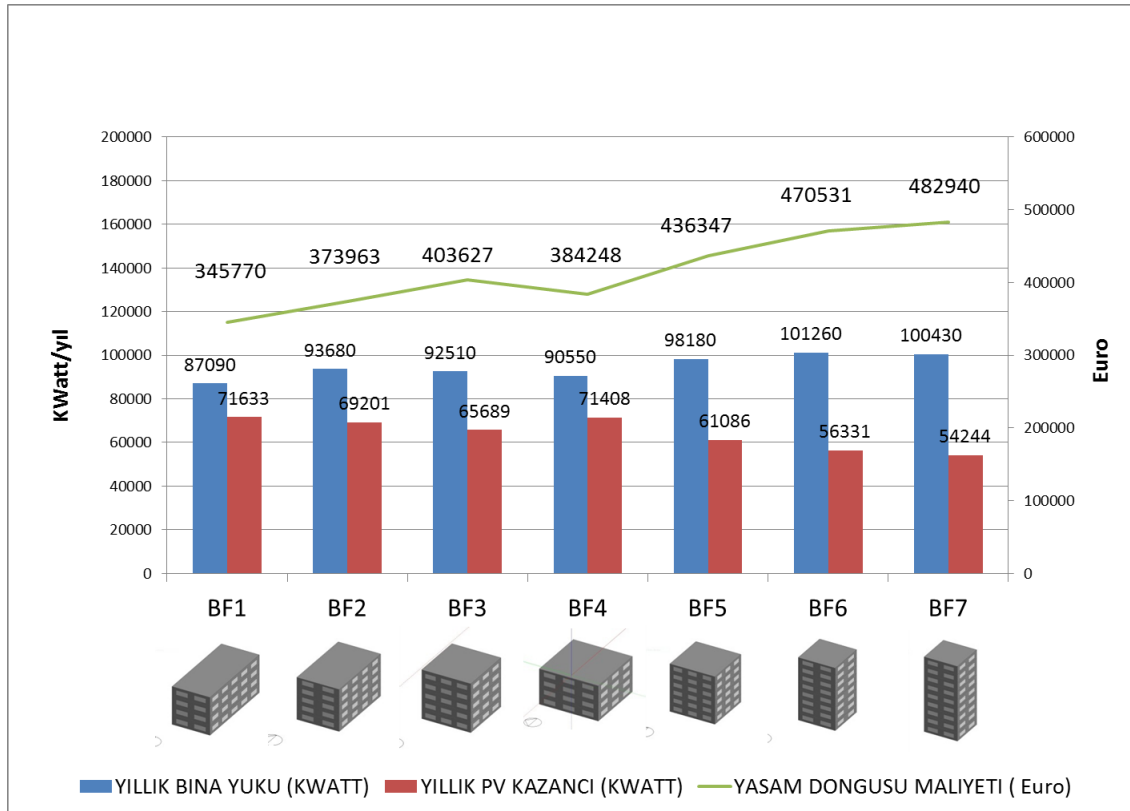
Piyasadan elde edilen veriler ve teknik bilgiler güneş pili ömrünün en az 25 sene sorunsuz çalışacağını ifade ettiğinden dolayı, bu çalışmadaki yaşam dönemi maliyet analizi çalışması için sistem ömrünün 25 sene olduğu kabul edilerek hesaplamalar yapılmıştır.

4.6.2.8. İndirgeme Oranlarının Belirlenmesi

Güneş pili sistemin kurulumu için gerekli olan finansman, sistem kurulumundan vazgeçilseydi farklı olarak değerlendirilebilirdi. Örneğin bankaya yatırılarak, yıllık döviz faizi elde edilebilirdi. Sermayenin fırsat maliyeti ya da paranın zaman değeri olarak tanımlanan bu değer indirgeme oranıdır. Bu çalışmada da yatırım için gerekli tüm finansmanın, alternatif olarak bankaya yatırıldığı durumda yıllık %1 Euro faiz aldığı kabul edilmiştir. [51]

4.6.3. Farklı Bina Formlarındaki Güneş Pili Uygulaması Seçeneklerinin Yaşam Dönemi Maliyetlerinin Hesaplanması ve Karşılaştırılması

Farklı bina formlarında en yüksek kazancın elde edildiği güneş pili uygulaması seçeneklerinin yaşam dönemi maliyetleri 4.6.1 deki 4.1 ve 4.2 bağıntıları yardımıyla hesaplanmıştır (Sekil 4.15)



Şekil 4. 15 Ç1C2 Kombinasyonu İçin Farklı Bina Formlarında Gerçekleşen Yıllık Toplam Enerji Yükleri, Güneş Pili ile Elde Edilen Enerji Kazançları ve Yaşam Dönemi Maliyeti

4.6.4. Yasam Dönemi Maliyeti Açısından En Uygun Bina Formu ve Güneş Pili Uygulama Seçeneğinin Belirlenmesi

Elde edilen verilerle hazırlanmış olan grafiğe bakılarak, enerji kazançları ve enerji yükleri ile yasam dönemi maliyetlerinin karşılaştırılması sonucu ‘en yüksek enerji kazancını sağlayan güneş pili uygulamasında, minimum yasam dönemi maliyetini veren bina formu seçeneğinin Bina Formu 1 seçeneği olduğu belirlenmiştir.

4. SONUÇ

Gün geçtikçe azalan fosil kaynakların tükenmesi ve dünyadaki insan nüfusunun ve ihtiyaç duyulan enerji miktarının her gecen gün artması, alternatif enerji kaynaklarına yönelimi artırmıştır. Güneş, potansiyeli en yüksek e alternatif enerji kaynağıdır ve sinirsiz enerji kaynağı olarak binalarda kullanılabilir. Binaların enerji etkinliği, minimum enerji tüketmeleri ve bu tüketimlerin sebep olduğu çevresel etkilerin de azaltılması ile olanaklıdır. Güneş pillerinin binalarda kullanılması fosil yakıt tüketimini azaltarak hem sera gazı üretimine engel olma hem de gelecek nesillere küresel ısınmanın olmadığı bir dünya bırakma hedeflerine hizmet etmektedir.

Bu açıdan bu çalışmada, farklı bina formlarında güneş pili uygulamalarının enerji ve maliyet etkinliği değerlendirilmiştir. Farklı bina formlarında elde edilen yıllık toplam enerji yüklerinin güneş pili uygulamaları ile ne oranda karşılanabildiği simülasyonlar yardımıyla belirlenmiş ve en uygun seçenekler için maliyet analizi yapılmıştır. Çalışmada geliştirilen yaklaşım yardımıyla; güneş pili uygulaması ile maksimum enerji verimini ve minimum yaşam dönemi maliyetini sağlayan bina formu seçeneğinin belirlenmesi olanaklıdır. Çalışmada elde edilen genel sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

- Farklı bina formlarında güneş pili uygulamalarının farklı çatı ve cephe kombinasyonları ile kullanılmaları sonucunda; bina formları aynı bina kabuk alanına (A) ve iç hacme (V) sahip olmalarına rağmen, aynı yönlere bakan cephe ve çatı alanlarının farklı olması sonucunda güneş ışınlamından elde edilen kayıp ve kazançların farklılığı nedeniyle farklı yıllık toplam enerji yükleri gerçekleştirmişlerdir.
- Tüm çatı tipleri ve cephe yönlendirilişleri incelendiğinde, bina formunun belirleyicileri olan, binanın çatı alanı ve farklı yönlere bakan cephe alanlarının; güneş ışınlam kazancı ve seçilmiş olan güneş pili tiplerine bağlı olarak farklı performans gösterdikleri belirlenmiştir.

- Çatı ve güney cephesi alanı arttıkça, yıllık toplam enerji yükleri azalmakta ve güneş pili verimi artmakta, çatı ve güney cephesi alanı azaldıkça, yıllık toplam enerji yükleri artmakta ve güneş pili verimi azalmaktadır.
- Bina formları yatayda geliştiğinde , yıllık toplam enerji yükleri azalmakta ve güneş pili verimi artmakta, bina formları düşeyde geliştiğinde ise yıllık toplam enerji yükleri artmakta ve güneş pili verimi azalmaktadır.
- Tüm bina formlarında en yüksek enerji kazancı düz çatıda (Ç1) ve doğu güney ve batı cephesinde (C2) güneş pili uygulamasının yapıldığı seçeneklerinin bir araya geldiği Ç1C2 kombinasyonu ile elde edilmiştir.
- Düz çatı uygulamalarında 0° eğimin ideal eğime (28°) göre daha iyi sonuç vermesi; ideal eğim uygulamasında güneş pili panellerinin birbirini gölgede bırakmaması amacıyla aralıklı olarak düzenlenerek yüzey alanlarının azalması ile açıklanmaktadır.
- Aynı çatı alanlarında uygulanan düz çatı, kırma çatı ve beşik çatı seçeneklerinde, hem güneş pili alanı hem de eğim açısı enerji kazançlarını etkilemektedir.
- Güneş pilinin düz çatıya, kırma çatıya ve beşik çatıya uygulanması halinde, uygulama kombinasyonlarında, her bina formu için en yüksek verimi sağlayan uygun seçeneğin aynı olmadığı, bina formu değiştikçe çatı ve cephe alanları da değiştiği için, verimin de değiştiği görülmektedir.
- Maliyet analizleri sonucunda, enerji yükleri en düşük olan bina formunda en düşük yaşam dönemi maliyeti elde edilmiştir.

Geliştirilen yaklaşımla, hangi bina formunun hangi güneş pili uygulama seçeneği ile enerji ve maliyet etkin olacağını belirlemek olanaklıdır. Böylece alternatif enerji kaynaklarından güneş enerjisini kullanarak fosil yakıt tüketiminin yol açtığı çevresel kirliliklere ilişkin olumsuzlukları gideren ve enerji ve maliyet etkin sistemler tasarlamak mümkün olabilecektir.

Gelecekte yapılacak çalışmalarda;

- Farklı bina formlarında Güneş pili uygulamasının yanı sıra güneş pili entegrasyonu seçeneğinin de enerji ve maliyet etkinliğinin değerlendirilmesi,

- İklim bölgelerine özgü bina formları açısından farklı bina formlarında güneş pili uygulamalarının enerji ve maliyet etkinliğinin değerlendirilmesi
- Farklı bina formlarında ara yönler için de enerji ve maliyet etkinliğinin belirlenmesi ve
- Bina formunun yatayda veya düşeyde gelişmesi sonucu elde edilen enerji ve maliyet etkinliğinin yanı sıra, en uygun bina formunun arsa maliyetleri açısından da değerlendirilmesi

geliştirilen yaklaşımın sonuçlarına katkı yapacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] **Çıtıroğlu, Ahmet.**, Haziran 2000 : Güneş Enerjisinden Yararlanarak Elektrik Üretimi TMMOB Makine Mühendisler Odası Dergisi (<http://arsiv.mmo.org.tr/pdf/0000022A.pdf>)
- [2] **Url-** , <<http://renewablegreenenergypower.com/solar-energy-facts-solar-energy-alone-can-power-the-world/> > 22.11.2013.
- [3] **Erdoğan, Deniz.**, 2009: Research on Building Integrated Photovoltaic Systems and Their Performance Evaluation; Yüksek Lisans Tezi ; I.T.U Mimarlık Fakültesi.
- [4] **Özkılıç Keles, Canten.**, 2008. Türkiyede Binalarda Enerji Verimliliği Açısından Fotovoltaik Sistemlerin Kullanılmasına Yönelik Bir İnceleme ; Yüksek Lisans Tezi, I.T.U Mimarlık Fakültesi.
- [5] **Url-** < <http://www.eie.gov.tr/MyCalculator/Default.aspx> > 10.05.2015
- [6] **Borand, Bahadır.**, 1997. Mevcut Binalarda Güneş Enerjisinden Yararlanmak İçin İyileştirme Önerileri; Yüksek Lisans Tezi, I.T.U Mimarlık Fakültesi
- [7] **Gemicioğlu, Ayşegül.**, 2011; Türkiye’de Enerji Verimliliği Açısından PV Sistemlerin Performansının Değerlendirilmesinde Kullanılabilecek bir Yaklaşım.
- [8] **Yılmaz, Zerrin.**; 2013-2014 Güz Donemi; “Passive Solar Systems” Ders Notları.
- [9] **Yılmaz, Zerrin.**; Akıllı Binalar ve Yenilenebilir Enerji ; 7. Ulusal Tesisat Mühendisleri Kongresi
(http://www.mmo.org.tr/resimler/dosya_ekler/101a002877d11b0_ek.pdf)
- [10] **Url-** <www.californiasolarcenter.org/photovoltaics.html> 22.11.2013
- [11] **Altın, Müjde.** Nisan 2013; Sürdürülebilir Bina Kabuğu Tasarımı ve Fotovoltaik Paneller 11. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, İzmir.
- [12] **Sayın , Selçuk., Koç, İhan.**, 2006: Güneş Enerjisinden Aktif Olarak Yararlanmada Kullanılan PV Sistemler ve Yapılarda Kullanım Biçimleri; Selçuk Üniversitesi.
- [13] **Celebi, Gulser.**, 2002 ;. Bina Düşey Kabuğunda Fotovoltaik Panellerin Kullanım İlkeleri Gazi Üniversitesi. Müh. Mim. Fak. Der. Cilt 17, No3, sf. 17-33
- [14] **Roberts, Simon., Guariente, Nicole.**, 2009: Building Integrated Photovoltaics, A Handbook..
- [15] **Url-** <www.vegaalarm.com/gunes-elektrik-enerjisi.html> 05.05.2015

- [16] **Altın, Müjde.,** Binalarda Enerji İhtiyacının PV Bileşenli Cepheler ile Azaltılması; Dokuz Eylül Üniversitesi.
- [17] **Url-** < <http://www.energysavingtrust.org.uk/Generating-energy/Choosing-a-renewable-technology/Solar-panels-PV>> 22.11.2013
- [18] **Url-** <<http://www.solarpanelsindustry.com/2012/07/connecting-solar-panels.html>> 05.05.2015
- [19] **Url-** <<http://howsolarworks.1bog.org/solar-inverter-other-solar-equipment/>> 05.05.2015
- [20] **Url-** <<http://www.elektrikport.com/teknik-kutuphane/gunes-enerjisi-elektrik-uretim-sisteminin-tasarlan--/4315#ad-image-0>> 17.10.2014
- [21] **Barutçu, Burak., Şişman, Altuğ., Öztürk, Fatih.,** 2014-2015 Bahar Yarıyılı; “Fotovoltaik Güç Sistemleri” Ders Notları, I.T.U. Enerji Enstitüsü.
- [22] **Url-** < <http://www.bazaar-roosendaal.nl/nederlands/mainpages/Zonne-energie.html>> 05.05.2015
- [23] **Yalçın, Ahmet Fuat.,** 2014; Güneş Enerjisi ile Elektrik Üreten Güneş Takipli Dikey Perde Tasarımı ve Analizi; Yüksek Lisans Tezi, I.T.U Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [24] **Url-** <<http://www.ontariosolarfarms.com/images/thin-film.jpg>>
- [25] **Url-** <<http://www.alternative-energy-tutorials.com/solar-power/pv-panel.html>>, alındığı tarih 22.11.2013.
- [26] **Jackson, Frank.,** 2008. Planning & Installing Photovoltaic Systems.
- [27] **Url-** < <http://www.eie.gov.tr/eie-web/turkce/YEK/gunes/gunespv.html>
- [28] **Thomas, Randall. , Fordham, Max., and Partners.,** 2000. Photovoltaics and Architecture
- [29] **Moral Uğur, Ekin.,** 2006; Güneş Pillerinin Yapı Kabuk Elemanları ile Bütünleştirilmesine Yönelik Bir Araştırma; Yüksek Lisans Tezi ; I.T.U. Mimarlık Fakültesi.
- [30] **Ak, F.,** 1993; Enerji Etkin Konut ve Yerleşme Birimi Dizaynında Uygulanabilecek Bir Yaklaşım; Yüksek Lisans Tezi, I.T.U Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [31] **Manioglu, Gulten.,** 2002 ; Isıtma Enerjisi Ekonomisi ve Yasam Donemi Maliyeti Acisinden Uygun Bina Kabugu ve Isletme Bicimi Seceneginin Belirlenmesinde Kullanilabilecek Bir Yaklaşım, Doktora Tezi, I.T.U. Mimarlık Fakültesi
- [32] **Meric, Z.,** 2011; Çok Katli Konutların Enerji Korunumu Acisinden Performansinin Degerlendirilmesine Yonelik Bir Calisma;Maslak Vadi Konutlari Projesi, Yuksek Lisans Tezi, I.T.U. Mimarlik Fakultesi.
- [33] **Salti, Soner.,** 2015; Binalarda Isi Pay Olcer Uygulamasinin Isitma Enerjisi Harcamalarinin Dengeli Bir Bicimde Paylastirilmasi Acisinden Degerlendirilmesi , Yuksek Lisans Tezi, I.T.U. Mimarlik Fakultesi

- [34] **Çetiner, İkbāl., Turhan, Seval.,** ; 2012 Fotovoltaik Sistemlerde Performans Değerlendirmesi ; 6. Ulusal Çatı ve Cephe Sempozyumu.
- [35] **Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği** ; 05.12.2008-10. Kısım; Bayındırlık ve İskan Bakanlığı.
- [36] **Kundakçı, Özge.;** 2013; Binalarda Toplam Enerji Harcamalarının ve CO₂ Salım Miktarlarının Azaltılması Amacıyla Bir Toplu Konut Örneğinin Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.U Mimarlık Fakültesi
- [37] **Olgay, V.;** 1963; Design With Climate-Bioclimatic Approach to Architectural Regionalism, Princeton University Press, New Jersey.
- [38] **Erdim, Banu.;** 2010; Binalarda Enerji Korunumu Acısından Isı Pompalarının Farklı İklim Bölgelerinde Uygulanması; Yüksek Lisans Tezi; İ.T.U. Mimarlık Fakültesi
- [39] **Yılmaz, Zerrin., Koclar Oral, Gul., Maniöglu, Gulten. ;** 2000; Bina Formu Arastırması
- [40] **TSE 825 Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği;** 05.12.2008; Bayındırlık ve İskan Bakanlığı.
- [41] **Goswami, D.Y., Kreith, F., Kreider, J.F.;**2000 Principles of Solar Engineering, Taylor and Francis, Newyork.
- [42] **Curran, M.A.;** 1996; Environmental Life Cycle Assessment , McGraw-Hill, Newyork.
- [43] **Basant Agrawal, Tiwari, G.N.;** 2010; Life Cycle Cost Assessment of Building Integrated Photovoltaic Thermal (BIPV) systems; Energy and Buildings Journal, 42,sf 1472-1481
- [44] **Dhillon, B.S.;** 1988; Life Cycle Costing , Gordon and Breach Science Publishers, Newyork.
- [45] **Ozturk, M., Bozkurt Cirak, B., Ozek, N.;** 2012;Evsel Fotovoltaik Sistemlerin Omur Boyu Maliyet Analizi; Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, Cilt 18, Sayı 1, sf 1-11
- [46] **Mutlu, Ayşe., Türkeri, Nil.;** Mayıs 2010; Fotovoltaik Modüllerin Çatı ve Sistemleri ile Bütünleştirilmesi ve İstanbul Örneği; Çatı ve Cephe Dergisi.
- [47] **Tas, Elçin.;** 2014-2015 Güz Yarıyılı; “Yapım Yönetimi ve Ekonomisi Dersi, Fizibilite Çalışmaları Uygulamaları” Ders Notları
- [48] **Firmalar ile Yapılan Görüşmeler;** Şubat 2015; Merk Solar Enerji Çözümleri A.S. , SolarTurk Enerji , Anel Enerji, Inform Elektronik Sanayi ve Tic. A.S.,
- [49] **Url-** <<http://www.epdk.org.tr/index.php/elektrik-piyasasi/lisanssiz-uretim>> 06.04.2015
- [50] **Gülsan Metal A.S.,** 2015 Şubat
- [51] **Garanti Bankası ;** 2015 Şubat, “Yıllık Brüt Faiz Verileri”

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad : Hatice Merve Yanardag

Doğum Yeri ve Tarihi : Istanbul - 1986

E-Posta : merveyan@hotmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2010, I.T.U, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bolumu
- **Yukse Lisans** : 2015, I.T.U, Mimarlık Fakültesi, Cevre Kontrolu ve Yapı Teknolojisi

