

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**DIŞ DUVARA SONRADAN TESPİT EDİLEN FOTOVOLTAİK PANELLERİN
PERFORMANSININ DENEYSEL OLARAK DEĞERLENDİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Maral DEMİR

Mimarlık Anabilim Dalı

Çevre Kontrolü ve Yapı Teknolojisi Programı

MAYIS 2015

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**DIŞ DUVARA SONRADAN TESPİT EDİLEN FOTOVOLTAİK PANELLERİN
PERFORMANSININ DENEYSEL OLARAK DEĞERLENDİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Maral DEMİR
(502111522)**

Mimarlık Anabilim Dalı

Çevre Kontrolü ve Yapı Teknolojisi Programı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. İkbāl ÇETİNER

MAYIS 2015

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 502111522 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Maral DEMİR**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**DIŞ DUVARA SONRADAN TESPİT EDİLEN FOTOVOLTAİK PANELLERİN PERFORMANSININ DENEYSEL OLARAK DEĞERLENDİRİLMESİ**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Doç. Dr. İkbal ÇETİNER**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Eş Danışman : **Yrd. Doç. Dr. Burak BARUTÇU**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Yrd. Doç. Dr. Nuri SERTESER**
İstanbul Teknik Üniversitesi

.....
Yrd. Doç. Dr. Erkan AVLAR
Yıldız Teknik Üniversitesi

.....
Doç. Dr. Rana KUTLU
Kültür Üniversitesi

Teslim Tarihi : **4 Mayıs 2015**
Savunma Tarihi : **27 Mayıs 2015**

Aileme,

ÖNSÖZ

İTÜ BAP birimine tez projeme sağladığı maddi katkıdan dolayı teşekkür ederim. Tez çalışmam süresince bilgi ve deneyimleriyle her zaman bana destek olan saygıdeğer hocam Doç. Dr. İkbâl ÇETİNER'e ve deneysel çalışmamın gerçekleşmesinde büyük katkısı olan eş danışmanım Yrd. Doç. Dr. Burak BARUTÇU'ya teşekkürlerimi sunarım.

Beni her daim okumaya ve kendimi geliştirmeye teşvik eden, güçlü bir birey olmayı bilinçlilik ile özdeşleştiren babama ve anneme maddi manevi destekleri için sonsuz teşekkür ederim. Ayrıca zor zamanlarımda beni yılmadan motive eden sevgili eşim Mişel DEMİR'e tüm kalbimle teşekkür ederim.

Mayıs 2015

Maral DEMİR
Mimar

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
ÖZET.....	xix
SUMMARY	xxi
1. GİRİŞ	1
1.1 Amaç	2
1.2 Kapsam.....	2
1.3 Yöntem	3
2. GÜNEŞ ENERJİSİ	5
2.1 Güneş Enerjisi Sistemleri	7
2.1.1 Pasif sistemler	7
2.1.1.1 Direkt kazanım sistemleri	7
2.1.1.2 Dolaylı kazanım sistemleri.....	8
2.1.2 Aktif sistemler	9
2.1.2.1 Güneş kollektörleri.....	10
2.1.2.2 Fotovoltaik sistemler.....	10
2.2 Türkiye’de Fotovoltaik Sistem Kullanımı.....	11
2.3 Bölüm Sonucu	13
3. FOTOVOLTAİK HÜCRELER VE SİSTEMLER.....	15
3.1 Fotovoltaik Kullanımının Tarihsel Gelişimi	15
3.2 Fotovoltaik Hücrelerin Yapısı Ve Çeşitleri.....	16
3.2.1 Kristal silisyum hücreler	18
3.2.1.1 Tek kristal silisyum hücreler.....	19
3.2.1.2 Çok kristal silisyum hücreler	19
3.2.2 İnce film hücreler	20
3.2.2.1 Amorf silisyum hücreler	21
3.2.2.2 Bakır indiyum diselenid hücreler	21
3.2.2.3 Kadminyum tellürid hücreler	22
3.2.2.4 Boyaya duyarlı hücreler	22
3.2.2.5 Mikrokristal ve mikroşekilli hücreler	23
3.3 Fotovoltaik Sistem Çeşitleri	23
3.3.1 Tekil sistemler.....	24
3.3.2 Şebeke bağlantılı sistemler.....	25
3.3.3 Hibrit sistemler.....	26
3.3.4 Doğrudan kullanımlı sistemler.....	26
3.4 Fotovoltaik Panellerin Performansını Etkileyen Etmenler.....	27
3.4.1 İklimsel koşullar.....	27
3.4.2 Panelin konumu.....	28
3.4.3 Panelin açısı	29

3.4.4 Panelin yönü	30
3.4.5 Panelin gölgelenmesi durumu	31
3.4.6 Panelin sıcaklık artışı	33
3.4.7 Panelin bakımı ve temizliği	33
3.5 Fotovoltaik Panel Performansının Araştırıldığı Deneysel Çalışmalar	34
3.6 Bölüm Sonucu	35
4. FOTOVOLTAİK PANELLERİN BİNALARDA KULLANIMI	37
4.1 Binaya Tespit Edilen Fotovoltaik Paneller	37
4.1.1 Çatıya tespit edilen fotovoltaik paneller	37
4.1.2 Dış duvara tespit edilen fotovoltaik paneller	38
4.2 Binayla Bütünleşik Fotovoltaik Paneller	40
4.2.1 Çatıyla bütünleşik fotovoltaik paneller	41
4.2.2 Dış duvarla bütünleşik fotovoltaik paneller	42
4.2.2.1 Gölgeleme bileşeni olarak kullanımı	42
4.2.2.2 Yağmur perdeleme sisteminde kullanımı	44
4.2.2.3 Çubuk sistemli perde duvarda kullanımı	44
4.2.2.4 Panel perde duvarda kullanımı	45
4.2.2.5 Çift kabuk cephelerde kullanımı	46
4.3 Bölüm Sonucu	47
5. DIŞ DUVARA SONRADAN TESPİT EDİLEN FOTOVOLTAİK SİSTEMLERİN PERFORMANSININ DENEYSEL OLARAK DEĞERLENDİRİLMESİ	49
5.1 İklimsel Verilerin Belirlenmesi	49
5.2 Deneyin Tasarlanması	50
5.2.1 Deneyde kullanılan bileşenler	51
5.2.1.1 Ölçüm bileşenleri	51
5.2.1.2 Tespit bileşenleri	54
5.3 Deney Düzeneklerinin Kurulması	55
5.4 Seçeneklerin Belirlenmesi	56
5.5 Sonuçların Analizi	57
5.5.1 Şubat ayı ölçümlerinin analizi	57
5.5.2 Mart ayı ölçümlerinin analizi	61
5.5.3 Haziran ayı ölçümlerinin analizi	64
5.5.4 Temmuz ayı ölçümlerinin analizi	67
5.6 Sonuçların Değerlendirilmesi	70
5.6.1 Yaz-kış durumuna göre değerlendirme	70
5.6.2 Yöndeki farklılaşmaya göre değerlendirme	75
5.6.3 Tespit şekline göre değerlendirme	77
5.7 Bölüm Sonucu	78
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	79
EKLER	89
ÖZGEÇMİŞ	93

KISALTMALAR

FV	: Fotovoltaik
PV	: Photovoltaic
ITU	: Istanbul Technical University
BIPV	: Building Integrated Photovoltaics
AB	: Avrupa Birliği
EİE	: Elektrik İşleri Etüt İdaresi
YEGM	: Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü
°C	: Santigrat derece
kW	: KiloWatt
watt/m²	: Watt / metrekare
kWp	: KiloWatt Peak
kWh/m²-yıl	: Kilowatt-saat / metrekare-yıl
kWh/m²	: Kilowatt-saat / metrekare
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
GEPA	: Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası
kWh	: Kilowatt saat
MW	: Mega Watt
E_{yapısal}	: Yapısal elektrik alanı
mm	: Milimetre
m	: Metre
BİD	: Bakır indiyum diselenid
CdTe	: Kadminyum tellürid
BAP	: Bilimsel Araştırma Projeleri
İTÜ	: İstanbul Teknik Üniversitesi
Kcal/cm²-ay	: Kilokalori / santimetrekare-ay
cal/cm²-gün	: Kalori/ santimetrekare-gün
cm	: Santimetre
cm²	: Santimetrekare
F	: Enerji üretimi farkı yüzdesi
E1	: Boşluklu panel tarafından üretilen enerji
E2	: Boşluksuz panel tarafından üretilen enerji
W	: Watt
V	: Volt
A	: Amper
GB	: Gigabyte

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Türkiye'nin aylık ortalama güneş enerjisi potansiyeli	6
Çizelge 2.2 : Türkiye'nin yıllık toplam güneş enerjisi potansiyelinin bölgelere göre dağılımı	6
Çizelge 3.1 : Hücre tipine göre ortalama hücre ve modül verimlilikleri	19
Çizelge 5.1 : Şubat-Temmuz döneminde en sıcak/en soğuk günler için sıcaklık, bulutluluk ve yağış koşulları	50
Çizelge 5.2 : Deneyde kullanılan FV panellerin teknik özellikleri.	52
Çizelge 5.3 : Deneyde kullanılan veri kaydedicinin teknik özellikleri.....	52
Çizelge 5.4 : Kodlama sistemi.	56
Çizelge 5.5 : Panel seçenekleri.	57

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Doğrudan kazanım sistemi prensip şeması.	7
Şekil 2.2 : Dolaylı kazanım sistemlerinden biri olan Güneş duvarının prensip şeması	8
Şekil 2.3 : Ungar Evi’nde iki güneş duvarı ve arasında tasarlanmış ışıklık	9
Şekil 2.4 : Düzlemsel güneş kolektörlerinin katmanları.....	10
Şekil 2.5 : KKTC’de bulunan, Lefkoşe Güneş Enerjisi Santrali	11
Şekil 2.6 : Türkiye’de elektrik üretimi için kullanılan kaynaklar ve yenilenebilir enerji kaynakları	12
Şekil 3.1 : Hücre, panel, dizi ve serinin oluşumu	16
Şekil 3.2 : PN eklemının oluşması.....	17
Şekil 3.3 : Tek ya da çok kristal silisyum hücrelerin üretilmesi.....	18
Şekil 3.4 : Çeşitli kristal hücreler	20
Şekil 3.5 : Amorf silisyum hücrenin katmanları ve fotoğrafı	21
Şekil 3.6 : BİD hücrenin katmanları ve fotoğrafı	22
Şekil 3.7 : CdTe hücrenin katmanları ve fotoğrafı	22
Şekil 3.8 : Boyaya duyarlı güneş hücreleri	23
Şekil 3.9 : Güneş enerjisiyle çalışan bir araç	24
Şekil 3.10 : Tekil sistemin prensip şeması	25
Şekil 3.11 : Şebeke bağlantılı sistemin prensip şeması	25
Şekil 3.12 : Rüzgar türbinli bir hibrit sistemin çalışma prensip şeması	26
Şekil 3.13 : FV grubunun direkt olarak solar pompaya bağlandığı uygulama	27
Şekil 3.14 : Farklı konumlanma açılarının FV panelin performansı üzerindeki etkisi	28
Şekil 3.15 : Gölgelemenmeden korunmuş, optimal açı ile tasarlanmış ve güney yönüne bakan FV sistemli cephe örneği, İngiltere’de Oxford International Güneş Ofisi Binası	29
Şekil 3.16 : Güneş konumunun değişimi	29
Şekil 3.17 : Almanya, Freiburg için yönlere göre güneşlenmenin panel verimine etkisi	30
Şekil 3.18 : Gölgelemenmenin önemini vurgulayan şema	31
Şekil 3.19 : FV paneller arasında bırakılması gereken mesafenin hesaplanması	31
Şekil 3.20 : Birbirini gölgeleyen FV panel serileri.....	32
Şekil 3.21 : Cephe detaylarından gölgelemeyen bir FV cephe örneği	32
Şekil 3.22 : Eğimli çatıda doğal konveksiyon yoluyla havalandırılan panel şematik gösterimi ve uygulaması.....	33
Şekil 3.23 : Panel yüzeylerinin fırça ve su ile temizlenmesi	34
Şekil 4.1 : Düz çatıya ve eğimli çatıya tespit edilmiş FV paneller.....	38
Şekil 4.2 : Dış duvara tespit edilen sürme panjur sistemli ve gölgeleme bileşeni olarak FV paneller	39
Şekil 4.3 : Viyana Stadthalle Butik Otel dış duvarına tespit edilen FV paneller.....	40
Şekil 4.4 : Çatıyla ve dış duvarla bütünleşik FV sistemler.....	40

Şekil 4.5 : Eğimli çatıyla bütünleşik fotovoltaiik paneller	41
Şekil 4.6 : Çatıyla bütünleşik FV sistemin altında ısınan havanın yazın dışarı verilip kışın bina içinde kullanılmasını gösteren şema	42
Şekil 4.7 : Gölgeleme bileşeni olarak kullanılmış fotovoltaiik paneller.....	43
Şekil 4.8 : Hem yarı geçirgen cephe kaplaması, hem de gölgeleme bileşeni olarak kullanılmış FV paneller	43
Şekil 4.9 : Yürüyüş yolu ile birlikte tasarlanmış FV sistemli gölgeleme bileşenleri.	44
Şekil 4.10 : Yağmur perdeleme sistemine tespit edilmiş fotovoltaiik panellerin şematik gösterimi ve uygulaması.....	44
Şekil 4.11 : Çubuk sistemli perde duvara tespit edilmiş FV şematik gösterimi ve çubuk sistemli perde duvarın yapım aşaması	45
Şekil 4.12 : Panel perde duvar uygulamasının şematik gösterimi ve yapım aşaması.	46
Şekil 4.13 : Çift kabuk cepheye uygulanmış FV sistemin içerden görünüşü ve yazın serinlemeyi, kışın ısınmayı sağlayan sistemin prensip şeması.	46
Şekil 5.1 : İTÜ Enerji enstitüsü çatısı (a) ve deney için seçilen asansör şaftı (b).....	50
Şekil 5.2 : Deney düzeneği plan şeması ve kesiti.	51
Şekil 5.3 : Veri kaydedici.	53
Şekil 5.4 : Fotovoltaiik panelin arkasındaki bağlantı kutusu ve kablo birleşimi.	53
Şekil 5.5 : Kullanılan Z tipi ve I tipi metal bileşenler ile panellerin laboratuvar ortamında birleşimleri.....	54
Şekil 5.6 : Duvara tespit edilmiş arkası boşluklu ve arkası boşluksuz paneller	55
Şekil 5.7 : Binanın perspektif görünüşü, veri kaydedici ve kablolar.	56
Şekil 5.8 : Şubat ayının en soğuk günü için farklı yönlerde ölçülen elektrik üretimleri.....	59
Şekil 5.9 : Şubat ayının en sıcak günü için farklı yönlerde ölçülen elektrik üretimleri.	60
Şekil 5.10 : Mart ayının en soğuk günü için farklı yönlerde ölçülen elektrik üretimleri.....	62
Şekil 5.11 : Mart ayının en sıcak günü için farklı yönlerde ölçülen elektrik üretimleri.	63
Şekil 5.12 : Haziran ayının en soğuk günü için farklı yönlerde ölçülen elektrik üretimleri.....	65
Şekil 5.13 : Haziran ayının en sıcak günü için farklı yönlerde ölçülen elektrik üretimleri.....	66
Şekil 5.14 : Temmuz ayının en soğuk günü için farklı yönlerde ölçülen elektrik üretimleri.....	68
Şekil 5.15 : Temmuz ayının en sıcak günü için farklı yönlerde ölçülen elektrik üretimleri.....	69
Şekil 5.16 : Şubat ayının en soğuk (a) ve en sıcak (b) günlerinde, farklı yönlerde gerçekleşen enerji üretimi farklılıkları.....	71
Şekil 5.17 : Mart ayının en soğuk (a) ve en sıcak (b) günlerinde, farklı yönlerde gerçekleşen enerji üretimi farklılıkları.....	72
Şekil 5.18 : Haziran ayının en soğuk (a) ve en sıcak (b) günlerinde, farklı yönlerde gerçekleşen enerji üretimi farklılıkları.....	73
Şekil 5.19 : Temmuz ayının en soğuk (a) ve en sıcak (b) günlerinde, farklı yönlerde gerçekleşen enerji üretimi farklılıkları.....	74
Şekil 5.20 : Seçilen tüm günlerde 6:00 ile 18:00 arasında üretilen toplam elektrik miktarları.....	76

Şekil A.1 : Şubat ayının en soğuk ve en sıcak günlerindeki hava sıcaklığı değerleri.	90
Şekil A.2 : Mart ayının en soğuk ve en sıcak günlerindeki hava sıcaklığı değerleri.	90
Şekil A.3 : Haziran ayının en soğuk ve en sıcak günlerindeki hava sıcaklığı değerleri.	91
Şekil A.4 : Temmuz ayının en soğuk ve en sıcak günlerindeki hava sıcaklığı değerleri.	91

DIŞ DUVARA SONRADAN TESPİT EDİLEN FOTOVOLTAİK PANELLERİN PERFORMANSININ DENEYSEL OLARAK DEĞERLENDİRİLMESİ

ÖZET

Enerji, teknolojik gelişmeler ile birlikte insanoğlunun yaşamını sürdürmesi için en temel ihtiyaçlardan biri haline gelmiştir. Hızla büyüyen toplumların enerji ihtiyaçlarını genellikle fosil yakıtlardan karşılaması; dünyamızı kirletmekte, hava kalitesini bozmakta, canlılara zarar vermekte ve küresel ısınmaya sebep olmaktadır. Bu çevresel etkilerden dolayı, fosil yakıtlara güçlü bir alternatif oluşturan yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmek kaçınılmaz hale gelmiştir. Bu kaynaklardan biri olan güneş enerjisi, binalarda pasif ve aktif olarak iki şekilde kullanılabilir. Aktif sistemlerden biri olan fotovoltaik (FV) sistemler, güneş enerjisini direkt olarak elektrik enerjisine çevirebildiği için, dünyada hızla yaygınlaşmaktadır.

Tezin amacı, FV sistemlerin mevcut binaların dış duvarlarında kullanımı halinde göstereceği etkinliğin, farklı tespit şekillerine ve yerleştirileceği yöne göre incelenmesidir. Bu doğrultuda, çalışmada kaynak taraması ve deney yöntemlerinden yararlanılmıştır.

Çalışma altı bölümden oluşmaktadır. İlk bölümde; çalışmanın amaç, kapsam ve yöntemine dair bilgilerin verildiği giriş kısmı yer almaktadır.

İkinci bölümde; güneş enerjisi sistem çeşitleri anlatılmış, Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyeli açıklanarak bölgelere göre dağılımı verilmiştir. Aktif sistem çeşitlerinden biri olan FV sistemlerin Türkiye'de kullanımına değinilerek, bu konudaki kısıtlamalar ve teşvikler açıklanmıştır.

Üçüncü bölümde, FV kullanımının tarihsel gelişimi, hücre yapısı ve çeşitleri, sistem çeşitleri, performansını etkileyen etmenler ele alınarak panel performansının araştırıldığı bazı deneysel çalışmalardan örnekler verilmiştir.

Dördüncü bölümde, FV panellerin binalarda kullanım biçimleri açıklanmış ve dış duvara tespit edilen ya da bütünleşik olarak uygulanan sistemler irdelenmiştir.

Beşinci bölümde ise, deneysel yöntem ile yapılan çalışma açıklanmıştır. Bu kapsamda; öncelikle iklimsel veriler, ölçüm periyotları ve değerlendirilecek günler belirlenmiş, deney düzeneğini oluşturan bileşenler ve düzeneğinin kurulumu anlatılmıştır. Sonrasında tez amacı doğrultusunda seçeneklerin nasıl geliştirildiği açıklanmış, seçeneklere ilişkin ölçüm sonuçlarının analizi yapılmış ve elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir. Sonuç olarak; mevcut bir bina dış duvarının farklı yönlerine tespit edilmiş FV panellerin her yönde belirli miktarda elektrik ürettiği ve bu değerlerin birbirine çok yakın olduğu, üretim miktarının güneşlenme süresine ve yüzeye dik olarak gelen güneş ışınımı miktarına göre değiştiği, elektrik üretiminin yazın daha erken başladığı ve daha geç sonlandığı, güneş ışınımının yoğun olduğu

yönlerde duvara arkasında boşluk bırakılarak yerleştirilen panellerin arkalarındaki havalandırma sayesinde daha iyi performans gösterdikleri görülmüştür.

Sonuç bölümünde ise, çalışmadan elde edilen sonuçlar özetlenmiş, Dünya ülkeleri arasında güneş enerjisi potansiyeli açısından şanslı olan ülkemizde, bu potansiyeli değerlendirmede bina cephelerinden de yararlanılması gerekliliği vurgulanmış ve panel performansının arttırılmasına yönelik önerilerde bulunulmuştur.

INVESTIGATING ENERGY EFFICIENCY OF PHOTOVOLTAIC PANELS MOUNTED ON EXTERIOR WALLS

SUMMARY

In the world, in Turkey as well, need for electricity energy is increasing rapidly depending on the increasing population and technology development. The usage and development of renewable energy is flourishing because of shortages in fossil energy resources and impacts on environment and energy.

Of all renewable energy resources, solar energy is the most productive one in Turkey. It is very important to evaluate solar energy in Turkey, because this country lies in a sunny belt between 36°N and 42°N latitudes. In the country which has five kinds of climatic zones, for instance, South East Anatolia Region with hot-dry climate has almost 1800 kWh/m² solar radiation per year while Black Sea Region with temperate-humid climate has approximately 1500 kWh/m² solar radiation per year.

Solar energy can be used as active and passive systems in buildings. Solar thermal systems are the widely used active systems in Turkey. Solar thermal systems are especially used in Turkey's Mediterranean region, which is efficient due to the weather conditions. Solar electricity is generated by using PV technology which is the direct generation of electricity from sunlight. These systems, however, are rarely used in Turkey. PV modules convert 10–15% of the solar energy into electricity, therefore the vast majority of the incident energy is converted into heat. The efficiency of the panel decreases as panel temperature increases. Its modules work silently with no moving parts, minimal maintenance and no pollutant emissions. They are clean, safe and efficient devices that have been considered as a logical material for use in buildings. Unfortunately, PV systems are not commonly used in Turkey although this country has the aforementioned high solar energy potential because of legal constraints, unconsciousness and high prices.

PV systems differ from each other according to the application systems in two ways. A PV system can be firstly planned at the beginning of architectural design. In this case, in addition to energy production, it is a part of building envelope and serves to provide thermal and acoustic insulation, solar control, and to protect building from weather conditions. This type of systems are called Building Integrated Photovoltaic (BIPV) systems, and some of the versions are shading systems, rainscreen systems, stick system curtain walls, unitized curtain walls and double skin façades. Recent technological advances have made PV systems suitable for directly integration into building construction. PV module size, cost, appearance and reliability have advanced to the point where they can function within the architectural parameters of conventional building materials. A building essentially provides an area and a structural support for a PV module. Second application type is mounted systems. Less energy production is provided with PV panels which are mounted on building envelope, compared to integrated systems. However, mounted systems have the advantage of making PV systems available for old or historical buildings. In this

case, the subject of how to generate maximum energy from the panels mounted on façade is significant.

Designers should know how to increase panel efficiency depending on air temperature, its installation type and position on exterior wall. The purpose of the thesis is to analyse the efficiency of PV systems mounted on exterior walls of existing buildings according to different fixing types and orientations. Literature research and experimental study is used accordingly for this research.

This study consists of six sections. First section contains the introduction part, where the purpose, extent and the method of the study were presented.

In the second section, solar energy systems and solar energy potential in Turkey according to the regions were first mentioned. The usage of PV systems in our country, and limitations and motivations from the government about solar energy in Turkey were then explained.

In the third section, history, structure and working, components and types of photovoltaic systems were examined, and the parameters affecting the system efficiency were discussed. Some experimental studies related to efficiency of PV system were briefly given.

In the fourth section, using types of these systems in buildings were explained, and the systems which are mounted on building exterior wall or integrated with it were examined. Less energy production is provided with PV panels which are mounted on building exterior wall, compared to integrated systems. However, mounted systems have the advantage of making PV systems available for old or historical buildings. In this case, the subject of how to generate maximum energy from the panels mounted on the wall is significant.

Fifth section explains the application study made by experimental method. Weather conditions, measurement periods, experimental set up and its assemblies were first explained. After the alternatives were generated in relation to the aim of the thesis. Finally the results were analysed and assessed. In the assessments, the amount of generated energy was discussed depending on whether or not there is a cavity between the wall and panel and the orientation of the PV panels. In the experiment, six panels with monocrystalline cell were used to evaluate the efficiencies of PV panels at different orientations. The study aiming to investigate the efficiency of PV system mounted on the exterior wall has been performed at Energy Institute of Istanbul Technical University (ITU) which was located in the Ayazaga Campus of ITU. An empty area faced to weather conditions, which was built as a lift shaft of the building, was selected for the measurements. The measurements were performed for the coldest and warmest days in February, March, June and July. In conclusion, the energy production of the panels mounted on the exterior walls of a building at different orientations were measured in approximate values. In addition, the amount of the energy produced by PV panel was affected by installation type of the panel and its orientation and solar radiation amount. In the panels mounted with a cavity on the wall, the cavity between the wall and the panel caused to reduce the temperature at the back of panel when solar radiation amount is high which results in increasing panel efficiency. Thus, in the orientation where solar radiation is dense, south wall in winter and west wall in summer, the panels with cavity had higher performance because of the ventilation occurring at the back of the panels. The other result is that the generated energy in summer is more than in winter.

In the result section, the results obtained from the study were summarized and the necessity of PV system usage on exterior walls of existing buildings was emphasized for our country, which is one of the luckiest countries in the world in terms of solar energy potential. The aim of this study is to analyse the PV panel's efficiency which mounted on different façades with different installation types. This study obtained low amount of energy because of using small scaled PV panels. If bigger PV panels were used, the results could be more prominent. In the further studies, panel efficiency depending on panel temperature can be investigated besides the aforementioned issues.

1. GİRİŞ

Dünya'nın ana gündem maddesi olan enerji ihtiyacı, Türkiye için de her zaman ciddi bir sorun olmuştur. Bu ihtiyacı karşılamada dış ülkelere bağımlı olan ülkemiz, her yıl milyarlarca dolarlık fosil yakıt ithal etmek zorunda kalmaktadır [1]. Yapılan araştırmalar gerek çevre kirliliğinin azaltılması gerekse ülke ekonomisine daha az zarar verilmesi yönünde, fosil yakıtların daha verimli kullanılmasını ve yenilenebilir enerji kaynaklarının yaygınlaşmasını amaçlamaktadır [2].

Amerika Birleşik Devletleri'nden sonra Dünya'nın en fazla enerji tüketen ülkeler birliği olan Avrupa Birliği (AB), son yıllarda yenilenebilir enerji kullanımını arttırmak için çalışmalar yürütmektedir. AB'nin yayınladığı Yeşil Kitap ve Beyaz Kitap'ın ardından, çıkarılan teşvik kanunlarıyla 2010 yılı için yenilenebilir enerjinin brüt enerji ihtiyacının %22'sini oluşturması hedeflenmiştir [3].

Ülkemizde yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması yönündeki çalışmalar, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'na bağlı Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİE) bünyesinde Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü (YEGM) tarafından yürütülmektedir. Bu kaynakların en verimlilerinden biri olan güneş enerjisi, binalarda hem aktif ve hem de pasif sistemlerde kullanılmaktadır. Bu sistemlerden biri olan ve dünya genelinde hızla yaygınlaşan FV sistemler, güneş enerjisini elektrik enerjisine çevirmeleri nedeniyle aktif sistemler olarak kabul edilirler. Doğayı kirleten fosil yakıtlar yerine yenilenebilir güneş enerjisinden yararlanan bu sistemlerin, coğrafi konumu nedeniyle dünya ülkeleri arasında güneş enerjisi potansiyeli bakımından en üst sıralarda yer alan ülkemizde de yaygın olarak kullanılması için, güneş enerjisinden yararlanma yönünde bilincin artırılması son derece önemlidir. Sahip olunan bu potansiyelden daha çok yararlanılması, hem enerji ihtiyacı açısından dışa bağımlılığın hem de fosil yakıt salınımının azaltılması yönünden ülkemize olumlu katkılar sağlayacaktır. Özellikle çok sayıda bina stoğuna sahip olan Türkiye'de, bu sistemlerin yeni binaların yanı sıra mevcut binalarda da kullanımının getireceği faydalar gözardı edilmemelidir. Sağlanacak katkının artırılması, sistemin

maksimum performans alınacak şekilde tasarlanması ve uygulanması ile mümkün olacaktır.

1.1 Amaç

Çalışmanın genel amacı; gerek ülke ekonomisi gerekse çevre kirliliği açısından FV sistemlerin mevcut binalarda kullanımı ile sağlanacak olumlu katkının incelenmesidir. Bu sistemlerin performansı; genel olarak iklimsel koşullar ile panelin konumuna, açısına, yönüne, gölgelenme durumuna, panel arkasında boşluk bırakılıp bırakılmamasına ve yüzey temizliğine göre değişiklik göstermektedir. Tez çalışmasında; mevcut bir binanın dış duvarına sonradan tespit edilen FV panellerin, arkalarında boşluk bırakılıp bırakılmamasına ve yerleştirilme yönlerine bağlı olarak performansında gerçekleşen farklılıkların belirlenmesi amaçlanmaktadır. Diğer değişkenlerin, performansı araştırılan seçeneklerin tümü için aynı olduğu varsayılmıştır. Panelin dış duvara boşluklu ya da bitişik olarak yerleştirilmesinin, performansına olan etkisinin araştırılma nedeni; özellikle sıcak havalarda panel sıcaklığının artması sonucu panel veriminde gerçekleşecek düşmenin (Bölüm 3.4.6), arkasındaki havalandırma ile azaltılıp azaltılamadığını gözlemlemektir.

1.2 Kapsam

Çalışmada, ilk olarak sonsuz bir yenilenebilir enerji kaynağı olan güneş enerjisinin ülkemizdeki potansiyeli, kullanım kapasitesi ve bu enerjinin kullanım yöntemleri ile aktif güneş enerjisi sistemlerinden biri olan FV sistemlerin hücre yapıları, sistem türleri, binalarda kullanım olanakları ve performansını etkileyen etmenler açıklanmakta, sonrasında İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Enstitüsü çatısında bulunan asansör shaftının dış duvarı üzerine tespit edilen FV panellerin performansı yerleştirilme şekline ve yerleştirildiği yöne bağlı olarak araştırılmaktadır. Panelin duvar üzerine;

- arkası boşluklu ya da boşluksuz olarak
- doğu, güney ve batı yönlerinde

tespit edilmesi durumları için değerlendirme yapılmaktadır. Değerlendirmeler; Şubat-Mart ve Haziran-Temmuz aylarının en soğuk ve en sıcak günleri için elde edilen ölçüm sonuçlarını kapsamaktadır. Çalışma, İstanbul Teknik Üniversitesi

Bilimsel Araştırma Projeleri birimi tarafından Yüksek Lisans öğrencilerine verilen sınırlı bir bütçe dahilinde desteklenmiştir (BAP 37387).

1.3 Yöntem

Dış duvara tespit edilen FV sistemlerin performansının değerlendirilmesini amaçlayan çalışmada; kaynak taraması ve deney yöntemlerinden yararlanılmıştır. Kaynak taraması ile; güneş enerjisinin önemi, güneş enerjisi sistemlerinin çeşitleri ve çalışma prensipleri, FV sistemlerin performanslarını etkileyen etmenler ve binalarda uygulama olanakları araştırılmıştır. Deneysel çalışma ile, doğu, güney ve batı yönlerinde, arkası boşluklu ve arkası boşluksuz olarak dış duvara tespit edilen 6 adet FV panelin yaz ve kış aylarının en soğuk ve en sıcak günlerinde ürettiği elektrik miktarları ölçülmüş ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılarak değerlendirilmiştir.

2. GÜNEŞ ENERJİSİ

Dünya’da sürekli artan enerji talebi ve buna bağlı olarak mevcut enerji kaynaklarının hızla tüketimi dünya ülkelerini yeni enerji kaynakları arayışına zorlamaktadır [4]. Bu kaynaklardan biri olan Güneş, Dünya’nın en önemli yenilenebilir enerji kaynağıdır. Güneşin ısıtım enerjisi, yer ve atmosfer sistemindeki fiziksel oluşumları etkileyen başlıca enerji olduğundan, Dünyadaki madde ve enerji akışları güneş enerjisi sayesinde mümkündür. Rüzgar, deniz dalgası, okyanustaki sıcaklık farkları ve biyokütle enerjileri, güneş enerjisinin değişim geçirmiş biçimleridir. Ayrıca, fosil yakıtların da, biyokütle niteliğindeki materyallerde birikmiş güneş enerjisi olduğu kabul edilmektedir [5].

Güneşin çeşitli yöntemler ile ölçülen sıcaklığı 5800°C’dir. Böylesine sıcak bir cismin gücü, yani bir saniyede yaydığı ısıma enerjisi, yaklaşık 4 x 10²³ kW olarak ölçülmektedir. Bu enerji, atmosferde soğurulduktan sonra yeryüzünün her metrekaresine düşen güç ortalama yaklaşık 1.000 watt/m²’dir [3]. Güneş enerjisi çevresel açıdan temiz bir kaynak özelliği taşıdığından, fosil yakıtlara güçlü bir alternatif oluşturmaktadır. Yeryüzüne her sene düşen güneş ısıtım enerjisi, yeryüzünde şimdiye kadar belirlenmiş olan fosil yakıt haznelerinin yaklaşık 160 katı kadar olmakla birlikte, tüm fosil, nükleer ve hidroelektrik tesislerinin bir yılda üreteceğinden yaklaşık 15.000 kat daha fazladır. Bu bakımdan güneş enerjisinin insan faaliyetlerine uygun kullanılabilir bir enerji türüne dönüştürülebilmesi çok önemlidir [6].

Ülkemiz, coğrafi konumu nedeniyle sahip olduğu güneş enerjisi potansiyeli açısından birçok ülkeye göre şanslı durumdadır. Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü’nde mevcut bulunan 1966-1982 yıllarında ölçülen güneşlenme süresi ve ısıtım şiddeti verilerinden yararlanarak EİE tarafından yapılan çalışmaya göre; Türkiye’nin ortalama yıllık toplam güneşlenme süresinin 2640 saat (günlük toplam 7,2 saat) ve ortalama toplam ısıtım şiddetinin 1311 kWh/m²-yıl (günlük toplam 3,6

kWh/m²) olduğu tespit edilmiştir. Aylara göre Türkiye güneş enerji potansiyeli ve güneşlenme süresi değerleri ise Çizelge 2.1'de verilmiştir [7].

Çizelge 2.1 : Türkiye'nin aylık ortalama güneş enerjisi potansiyeli [7].

AYLAR	AYLIK TOPLAM GÜNEŞ ENERJİSİ (Kcal/cm ² -ay) (kWh/m ² -ay)		GÜNEŞLENME SÜRESİ (Saat/ay)
Ocak	4,45	51,75	103,0
Şubat	5,44	63,27	115,0
Mart	8,31	96,65	165,0
Nisan	10,51	122,23	197,0
Mayıs	13,23	153,86	273,0
Haziran	14,51	168,75	325,0
Temmuz	15,08	175,38	365,0
Ağustos	13,62	158,40	343,0
Eylül	10,60	123,28	280,0
Ekim	7,73	89,90	214,0
Kasım	5,23	60,82	157,0
Aralık	4,03	46,87	103,0
Toplam	112,74	1311	2640
Ortalama	308,0 cal/cm ² -gün	3,6 kWh/m ² -gün	7,2 saat/gün

Türkiye'nin en fazla güneş enerjisi alan bölgesi Güneydoğu Anadolu Bölgesi olup, bunu Akdeniz Bölgesi izlemektedir. Güneş enerjisi potansiyeli ve güneşlenme süresi değerlerinin bölgelere göre dağılımı Çizelge 2.2'de görülmektedir [7].

Çizelge 2.2 : Türkiye'nin yıllık toplam güneş enerjisi potansiyelinin bölgelere göre dağılımı [7].

Bölge	Toplam Güneş Enerjisi (Kwh/M ² -Yıl)	Güneşlenme Süresi (Saat/Yıl)
Güneydoğu Anadolu	1460	2993
Akdeniz	1390	2956
Doğu Anadolu	1365	2664
İç Anadolu	1314	2628
Ege	1304	2738
Marmara	1168	2409
Karadeniz	1120	1971

Bina ölçeğinde düşünüldüğünde; güneş enerjisi potansiyelinin yönler göre değişimi de dikkate alınmalıdır. Bu değişimin FV performansında önemli farklılıklara neden olacağı açıktır. Kaynaklı, Özdemir ve Karamangil, farklı yönlerde bina dış duvarlarına etki eden güneş ışıınımı miktarlarını hesaplamışlardır [8]. Bu çalışmaya göre; dik yüzeylerde en yüksek güneş ışıınımı değerleri kış aylarında güney yönünde, yaz aylarında ise batı yönünde elde edilmektedir.

2.1 Güneş Enerjisi Sistemleri

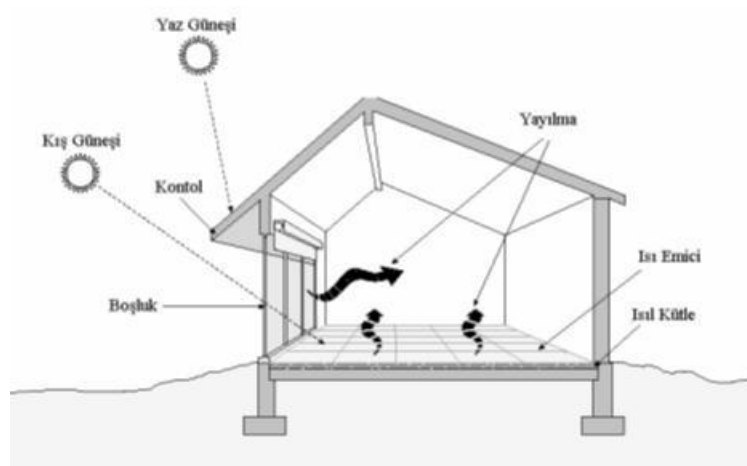
Güneş enerjisi potansiyelinden yararlanmak için, geçmişten günümüze çeşitli yöntemler ve buna bağlı olarak çeşitli sistemler geliştirilmiştir. Bu sistemler, pasif ve aktif sistemler olarak iki grupta toplanabilir.

2.1.1 Pasif sistemler

Bina tasarımında ısıtma, soğutma, havalandırma ve doğal aydınlatma gibi ihtiyaçların karşılanmasında doğal enerji kaynaklarının kullanılması, enerji etkinliğin pasif sistemlerle sağlanmasında öncelikli hedeftir [9]. Bu kaynaklardan biri olan güneş enerjisi; potansiyeli, kullanım kolaylığı, temizliği, yenilenebilir ve çevre dostu olması gibi nedenler ile diğerlerine göre daha kolay yaygınlaşabilecek bir kaynaktır [3]. İzleyen paragraflarda güneş enerjisinin pasif sistemlerde doğrudan ve dolaylı olarak iki farklı biçimde kullanımı açıklanmıştır.

2.1.1.1 Direkt kazanım sistemleri

Güneş enerjisini toplamak ve depolamak için kullanılan en basit sistemlerdir. Güneş ışınlarının genellikle güneşe doğru yönlendirilmiş cam yüzeylerden içeriye alınarak iç mekânı çevreleyen yüzeyler tarafından emilip depolanması ve ihtiyaç duyulduğu zamanlarda, özellikle gece olduğunda, depolanan enerjinin ısıtım ve taşınım yoluyla yeniden içeriye verilmesi ilkesine dayanır. Sistemden elde edilen ısı enerjisinin miktarı; cam yüzey alanına, malzemesine ve iç mekânı çevreleyen yüzeylerin ısı depolama kapasitesine bağlıdır. Doğrudan kazanım sisteminin prensip şeması Şekil 2.1’de verilmiştir [10].

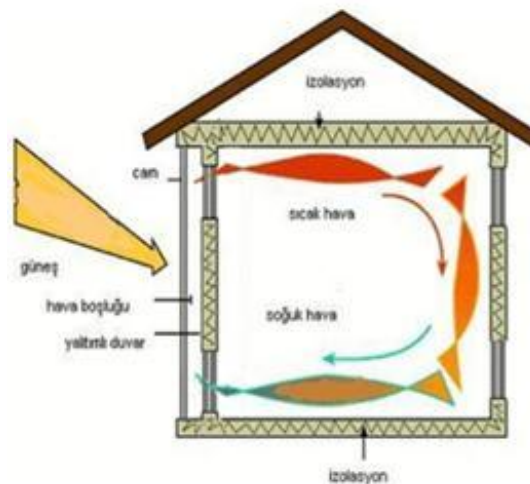


Şekil 2.1 : Doğrudan kazanım sistemi prensip şeması [10].

Doğrudan kazanım sisteminin binalarda kullanıldığı yerler; pencereler, seralar ve çatı ışıklıklarıdır. Güneye bakan pencereler, kışın yatık gelen güneş ışınlarından neredeyse gün boyu yararlanabilir; yazın ise daha dik gelen ışınlardan korunmaları kolaydır. Dolayısı ile açıklıkların güney cephesinde büyük, kuzey, doğu ve batı cephelerinde ise doğal aydınlatma ve havalandırmayı sağlamak koşuluyla, olabildiğince küçük olmaları tavsiye edilmektedir. İç mekanla bahçe arasında geçişi sağlayan seralarda ise; güneşe bakan cam yüzeylerin artması ile kış günlerinde ısı kazancı sağlanmakla birlikte, güneşin olmadığı saatlerde ısı kaybı olmakta ya da yaz günlerinde istenmeyen ısı kazancının artması gibi olumsuzluklar oluşmaktadır. Çatı ışıklıkları ise; ısı depolamada çok etkin sistemler olmamakla birlikte, güney cepheden yararlanılmadığı durumlarda kullanılabilirler [11].

2.1.1.2 Dolaylı kazanım sistemleri

Bu sistemler doğrudan kazanım sistemlerinden farklı olarak, güneş enerjisinin bina dış kabuğunda ısı depolama kapasitesi yüksek elemanlar içerisinde toplanıp, iç mekan sıcaklığının kabuk yüzey sıcaklığının altına düşmesi halinde iç mekana taşındığı sistemlerdir [10]. Depolanan enerjinin doğal taşınım yollarıyla iletildiği bu sistemlerde, enerji depolayıcılar yapının mimari özelliğini bozmayacak şekilde tasarlanmalıdır [12]. Dolaylı kazanım sisteminin prensip şeması Şekil 2.2’de verilmiştir.



Şekil 2.2 : Dolaylı kazanım sistemlerinden biri olan Güneş duvarının prensip şeması [13].

Başlıca dolaylı kazanım sistemleri, güneş (trombe) duvarları, çatı (güneş) havuzları ve güneş bacalarıdır. Güneş duvarları; bir cam yüzey ve arkasına yerleştirilmiş, tercihen siyaha boyanmış ya da seçici yüzeye sahip beton, dolu tuğla, kerpiç veya taş gibi ısı depolamaya uygun bir ısıl kütleden oluşmaktadır. Prensip olarak, güneş cam yüzeyden geçerek ısıl kütleye gelmekte, yüzeyce soğurularak ısıya dönüştürülmekte, ısı, kütle tarafından iletim yoluyla yüzeye, sonra da ışıınım ve taşınım yoluyla iç mekana verilmektedir (Şekil 2.2). Gece, dışarıya olan ısı kaybını engelleyerek depolanan ısıнын tümünün içeriye verilmesini sağlamak, yazın da kütleyi gölgeleyerek ısınmasını engellemek amacıyla kepenk benzeri bir yalıtım bileşeniyle dış hava şartlarından korumak gerekmektedir [11]. Şekil 2.3'te uygulanmış bir güneş duvarı görülmektedir.



Şekil 2.3 : Ungar Evi'nde iki güneş duvarı ve arasında tasarlanmış ışııklık [14].

Çatı havuzları; su dolu plastik torbalar ile mekanın tavanını oluşturan metal tavandan içeriye ısı aktarmak prensibine dayanmaktadır. Kışın su torbalarının ısıyı dış ortama vermesini önlemek için, gün batımında torbaların üstü yalıtım malzemeleriyle kapatılmalı, sabah ise tekrar açılmalıdır. Yazın ise bunun tam tersi yapılmalıdır [11]. Güneş bacaları ise; güneş enerjisini toplayıp içinde dolaşan havaya aktarma prensibiyle çalışan bir sistemdir [15]. Bunlar dışında, tek odalı güneş enerjisi santralleri, güneş ocakları ve geçişli hava panelleri olarak bilinen diğer dolaylı kazanım sistemleri, yaygın olarak kullanılmamaktadır.

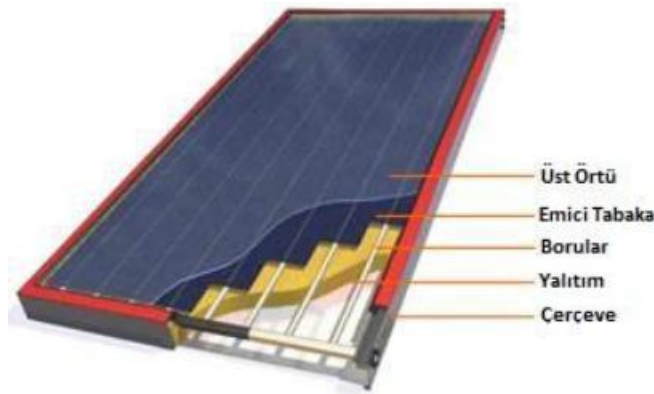
2.1.2 Aktif sistemler

Aktif sistemler, pasif sistemlerden farklı olarak, suyun ya da ısı transfer sıvısının çevirimi için pompa kullanırlar. Aktif güneş sistemlerinin amacı; güneş ışınlarını ısı

formunda toplamak ve ihtiyaç halinde kullanmak üzere biriktirmektir [16]. Aktif sistemler, güneş kolektörleri ve FV sistemler olmak üzere ikiye ayrılır.

2.1.2.1 Güneş kolektörleri

Genel olarak çatılarda konumlanan bu sistemler hava ya da su ısıtmak için kullanılırlar. Sıcak hava ortam ısıtması için kullanılırken; sıcak su ortamın ısıtılması, ortamın soğutulması ve sıcak su ihtiyacının karşılanması gibi çok sayıda amaca hizmet edebilir [16]. Güneş kolektörleri, yörenin enlemi dikkate alınarak, güneşten en fazla yararlanacak şekilde sabit bir açıyla tespit edilirler. Şekil 2.4'te gösterilen bu güneş kolektörleri genellikle çatıya yerleştirilirler ve sıcaklıkları 70°C'ye kadar yükselebilir [17].



Şekil 2.4 : Düzlemsel güneş kolektörlerinin katmanları [17].

Kollektörde güneş radyasyonunun yutulması sonucunda yutucu plaka kanallarında dolaşan suyun ısıtıldığı sistem “doğal dolaşimli su ısıtma sistemi” olarak adlandırılır. Isınan suyun yoğunluğu azaldığında, su kendiliğinden yükselmekte ve depolama tankının üst kısmından içeriye girmektedir. Depolama tankının alt kısmındaki soğuk su ise, yer çekimi kuvveti ile kolektörün alt kısmına ulaşır, kolektör ve depolama tankı sıcaklıkları eşit oluncaya kadar bu dolaşımına devam eder. Güneş radyasyonunun şiddeti arttıkça, akışkanın dolaşım hızı da artmaktadır [3]. Çatıya tespit edilen güneş kolektörleri; tüm çatıya kaplanabilir, çatı üzerine gömme olarak uygulanabilir veya çatı kaplama malzemesinin üzerine eğimine uygun olarak yerleştirilebilirler [18].

2.1.2.2 Fotovoltaik sistemler

Güneş ışınlarını elektrik akımına dönüştüren FV sistemler, hızla önem kazanan bir enerji teknolojisidir [3]. Hesap makinelerinde kullanılan miliwatt gücündeki

sistemlerden, megawatt gücünde geniş kapsamlı merkezi elektrik üretim tesislerine kadar çeşitli uygulama alanlarına sahiptirler [19]. Şekil 2.5'te 1270 kWp gücünde bir güneş enerjisi santrali verilmiştir [20].



Şekil 2.5 : KKTC’de bulunan, Lefkoşe Güneş Enerjisi Santrali [20].

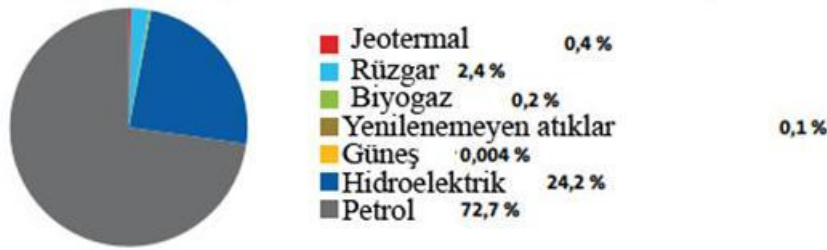
Sistemi oluşturan paneller, modüller halinde olduğundan ihtiyaca göre boyutlandırılabilir. Ayrıca bu sistemlerin basitliği düşük çalışma ve bakım maliyeti sağlamakta olup, çalışma maliyeti ve yakıt masrafının olmaması birim kWh başına enerji maliyetini ciddi oranda düşürmektedir. Kullanım ömrünün uzun olduğu bilinen FV sistemler, yaklaşık 20 yıl kullanılabilir [3]. Bölüm 3’te bu teknoloji hakkında ayrıntılı bilgi verilecektir.

2.2 Türkiye’de Fotovoltaik Sistem Kullanımı

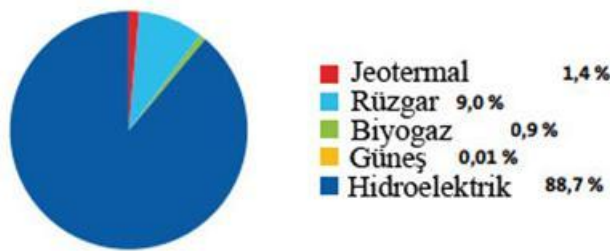
Türkiye, güneş kolektörü kullanımında Çin, ABD ve Japonya’dan sonra dünya dördüncüsü olmasına rağmen, elektrik enerjisi üretim ve kullanımı açısından bakıldığında aşılması gereken birçok mali ve teknolojik engeller ile karşı karşıyadır. Oysaki ülkemiz, coğrafi konumu sayesinde sahip olduğu güneş enerjisi potansiyeli açısından birçok ülkeye göre avantajlı durumdadır [21]. Buna rağmen, FV sistemlere Türkiye’de yeterince önem verilmeyişine; piyasadaki firmaların kanunlara ve bu konuya hakim olmaması, piyasada kalifiye mühendis ya da montaj elemanı bulunmaması, devlet teşviklerinin yetersizliği ve bu sistemlerin maliyet açısından yatırımcıların gözünü korkutması gibi birçok neden gösterilebilir. Söz konusu potansiyelin kullanılması ve yaygınlaştırılması için, EİE Güneş Enerjisi Şubesi

bünyesinde, 1982 yılından bu yana güneş enerjisi konusunda araştırma, geliştirme, bilgilendirme ve demonstrasyon çalışmaları yapılmaktadır. Bu çalışmalar, 02 Kasım 2011'den itibaren yeni kurulan YEGM'ne devredilmiştir. Bu kurumun çalışmaları arasında; teknoloji takibi ve değerlendirilmesi, kaynak ve potansiyel belirlenmesi, kullanım alanlarının araştırılması, araştırma-geliştirme ve demonstrasyon projeleri gerçekleştirilmesi yer almaktadır [22]. Ayrıca, 2023 yılında güneş enerjisinden ülkenin ihtiyacı olan elektriğin %2'sini üretmek de EİE tarafından belirlenen hedefler arasındadır [23]. Şekil 2.6'da, Türkiye'nin 2012 yılında kullandığı elektrik enerjisi üretme yöntemleri ve kullandığı yenilenebilir enerjinin miktarı gösterilmiştir ve güneş enerjisi, 2012 yılında en az kullanılan yöntem olarak görülmektedir [24]. Ülkemizde yenilenebilir enerji çeşitlerinden en yaygın olanı hidroelektriktir. Fakat hidroelektrik santralleri suyun doğal akış rotasını bozduğundan, tarımsal alanlarda kuraklığa sebep olduğu söylenmektedir [25].

2012 yılında Türkiye'de elektrik üretimi için kullanılan kaynaklar



2012 yılında Türkiye'de elektrik üretimi için kullanılan yenilenebilir enerji kaynakları



Şekil 2.6 : Türkiye'de elektrik üretimi için kullanılan kaynaklar ve yenilenebilir enerji kaynakları [24].

EİE'nin yapmış olduğu Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası (GEPA) çalışması sonucunda, Türkiye'de 56,000 MW termik santral kapasitesine eşdeğer güneş enerji kapasitesi bulunduğu ve bu potansiyelden yararlanılması durumunda yıllık ortalama 380 milyar kWh elektrik enerjisi üretim imkanının olduğu belirlenmiştir. 2005 yılında Türkiye'deki toplam FV sistem kapasitesi yaklaşık olarak 1 MW civarında iken [26], bu değer 2014 yılı sonunda 45 MW'a kadar yükselmiştir [27]. Bu alanla ilgili bir

diğer gelişme; 2005 yılında 5346 sayılı ‘Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun’un çıkartılmasıdır. Bu kanun ile; yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik enerjisi üretimi amaçlı kullanımının yaygınlaştırılması, bu kaynakların güvenilir, ekonomik ve kaliteli biçimde ekonomiye kazandırılması, kaynak çeşitliliğinin artırılması, sera gazı emisyonlarının azaltılması, atıkların değerlendirilmesi ve çevrenin korunması gerekliliği vurgulanmıştır. Ayrıca bu amaçların gerçekleştirilmesinde, ihtiyaç duyulan imalat sektörünün geliştirilmesi de önem kazanmıştır. Söz konusu kanun kapsamında; elektrik üretimi için, 1 MW altındaki sistemlerde üretim lisansı gerekmemektedir. 1 MW’tan büyük olduğunda ise, Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu tarafından tahsis edilen lisansa başvurulması zorunludur. Lisanslı ve lisanssız elektrik üretim sistemleri için gerekli belgeler, Türkiye Elektrik Dağıtım Anonim Şirketi tarafından belirlenmiş ve şablonları oluşturup yayınlanmıştır. Buna göre, binaya tespit edilen sistemler, bina ölçekleri göz önünde bulundurulduğunda çoğunlukla 1 MW’tan küçük sistemler olduğundan, lisanssız üretim tesisleri sınıfına girmektedir [28].

2.3 Bölüm Sonucu

Dünya’da sürekli artan enerji talebinden dolayı, mevcut enerji kaynakları hızla tükenmektedir. Dünya ülkeleri, yeni enerji kaynakları arayışında bulunmaktadır. Güneş enerjisi, yenilenebilir enerji sistemleri arasında en verimli sistemlerden biri olduğundan, güneş enerjisine verilen önem gün geçtikçe artmaktadır. Güneş enerjisinden pasif ve aktif yararlanma ve Türkiye’nin bu konulara bakış açısı bu bölümün konusu olmuştur. Enerji açısından dış ülkelere bağımlı olan ülkemiz, güneş enerjisi potansiyeli bakımından Dünya ülkeleri arasında en üst sıralardadır. Buna rağmen, Türkiye’de güneş enerjisi kullanımının yaygınlaşması açısından diğer ülkelerden çok geri kalmıştır.

Pasif güneş sistemleri başlıca doğrudan ve dolaylı kazanım sistemleri olarak ikiye ayrılırlar. Pasif sistemler herhangi bir mekanik ekipmana ihtiyaç duymazken, binanın yönü ve tasarımıyla en verimli şekilde faydalanmaya çalışırlar. Aktif sistemler ise, güneş enerjisini depolayarak veya depolamayarak farklı enerji türlerine çeviren sistemler olup, güneş kolektörleri ve fotovoltaik sistemler olarak ikiye ayrılırlar. Bir sonraki bölümde, fotovoltaik hücreler ve sistemler hakkında detaylı bilgi verilecektir.

3. FOTOVOLTAİK HÜCRELER VE SİSTEMLER

Yenilenebilir enerji kaynaklarının başında gelen güneş enerjisinden aktif olarak yararlanmada FV sistemler çok önemli bir yere sahiptir. Önceki bölümlerde anlatıldığı gibi, bu sistemler güneş ışınlarını direkt olarak elektrik enerjisine çevirebilme özelliklerinden dolayı, Dünya üzerinde hızla yaygınlaşmaktadır. Bu bölümde, FV panellerin tarihsel gelişimi, hücre çeşitleri, sistem çeşitleri ve performanslarından bahsedilecektir.

3.1 Fotovoltaik Kullanımının Tarihsel Gelişimi

Güneşin teknolojiye kullanımı çok uzun yıllar önce başlamıştır. Milattan önce 7. yy.'da, güneş ışınlarının cam veya ayna yardımıyla yoğunlaştırılarak ateş yakıldığı bilinmektedir [29]. Fakat güneş ışınlarını elektrik enerjisine dönüştürecek olan ilk FV etki 1839 yılında Fransız bilim adamı Edmond Becquerel tarafından keşfedilmiştir. Becquerel, iki iletken metal elektrottan oluşan elektrolitik hücrenin, ışığa maruz kaldığında elektrik üretkenliğinin arttığını gözlemlemiştir [30]. Ardından, Bell Laboratuvarında ilk kristal hücre 1954 yılında yapılmıştır. 1958'e kadar küçük uygulamalı araştırmalar yapılmış ve FV malzeme, uydular için güvenilir bir enerji kaynağı olarak kullanılmıştır. Güvenilir bir kaynak olarak görülen FV, aynı zamanda pahalı olduğundan, dünyada hemen yaygınlaşamamıştır. Fakat araştırmalara devam edilerek, maliyetinin azaltılmasına çalışılmaktadır [16].

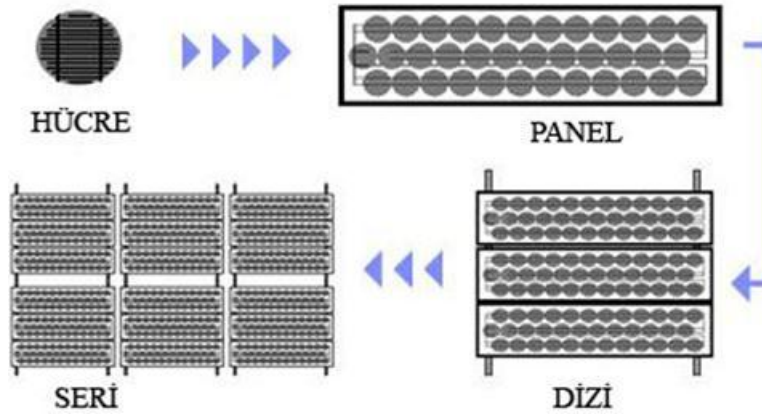
Fransız matematikçi August Mouchet 1860 yılında güneş enerjisi makinesi olarak yeni bir fikir sunmuştur. Sonraki 20 yıl süresince, kendisi ve asistanı Abel Pifre, çeşitli uygulamalarda kullanılmak üzere ilk güneş enerjisi makinesini yapmışlardır. 1873 yılında Willoughby Smith, selenyum elementinin ışık geçirgenliğini keşfetmiştir. 1876 yılında William Grylls Adams ve Richard Evans Day selenyum elementinin ışığa maruz kaldığında elektrik akımı oluşturduğunu keşfetmişlerdir. Selenyum elementi ile, elektrikli bir aleti çalıştırabilecek kadar güneş ışınımı

dönüştürülemezse de, katı bir malzemenin hareketli parçaları olmaksızın veya ısı enerjisi kullanılmaksızın ışığın elektriğe dönüştürülebileceği kanıtlanmıştır [29].

3.2 Fotovoltaik Hücrelerin Yapısı Ve Çeşitleri

FV hücreler, yüzeylerine gelen güneş ışığını doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren yarı-iletken maddelerdir. Yüzeyleri kare, dikdörtgen, daire şeklinde biçimlendirilen güneş hücrelerinin alanları genellikle 100 cm² civarında, kalınlıkları ise 0,1- 0,4 mm arasındadır. Güneş hücreleri FV ilkeye dayalı olarak çalışırlar, yani üzerlerine ışık düştüğü zaman uçlarında elektrik gerilimi oluşur [31]. Oluşan bu gerilim, güneş hücrelerinin üretildiği malzemeye göre değişkenlik gösterir [32].

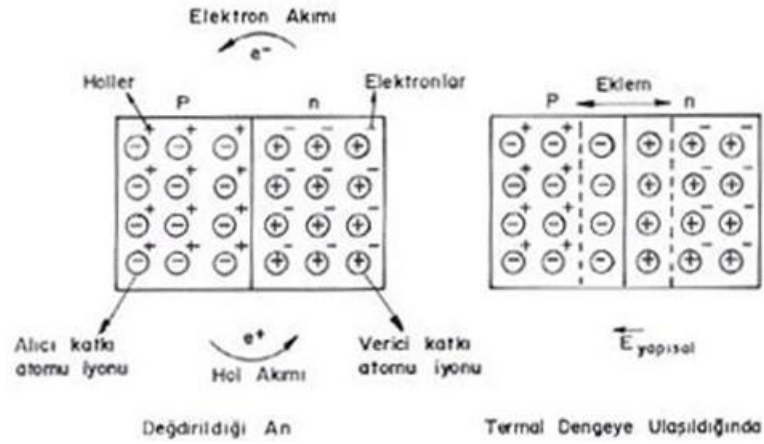
Güneş enerjisi, güneş hücresinin yapısına bağlı olarak % 5 ile % 30 arasında bir verimle elektrik enerjisine çevrilebilir. Güç çıkışını arttırmak amacıyla çok sayıda güneş hücresi birbirine paralel ya da seri bağlanarak bir yüzey üzerinde birleştirilir. Bu yapıya ‘güneş hücresi modülü’ ya da ‘FV modül’ adı verilir. Şekil 3.1’de bu modüllerin oluşum aşaması gösterilmiştir. Birbirlerine seri ya da paralel bağlanan modüller, ihtiyaca veya uygulama yapacak alanın büyüklüğüne göre farklı güçlerde sistemleri oluştururlar [31].



Şekil 3.1 : Hücre, panel, dizi ve serinin oluşumu [33].

Günümüz elektronik ürünlerinde kullanılan transistörler ve doğrultucu diyotlar gibi FV hücreler de, yarı-iletken maddelerden yapılırlar. Yarı-iletken özellik gösteren birçok madde arasında FV hücre yapmak için en elverişli olanlar, silisyum, galyum arsenit, kadmiyum tellür gibi maddelerdir [31].

Yarı-iletken maddelerin FV hücre olarak kullanılabilmeleri için n ve p tipi katkılanmaları gereklidir. Katkılama, saf yarı-iletken eriyik içerisine istenilen katkı maddelerinin kontrollü olarak eklenmesiyle yapılmakta olup, elde edilen yarı-iletkenin n ve p tipi olması katkı maddesine bağlıdır. En yaygın güneş pili maddesi olarak kullanılan silisyumdan n tipi silisyum elde etmek için silisyum eriyiğine periyodik cetvelin 5. grubundan bir element eklenir. Bu durumda fosforun fazla olan tek elektronu kristal yapıya bir elektron verir. P tipi silisyum elde etmek için ise, eriyiğe 3. gruptan bir element eklenir. Bu elementlerin son yörüngesinde 3 elektron olduğu için kristalde bir elektron eksikliği oluşur, bu elektron yokluğuna deşik denir ve pozitif yük taşıdığı varsayılır. P ve n tipi katkılandırılmış malzemeler bir araya getirildiğinde yarı-iletken eklemler oluşturulur. P ve n tipi yarı-iletkenler bir araya gelmeden önce, her iki madde de elektriksel bakımdan nötrdür. PN eklemi oluştuğunda; n tipindeki elektronlar, p tipine doğru akım oluştururlar. Bu olay her iki tarafta da yük dengesi oluşana kadar devam eder. PN tipi maddenin ara yüzeyinde, yani eklem bölgesinde, P bölgesi tarafında negatif, N bölgesi tarafında pozitif yük birikir. Bu eklem bölgesine 'geçiş bölgesi' ya da 'yükten arındırılmış bölge' denir. Bu bölgede oluşan elektrik alanı 'yapısal elektrik alanı' ($E_{yapısal}$) olarak adlandırılır (Şekil 3.2) [31].



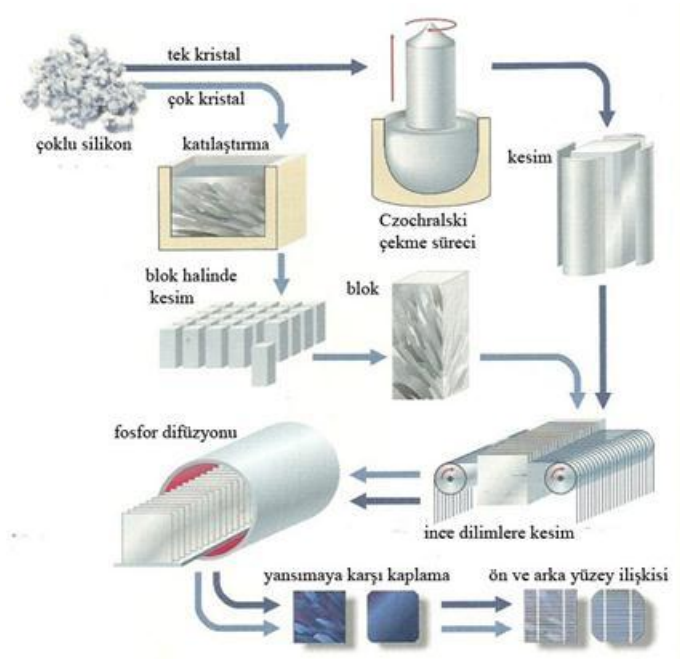
Şekil 3.2 : PN ekleminin oluşması [31].

Yarı-iletken eklemin FV hücre olarak çalışması için eklem bölgesinde fotovoltaiik dönüşümün sağlanması gerekmektedir. Bu dönüşüm için ilk olarak eklem bölgesine ışık düşürülerek elektron-hol çiftleri oluşturulur, ikinci olarak da bu çiftler bölgedeki elektrik alanı yardımıyla birbirlerinden ayrılır [31].

FV hücreler çeşitli malzemelerden üretilmektedir. Üretilen malzeme çeşidine göre bu hücreler genel olarak kristal silisyum ve ince film hücreler olmak üzere iki grupta incelenebilir.

3.2.1 Kristal silisyum hücreler

Genel olarak, üretilen güneş pillerinin %95'i silikondan yapılır. Silikon yeryüzünde oksijenden sonra en fazla bulunan elementtir. Şekil 3.3'te görüldüğü gibi, iki farklı şekilde işlenerek tek ya da çok kristal hale getirilebilir [34].



Şekil 3.3 : Tek ya da çok kristal silisyum hücrelerin üretilmesi [34].

Güneş enerjisi solar FV uygulamalarında kullanılacak silisyumun kirlilik oranı milyarda bir mertebelerinde olmalıdır. Bu yüzden hammadde halindeki silisyum kimyasal işlemlerle saflaştırıldıktan sonra, silisyumun gaz formundaki hidrojen klorit ile (hidroklorik asit) reaksiyona girmesi sonucu, hidrojen ve 31°C'da buharlaşan triklorosilan denilen bir sıvı meydana gelir. Kirlilik oranı gereken seviyeye düşüncüye kadar bu bileşen defalarca damıtma işlemine sokulur. Bu kimyasal süreçler için piyasada genel kabul görmüş 'Siemens işlemi' olarak bilinen 'Kimyasal buhar çökeltimi metodu' uygulanmaktadır. Siemens işlemi'nde, triklorosilan ve hidrojenden ultra saflıkta silisyum üretilir. Triklorsilan ve hidrojen yüksek saflıktaki ince silisyum çubuklarının bulunduğu reaktörlere enjekte edilir ve 1000 - 1200 dereceye kadar ısıtılır. Bu süreç sonucunda üretilen silisyum, kristal yapıdadır ve 'çoklu silikon' olarak bilinir. Çubuklar üzerlerinde saf silisyumun birikmesiyle kalınlaşır ve çapları

10 - 15 santimetreye ulaşır. Bu silindirler, külçeler halinde parçalara ayrılırlar ve FV hücreye dönüştürülecek olan tek kristal ya da çok kristal silisyum yonga plakalarının hammaddesi olarak kullanılırlar [35]. Şekil 3.3 te bu yonga plaklarından tek ve çok kristal hücre üretimi şematik olarak gösterilmektedir [34].

Hücre ve modül verimlilikleri hücre tipine göre değişiklik gösterir. Çizelge 3.1’de görüldüğü gibi; bir hücreden elde edilen verim, modül verimliliğine göre daha fazladır. En fazla verim tek kristal silisyum hücrelerde elde edilmektedir [36].

Çizelge 3.1 : Hücre tipine göre ortalama hücre ve modül verimlilikleri [36].

Hücre Tipi	Ortalama hücre verimliliği (%)	Ortalama modül verimliliği (%)
Tek Kristal Silisyum	13-17	12-15
Çok Kristal Silisyum	12-15	11-14
Amorf Silisyum	5	4.5 - 4.9

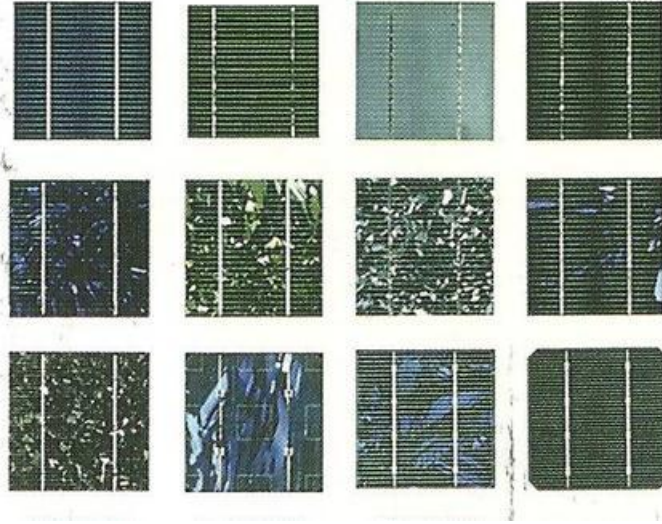
3.2.1.1 Tek kristal silisyum hücreler

Önce büyütülüp ardından 200 mikron kalınlıkta ince tabakalar halinde dilimlenen tek kristal silisyum bloklardan üretilen FV hücrelerden laboratuvar şartlarında %24, ticari modüllerde ise %15’in üzerinde verim elde edilmektedir. Yarı-iletken endüstrisinin çoğu tek kristal silisyuma dayandırılmış olduğundan, bu hücrelerin üretim sürecine ilişkin büyük bir teknoloji tabanı bulunmaktadır. Ancak saf tek kristal silisyum üretimi oldukça zor ve pahalı bir teknolojiyi gerektirmektedir. İlk ticari FV hücrelerinde, Czochralski kristal çekme tekniği ile büyütülen tek kristal silisyum kullanılmıştır [37].

3.2.1.2 Çok kristal silisyum hücreler

Dökme silisyum bloklardan dilimlenerek elde edilen çok kristal silisyum hücreler; tek kristal silisyum hücrelere göre daha ucuza üretilmekte, ancak verim de daha düşük olmaktadır. Verim, laboratuvar şartlarında %18-20, ticari modüllerde ise %14-16 civarındadır [38].

Bu hücreler kare şeklinde; 100x100 mm, 125x125 mm ve 150x150 mm boyutlarında; 0,3 mm kalınlığında üretilmektedirler. Homojen olmayan bazı yerlerinde kristaller görünebilir. Renkleri ise mavi ile gümüş grisi arasında değişmektedir (Şekil 3.4). Mavi olanları yansımayı önleyici tabaka ile kaplıdır [34].



Şekil 3.4 : Çeşitli kristal hücreler [34].

Silisyumun farklı üretim teknikleri ile işlenmesi sonucu elde edilen çok kristal silisyum hücrenin daha nadir üretilen diğer türleri; power silikon hücreleri, efg silikon hücreleri, string-ribbon silikon hücreleri, tek kristal dendritic-web silikon hücreleri ve apex silikon hücreleridir [34].

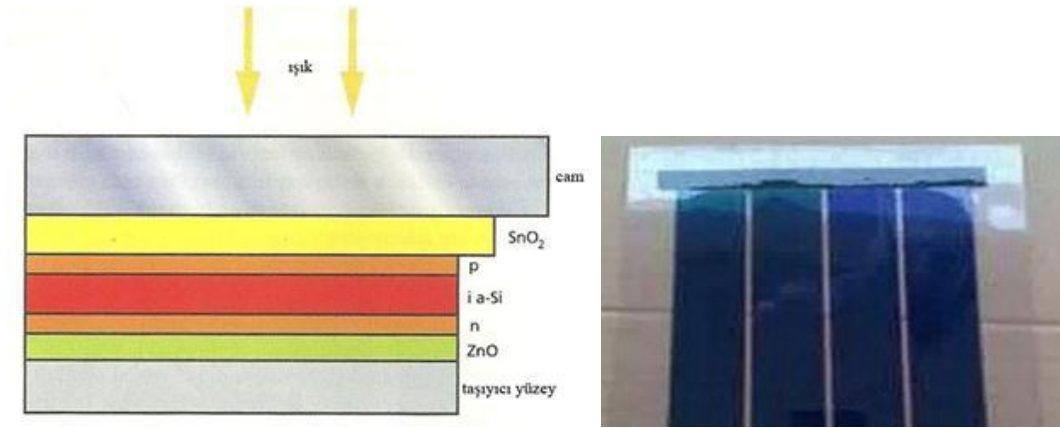
3.2.2 İnce film hücreler

Bu tip hücrelerde yarı-iletkenler ince katmanlar halinde destek yüzeye uygulanırlar. Uygulandıkları yüzeyler genellikle camdır. İnce film hücre üretimi, kristal silisyum hücrelerinin üretiminden daha zahmetsiz ve hızlıdır. Ayrıca bu hücreler üretilirken daha az malzeme ve enerji harcanır. İstenilen boyutlarda üretilebilir, ancak elektrik üretimi için aktif olan şekil dikdörtgen olanıdır. Dikdörtgen formun dışında kalan bölümleri elektrik üretmez [34]. İlk olarak 1960 yılında keşfedilmiş olan ince film hücreler %10 verimliliğe sahiptir. Farklı malzemelerden üretilebilen bu hücrelerin en yaygın çeşitleri, amorf silisyum ve kadminyum tellürid hücrelerdir. Bu hücreler üzerinde yapılan çalışmalarda verimleri yükseltilmektedir [39]. Bu tip hücrelerde, kristal silisyum hücrelerden farklı olarak hücreler yekpare olur ve hücreler arası bağlantı modül üzerindeki ince oluklarla sağlanır. Bu oluklar hücrelere şeffaflık kazandırabilir. İstenilen durumlarda yarı geçirgenlik, hücreler arası boşluğun büyütülmesi ile artırılabilir [34].

İnce film hücrelerin bilinen bazı avantajları; ileri derecede esneklik, her türlü yapıyla bütünleştirilebilirlik, özel olarak üretilebilirlik, hafiflik ve incelik, darbeye dayanıklılık ve çevre dostu bir malzeme olmasıdır [40].

3.2.2.1 Amorf silisyum hücreler

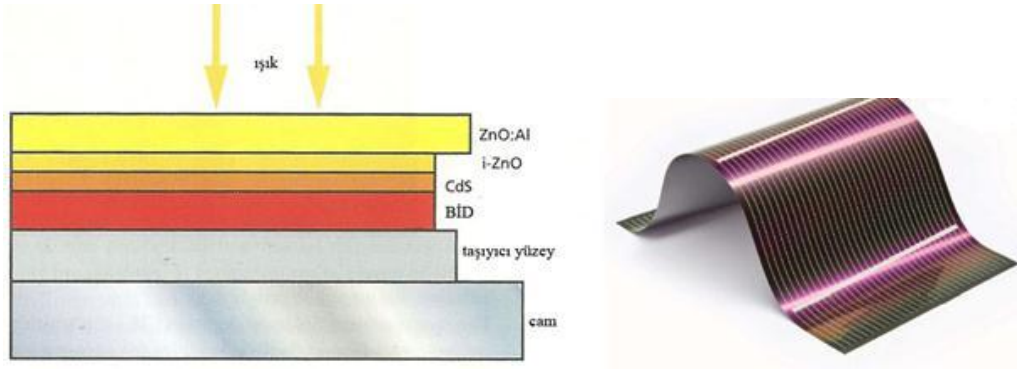
Kristal yapı özelliği göstermeyen amorf silisyum hücrelerden elde edilen verim %10, ticari modüllerde ise %5-8 dolaylarındadır. Bu hücrelerin belirli bir formu bulunmamasıyla birlikte her formda üretilebilirler. En fazla 0,79x2,44m boyutlarında üretilirlerken; özel üretimlerde boyutları 2mx3m'ye kadar çıkabilmektedir. Amorf silisyum hücrelerin homojen bir görüntüsü vardır. Kırmızı, kahverengi ile siyah arasındaki renklerde üretilmektedirler [34]. Amorf silisyum FV malzemeler; binayla bütünleştirilmiş yarı-saydam cam yüzeylerde, küçük elektronik cihazların güç kaynağı olarak, yapı dış koruyucusu ve enerji üretici olarak kullanılabilir [41]. Şekil 3.5'te amorf silisyum hücrelerin malzeme katmanları ve fotoğrafı verilmiştir.



Şekil 3.5 : Amorf silisyum hücrenin katmanları ve fotoğrafı[34,42].

3.2.2.2 Bakır indiyum diselenid hücreler

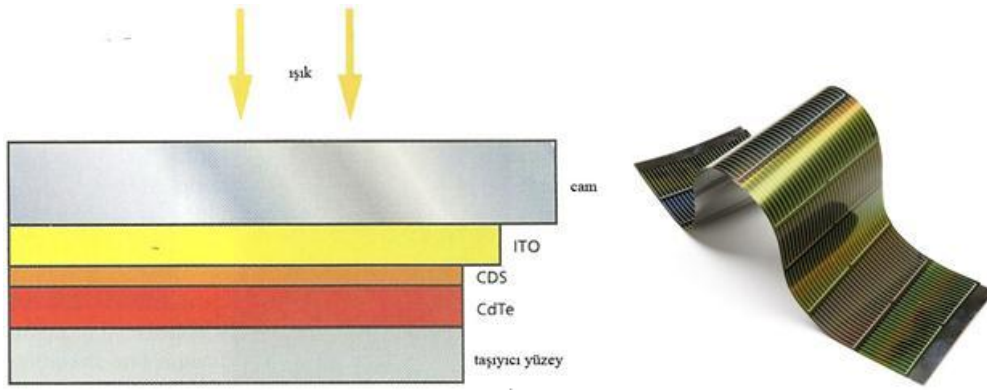
Bakır İndiyum Diselenid (BİD) FV hücrelerinde aktif olan yarı-iletken madde bakır indiyum diseleniddir. Modüllerinin verimliliği %9 ile 11 arasında değişim gösterir. Bu tip hücrelerde standart modül boyutları en fazla 1,2m x 0,6m'dir. Materyalin kalınlığı cam kaplama olmaksızın 2 mm ile 4 mm arasındadır. Homojen bir görüntüsü vardır, rengi ise koyu gri ile siyah arasında değişebilmektedir [34]. Şekil 3.6'da BİD hücrelerin katmanları ve fotoğrafı verilmiştir.



Şekil 3.6 : BİD hücrenin katmanları ve fotoğrafı [34,43].

3.2.2.3 Kadmiyum tellürid hücreler

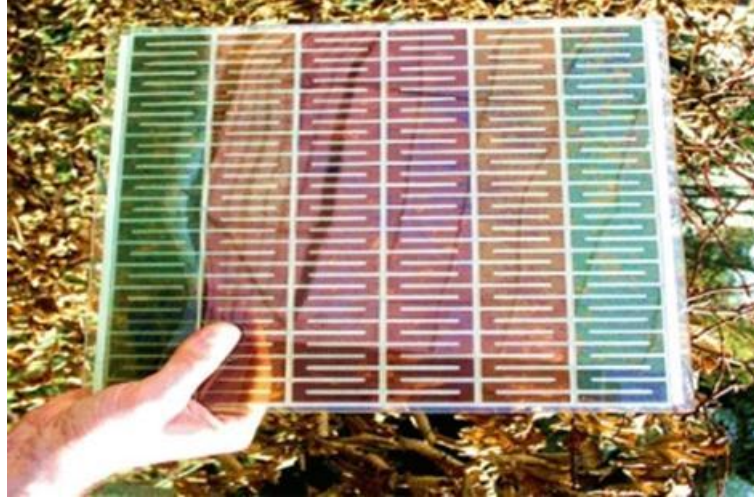
Alt tabaka malzemesi cam kaplama olmaksızın 3 mm kalınlığında olan bu tip hücreler de homojen yapıdadır. Standart modül ölçüleri 1,2m x 0,6 m olan hücrelerin rengi yansıtıcı koyu yeşil ile siyah arasındadır [34]. Şekil 3.7’de kadmiyum tellürid (CdTe) hücrelerin katmanları verilmiştir.



Şekil 3.7 : CdTe hücrenin katmanları ve fotoğrafı [34,44].

3.2.2.4 Boyaya duyarlı hücreler

Bu hücreler, üçüncü nesil güneş hücrelerindendir. Ümit vadetmekte olmasına rağmen henüz ticari olarak karlı olduğu kanıtlanamamıştır [45]. İsviçreli Profesör Michael Gratzel 1991 yılında yeni bir FV hücre keşfetmiştir ve ana materyali yarı-iletken titanyum dioksit (TiO_2) olan bu hücrenin silikon teknolojisi için gelecekte ucuz bir alternatif olacağı öngörülmektedir [34]. Şekil 3.8’de boyaya duyarlı hücre fotoğrafı gösterilmiştir. Bu hücreler, bitkilerde gözlenen foto elektro-kimyasal mekanizmalarla çalışırlar ve bu özelliklerinden dolayı ‘yapay fotosentez hücreleri’ olarak da adlandırılmaktadırlar [46].



Şekil 3.8 : Boyaya duyarlı güneş hücreleri [46].

3.2.2.5 Mikrokristal ve mikroşekilli hücreler

Alışlagelmiş ince film teknolojisinin düşük ısılı sistemlerinin, şekilsiz silikon teknolojisinden üretilen bir çeşididir. 200 ile 600°C arasında ısıtılan silikon filmler, ince grenli mikro kristal strüktürlerle birbirinden uzaklaştırılır. Düşük ısılı sistemler, cam, metal ya da plastik gibi ucuz materyallerin kullanılmasına olanak sağlar [34]. Günümüzde üzerinde çalışılan mikro kristal hücrelerden %11 verim elde edilmektedir. Pazar payını arttırmak ve hücreleri yaygınlaştırmak için, üretim maliyetini azaltmak ve verimi arttırmak amaçlı çalışmalar devam etmektedir [47].

3.3 Fotovoltaik Sistem Çeşitleri

FV sistemler, FV panellerin yanı sıra bazı elektronik ürünleri de içermektedir. Bu ürünler kısaca şarj regülatörü, maksimum güç noktası izleyicileri (Maximum Power Point Tracking), akım güçlendiriciler ve çeviricilerdir. Bütün bu ürünler, akımın büyük bir kısmını işleyebilir [48].

Batarya kapasitesine ihtiyaç duyulan bütün sistemlerde, şarj regülatörü en önemli bileşendir. Batarya hiç şarj edilmediğinde ya da aşırı şarj edildiğinde şarj regülatörü kapatılmalıdır [48].

Maksimum güç noktası izleyicileri genellikle giriş akımını farklı bir seviyede çıkış akımına çevirmek için kullanılır [48].

Akım güçlendiriciler ise akımı arttırmak gereken özel durumlarda kullanılır. Örneğin voltajda azalma olduğunda, giren akımı çıkan akıma eş tutmak yerine, güçlendirmeyi sağlar [48].

Çeviriciler, yükün bileşenlerine göre farklılaşabilir. Çeviricide yükü azaltmaya ihtiyaç duyulabilir, ama arttırmaya ihtiyaç duyulmaz. Çevirici seçimi, dalga boyu ihtiyacına ve çeviricinin etkinliğine göre değişir. Başlıca çevirici çeşitleri; kare dalga çeviriciler, modifiye edilmiş sinüs dalga çeviriciler ve darbe genişliğini hafifleten çeviricilerdir [48].

FV sistemler, tekil, şebeke bağlantılı, hibrit ve doğrudan kullanımlı olmak üzere 4 grupta incelenebilir.

3.3.1 Tekil sistemler

Tekil sistemlerde güneş enerjisinin kullanılacağı miktar enerji ihtiyacı ile eşleştirilerek sistemin büyüklüğü hesaplanır. Zaman içinde üretilen enerji miktarının enerji ihtiyacına yetmediği görüldüğünde genellikle bataryalar devreye girer. Tekil sistemler, şebeke elektriği kullanılmayan, örneğin şehir merkezinden uzak yerlerde ya da şebeke elektriğine ulaşmanın pahalı olacağı yerlerde kurulmalıdır [34].

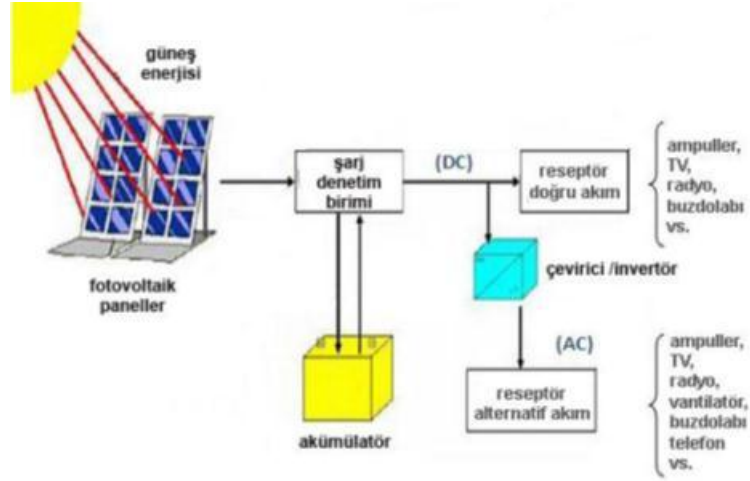
Tekil sistemlerin kullanımı küçük elektronik aletler için de uygundur. Hesap makineleri, saatler, güneş radyoları, şarj aletleri ve el fenerleri örnek olarak verilebilir. Ayrıca güneş ile çalışan arabalar, tekneler, cep telefonları, trafik ışıkları ve su motorları gibi birçok elektronik alet de mevcuttur [34]. Örneğin Şekil 3.9'da tekil sistemli güneş enerjisi ile çalışan bir araç görülmektedir.



Şekil 3.9 : Güneş enerjisiyle çalışan bir araç [34].

Genellikle bu sistemlerde batarya kullanılması gerekmektedir çünkü enerjiye ihtiyaç duyulan saatlerde enerji üretimi olamayabilir. Örneğin güneş enerjisi bütün gün kullanılabilir fakat aydınlatma elemanları genellikle gece kullanılır. Bataryalar

gündüz üretilen elektriği depo eder. Bataryaların korunması ve uzun ömürlü olabilmesi için regülatör de kullanılmalıdır. Sonuç olarak standart bir tekil sistemin bileşenleri, FV modüller, bataryalar, regülatör ve çeviricilerdir [34]. Şekil 3.10'da tekil sistemin prensip şeması gösterilmiştir.

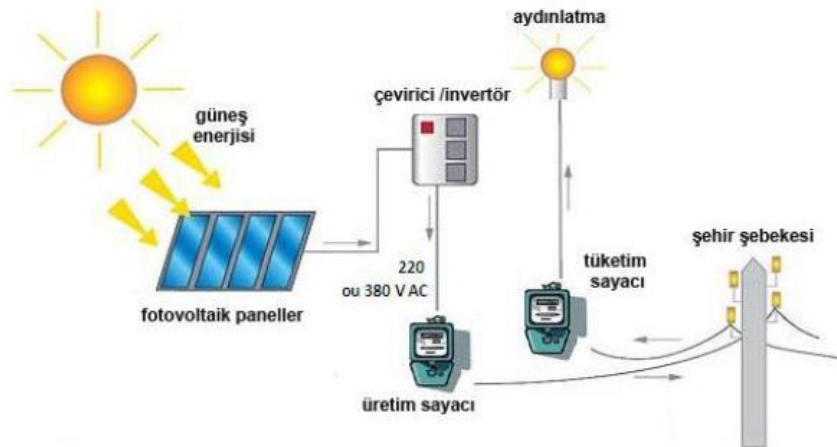


Şekil 3.10 : Tekil sistemin prensip şeması [49].

3.3.2 Şebeke bağlantılı sistemler

Şebeke bağlantılı sistemlerde; şebeke, tekil sistemlerdeki batarya görevini alır. Şebeke bağlantılı sistemin bileşenleri; FV paneller, bağlantı kutusu, doğru akım kablosu, doğru akım kesici (yalıtım anahtarı), çevirici ve alternatif akım kablosudur (Şekil 2.10) [34].

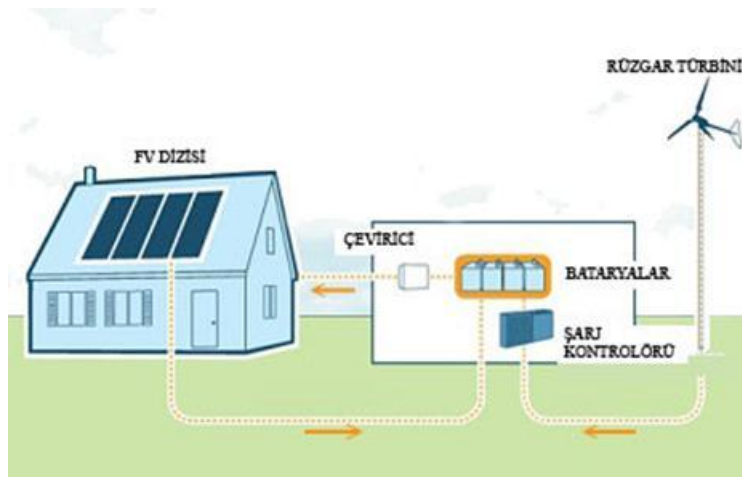
Şebeke bağlantılı sistemler, yerel elektrik şebekesine bir çevirici aracılığıyla bağlantılıdır. Çevirici, FV sistemin ürettiği doğru akımı (Direct current: DC) şehir şebekesinde bulunan alternatif akıma (Alternate current: AC) dönüştürür [50].



Şekil 3.11 : Şebeke bağlantılı sistemin prensip şeması [51].

3.3.3 Hibrit sistemler

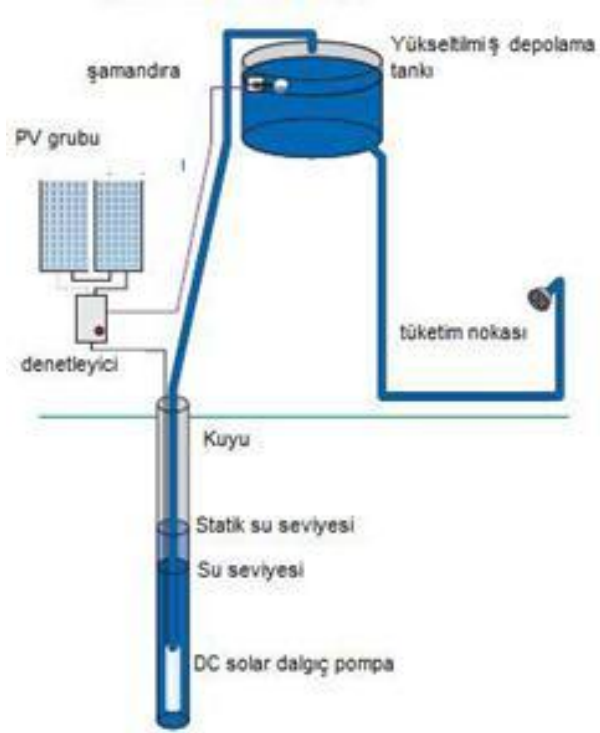
Güneşten elde edilen enerjinin yeterli olmaması durumunda FV sistemin ilave bir enerji kaynağı ile desteklenmesi gerekebilir. Bu sistemlerde, iki ya da daha fazla yenilenebilir enerji kaynağı da bir araya getirilebilir. Örneğin rüzgar ya da dizel ile çalışan jeneratör ek bir kaynak olarak kullanılabilir. Genellikle şebeke elektriğinden uzak bölgelerde tercih edilen hibrit sistemlerin kullanım amacı, tek başına yetemeyen güneş enerjisine destek olarak başka bir yenilenebilir enerji kaynağını kullanabilmektir. Bu enerji kaynaklarına ek olarak; bu sistem, doğru ve alternatif akım kabloları, depolama sistemi, çevirici ve yönetim veya denetim sistemi için bir bileşen içerir. Bu bileşenler değişik mimari yorumlamalarla yerleştirilebilir [34]. Şekil 3.12’de rüzgar türbini ile desteklenmiş bir hibrit FV sistemin prensip şeması gösterilmiştir.



Şekil 3.12 : Rüzgar türbinli bir hibrit sistemin çalışma prensip şeması [52].

3.3.4 Doğrudan kullanımlı sistemler

Doğrudan kullanımlı FV sistemlerde, FV panel yapılan işle doğrudan bağlantılıdır. Bu yüzden enerji, ancak güneş ışığı olduğunda elde edilir. Örneğin su pompalarında sistem sadece güneş olduğu sürece çalışır ve genellikle elektrik depolamak yerine su depolanır [53]. Şekil 3.13’de FV sisteme bağlanmış bir solar pompa düzeneği görülmektedir.



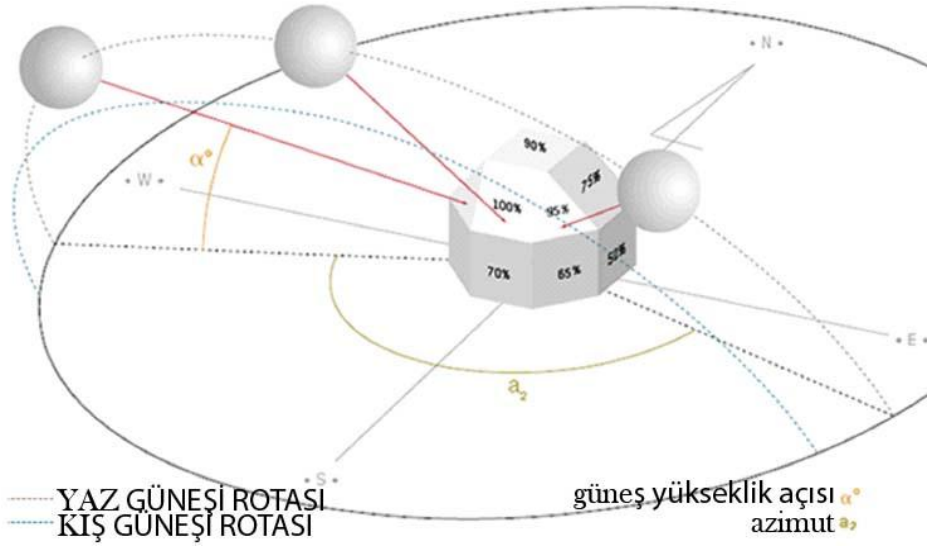
Şekil 3.13 : FV grubunun direkt olarak solar pompaya bağlandığı uygulama [54].

3.4 Fotovoltaik Panellerin Performansını Etkileyen Etmenler

FV sistemlerin performansı; iklimsel koşullara, panelin konumuna, açısına, yönüne, gölgelenme durumuna, sıcaklık artışına, arkasının havalandırılmasına ve bakım yapıp temizlenmesine göre değişiklik göstermektedir.

3.4.1 İklimsel koşullar

Bir binada FV panel kullanılacaksa, güneşin binaya geleceği yön ve açı tasarım aşamasından itibaren dikkate alınmalıdır. Örneğin Şekil 3.14’te gösterildiği gibi, Kuzey yarımkürede güneş kış aylarında yeryüzüne daha yakındır ve daha eğiktir. Bu nedenle, düşey kabuk kış günlerinde güneş ışınlamından daha fazla kazanç sağlamaktadır [55].



Şekil 3.14 : Farklı konumlanma açılarının FV panelin performansı üzerindeki etkisi [56].

3.4.2 Panelin konumu

Dünyanın geoit şeklinde olmasından dolayı güneş ışınlarının yeryüzüne düşme açısı bölgeden bölgeye farklılık göstermektedir. Bu nedenle kabuğunda FV panel tasarımı yapılacak olan bir binanın bulunduğu bölgenin yıllık güneşlenme değerleri, panelden elde edilecek enerjiyi doğrudan etkilemektedir [57]. Ayrıca, güneye konumlanma, geniş açıklıklı arazilere yönelme, gölgelenmeyi önleyecek şekilde boş arazilere yönelme ve açının doğru ayarlanması çok önemlidir [58].

FV sistemler, uzun süre güneş ışınımı alacak yüzeylere uygulanmalıdır. İlerde güneş ışınlarının bina yüzeylerine ulaşacağı öngörülen arazilere uygulanması uygun değildir. Etraftaki yapılara ve ağaçlara dikkat edilmelidir. Sistemin en iyi performansı, binaya güneş ışınlarının homojen olarak ulaşması durumunda gerçekleşir, çünkü birbirine seri bağlı olan hücreler elektrik üretimini üstlerine gelen en düşük ışıma seviyesinde yaparlar. Işıma eşit gelirse verim yükselmiş olur [59]. Şekil 3.15'te gölgelenmeden korunmuş ve güneye bakan bir cephe örneği gösterilmiştir.

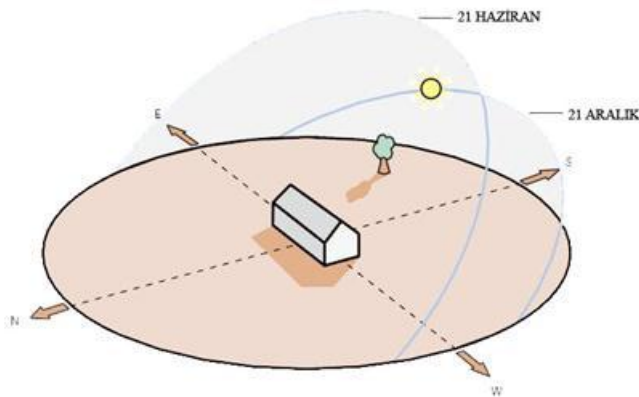


Şekil 3.15 : Gölgelemeden korunmuş, optimal açı ile tasarlanmış ve güney yönüne bakan FV sistemli cephe örneği, İngiltere’de Oxford International Güneş Ofisi Binası [58].

3.4.3 Panelin açısı

FV paneller yüksek performans sağlamak üzere, maksimum güneş ışıınımını alacak biçimde yerel enleme uygun bir açı ile güneşe yönlendirilmelidir. Bu nedenle; 1990’lı yıllara kadar maksimum ışıınımdan yararlanmak üzere bina yatay kabuğunda (çatıda) kullanılmıştır. Ancak, 1990’lı yıllarda yapılan araştırmalar, panellerin aşırı ısınması durumunda performansında önemli kayıplar olduğunu ve buna bağlı olarak daha az elektrik üretebildiğini göstermiştir [60].

Tasarım aşamasında, panel açısı ve cephelerin yönü, FV panellerin tespitlerine başlamak için yol gösterir. Açının önemi, güneş ışınlarının binaya ne şekilde ulaştığıyla orantılıdır. Doğrudan ışıınım; güneşin pozisyonuna, gün ve yıla göre yaptığı açıya bağlı olarak değişir [58]. Örneğin Şekil 3.16’da 21 Haziran ve 21 Aralık tarihlerinde güneş açısının değişimi gösterilmiştir.



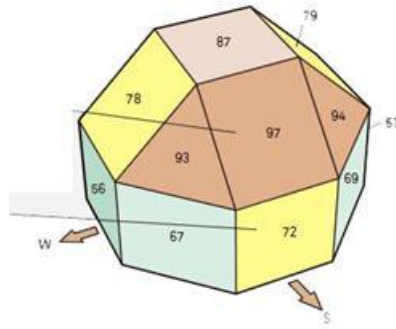
Şekil 3.16 : Güneş konumunun değişimi [58].

Türkiye’de FV panellerin yaz ve kış ortalamasına göre optimum yerleştirme açısı İstanbul için (41° Kuzey enlemi) 30° ’dir. Farklı yön ve açılarda yerleştirilen FV panellerdeki performans düşüşü, modül tipine göre farklılıklar gösterir. Türkiye şartlarında 10° ile 30° arasındaki yıllık performans farkı %15’i geçmeyecektir [61].

FV sistemler, direkt güneş ışınımına maruz kaldığı zaman maksimum verim sağlarlar. Güneşin hareketleri hem günlük hem de yıla bağlı olarak değiştiğinden, yıllık verimi maksimuma dönüştürmek için iki eksenli toplayıcı kullanmak da bir seçenektir. Güneşi takip eden toplayıcılar da kuru iklimlerde en iyi direkt güneş ışınımını yakalarlar ve bunlarda bile güneş ışınımının %10-20’ lik miktarı yayılıp etkisiz hale gelir [16].

3.4.4 Panelin yönü

Genellikle maksimum verim almak üzere paneller güney yönünde uygulanmaktadır. Güneydoğu ve güneybatı yönleri de uygulama için uygundur fakat bu uygulamalar güney yönüne uygulanan paneller kadar verimli değildir [62]. Örneğin, Şekil 3.17’de görüldüğü gibi; Almanya, Freiburg için çatıda güney yöne, 45° açı ile yerleştirilmiş panellerin verimleri %90 civarındayken, doğu ve batı yönlerinde verim en fazla %79’dur. Diğer taraftan, dikey yerleştirilmiş panellerdeki verimin yatay ve açılı yerleştirilmiş panellere oranla daha düşük olduğu da görülmektedir [58].

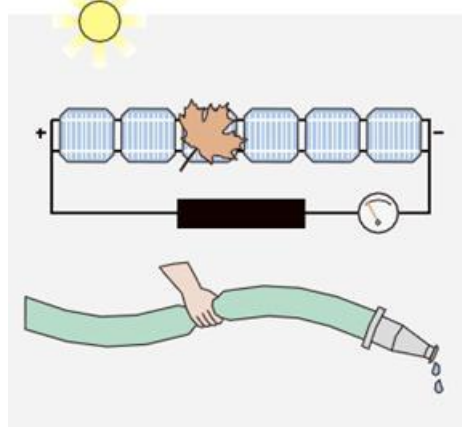


Şekil 3.17 : Almanya, Freiburg için yönler ve açılara göre güneşlenme panel verimine etkisi [58].

Dış duvara tespit edilen sistemlerde, her zaman en uygun yönü yakalamak mümkün olmayabilir. Kullanılabilecek yönleri ve en uygun açığı tespit edebilmek için, arazinin bulunduğu bölge için geçerli olan güneşlenme çizelgesi gibi tasarım araçları kullanılabilir [58].

3.4.5 Panelin gölgelenmesi durumu

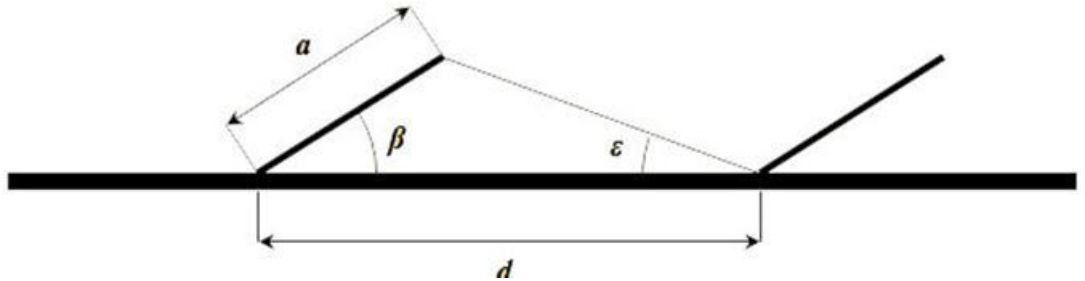
Gölgelenme, FV verimini oldukça kötü etkiler. Şekil 3.18’de gösterildiği gibi FV paneller üzerindeki küçük bir gölgelenme, elektrik üretimini durdurmakla kalmaz, akımı ani olarak durdurur ve gölgelenen hücre direnç gibi çalışır [58].



Şekil 3.18 : Gölgelenmenin önemini vurgulayan şema [58].

Kuzey yarım kürede güneye bakan güneş paneli grupları için optimal açının yaklaşık olarak $\varphi \pm 10^\circ$ olduğu bilinmektedir. Panel açısı, her mevsim için yıl içinde de ayrı ayrı ayarlanabilmektedir. Yatay düzlemde ardarda dizilmiş panellerin birbirlerini gölgelemelerini önlemek için paneller arasında bir d mesafesi bırakmak gerekmektedir. φ enleminde, a genişliğinde bir panel β açısıyla yerleştirilmiş ise, φ enlemi ve $\delta = 23.5^\circ$ ekliptik açısından önce ϵ gölgeleme açısı $\epsilon = 90^\circ - \delta - \varphi$ daha sonra da d aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanabilmektedir [63].

$$\frac{d}{a} = \cos \beta + \frac{\sin \beta}{\tan \epsilon} \quad (3.1)$$



Şekil 3.19 : FV paneller arasında bırakılması gereken mesafenin hesaplanması [63].

Panelin gölgelenmesi; bulutlara, çevresindeki bina ya da ağaçlara ve panellerin birbirini gölgelemesine bağlı olarak oluşabilir. Eğer uygulama öncesi gereken

hesaplamalar yapılmazsa, Şekil 3.20’de görüldüğü gibi birbirini gölgeleyen FV paneller elektrik üretimini olumsuz yönde etkiler [64, 58].



Şekil 3.20 : Birbirini gölgeleyen FV panel serileri [64].

Şehirlerin gelişimi ile, binaların birbirlerini gölgeleme ihtimalleri daha çok artmaktadır. Mümkün olduğu durumlarda FV paneller binaların güney taraflarına tespit edilmeli ve bu yönün önü her zaman açık bırakılmalıdır. Eğer planlama şehir ölçeğinde yapılıyorsa, kuzey tarafta en uzun binalar planlanmalı ve güneye doğru kısalan bir yapılaşmaya gidilmelidir. Kuzey yarımkürede güneye yönelen binalar günışığı ile aydınlatma, pasif güneş enerjisi kullanımı ve gölgelenmenin en aza indirgenmesi ile FV uygulamaları için en uygun binalardır [58].

Ayrıca eğer bir binaya FV panel uygulanacaksa, binanın kendi strüktüründen doğan gölgelenme sorunlarından kaçınılmalı veya en aza indirgenmelidir (Şekil 3.21). Bu sorunla tasarım aşamasında bazı hususlara dikkat edilerek başa çıkılabilir:

- Çatı alanlarında; asansör yuvaları, su tankları, bacalar ve havalandırma bacaları gibi gölge yaratabilecek kitleler kuzeye yerleştirilmelidir.
- Cephelerde; merdiven yuvaları kuzeyde planlanmalıdır.
- FV tespit edilen cephelerin ağaçlandırılmaması gereklidir. Eğer ağaçlandırılacaksa da kışın yaprak döken ağaçlar tercih edilmelidir [58].



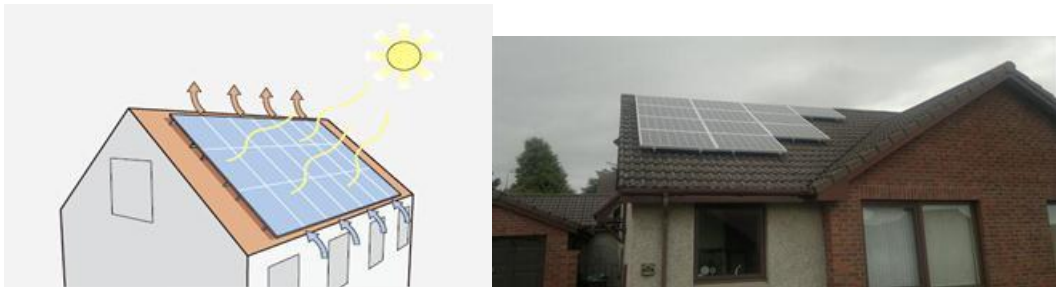
Şekil 3.21 : Cephe detaylarından gölgelenmeyen bir FV cephe örneği [58].

3.4.6 Panelin sıcaklık artışı

FV panelin sıcaklığı arttıkça, etkinliği azalır [58]. Normal durumda, güneş ışınlarının %10–15 kadarı FV modüller tarafından elektrik enerjisine çevrilir. Geri kalan güneş ışınları ısıya çevrilerek modülleri olumsuz yönde etkiler. Isıdan olumsuz etkilenme yüzdesi, hücre tiplerine göre değişim gösterir [65]. Kristal silisyum hücreler, bu sıcaklık artışından amorf silisyum hücrelere oranla daha fazla etkilenirler. Bu nedenle daha fazla performans düşüklüğü gösterirler [57].

FV paneller ile ortam sıcaklığı arasındaki fark güneş ışınlarına bağlıdır ve 40°C'ye kadar çıkabilir. Yazın, yüksek hava sıcaklıklarında FV panel sıcaklığı 75°C'ye kadar ulaşabilir [65].

FV panelin ulaştığı sıcaklık, ısıyı ne şekilde dağıtabildiği ile değişim gösterir. Eğer FV panel duvara arka yüzeyinden tespit edilmişse, sadece ön yüzeyinden ısı kaybedebilir, ancak ön yüzey en çok ışıma alan yüzey olduğundan ısını kaybetmesi zordur [58]. Bu durumda, FV panel sıcaklıklarının havalandırma yoluyla düşürülmesi mümkündür. Bu amaçla, FV paneller ile bina strüktürü arasında bir havalandırma boşluğu bırakılması, doğal konveksiyon yoluyla panellerin ısı kaybına uğramasına yardımcı olacaktır [58]. Şekil 3.22'de Edinburgh'daki bir konut binası çatısında havalandırma boşluğu bırakılmış FV panel uygulaması görülmektedir.



Şekil 3.22 : Eğimli çatıda doğal konveksiyon yoluyla havalandırılan panel şematik gösterimi ve uygulaması [58, 66].

3.4.7 Panelin bakımı ve temizliği

FV paneller ön yüzeylerinin cam olması nedeniyle, açık hava şartlarında her türlü yağmur, kar, rüzgar gibi hava koşullarına maruz kaldıklarından sürekli kirlenirler [67]. Özellikle zemine yakın tespit edilen paneller, dış duvara tespit edilen panellere göre daha çok kirlenir. Fakat 20° veya daha dik tespit edilmiş FV paneller yağmurun etkisiyle kendi kendine temizlenebilmektedir [62]. Kirlilik, panel üzerinde

gölgelenme yapacağından, verimi düşürecektir. Bu yüzden gerekli zamanlarda panel yüzeyleri, Şekil 3.23'te gösterildiği şekilde nazıkçe temizlenmelidir [68].



Şekil 3.23 : Panel yüzeylerinin fırça ve su ile temizlenmesi [68].

3.5 Fotovoltaik Panel Performansının Araştırıldığı Deneysel Çalışmalar

FV sistemlerin araştırıldığı deneysel çalışmalar, son yıllarda giderek artmaktadır. Panel açısının önemi bilindiğinden, daha çok açık alanlarda optimum açı ile yerleştirilmiş FV sistemler ve bina çatılarında yapılan uygulamalar deneysel olarak incelenmektedir. Bu sistemlerin dış duvarda kullanımına yönelik deneysel çalışmaların sayısı ise çok azdır ve genellikle bina ile bütünleşik FV sistemler üzerinedir.

Tezde; mevcut bir bina dış duvarına sonradan tespit edilen FV sistemlerin etkinliği deneysel bir çalışma ile incelenmektedir. Çalışmada; sistemin arkası boşluklu ya da boşluksuz olarak yerleştirilmesi halinde, panel sıcaklığında oluşacak farklılaşmanın üretilen elektrik miktarına olan etkisi araştırılmaktadır. Bu kapsamda, tespit şekli ile ilgili yapılmış deneysel çalışmalara bakıldığında; dış duvara sonradan tespit edilen panellerin etkinliğinin araştırıldığı sadece bir çalışmaya rastlanmıştır. López ve diğerleri tarafından gerçekleştirilen bu çalışmada [69]; tespit şeklinin bina dış kabuğu ve FV modül arasındaki ısı değişimini ve böylelikle FV sistemin performansını etkilediği vurgulanmış; panel arkasında bırakılacak 10 cm'lik bir boşluk ile sağlanacak havalandırmanın yaklaşık 40C bir sıcaklık azalmasına neden olduğu gözlenmiştir. Park ve diğerleri [70] tarafından yapılmış olan çalışmada ise; cam ile bütünleşik olarak tasarlanmış yarı-saydam bir FV modülün standart laboratuvar şartlarında ve dış ortam şartlarında göstereceği etkinlik araştırılmıştır. Sonuçlar; FV modül sıcaklığının 1°C artması halinde, elektrik üretiminin laboratuvar koşullarında %0.48, dış ortam koşullarında ise %0.52 azaldığını göstermiştir.

3.6 Bölüm Sonucu

Güneş enerjisinden elektrik enerjisi üreten FV hücrelerin çeşitleri ve sistem çeşitleri, FV panellerin performansını etkileyen etmenler ve FV sistemler ile ilgili yapılmış deneysel çalışmalar bu bölümün konusu olmuştur. Hücre çeşitleri sürekli geliştirilmekte olup, en yaygın kullanılan ve birinci nesil olarak adlandırılanları tek kristal ve çok kristal yapıları olanlardır. Ayrıca ikinci nesil olan ince film hücre çeşitleri ile üçüncü nesil boyaya duyarlı ve yoğunlaştırıcı hücreler de araştırılmaya devam edilen ancak henüz fazla yaygınlaşmamış olan çeşitlerdir. Hücre verimleri hücre tiplerine göre değişiklik gösterirken, yapılan çalışmalar ile bu değerler gün geçtikçe arttırılmaktadır.

FV panellerin performansını etkileyen etmenler; iklimsel koşullar, panelin konumu, açısı, yönü, gölgelenme durumu, tespit şekli, bakımı ve temizliği olarak 7 başlıkta özetlenmiştir. Performans verilerinin iyi olması FV sistemlerin amortisman süresi için çok önemlidir. Bu nedenle iyi bir sistem tasarımı için performansı etkileyen her hususa dikkat edilmelidir.

4. FOTOVOLTAİK PANELLERİN BİNALARDA KULLANIMI

FV paneller; çatılarda, dış duvarda, gölgeleme saçaklarında ya da binanın pencerelerinde kullanılabilirler. Bu durum önceki bölümde anlatıldığı gibi, güneşlenme açısına ve binanın konumuna göre değişkenlik gösterir. Genellikle FV panelleri bina elemanı olarak kullanmak, sonradan tespit etmekten daha ekonomiktir. En iyi verim, binanın tüm enerji yükleri göz önüne alınarak yapılan ve enerji ihtiyacını minimuma indiren tasarımlarda alınır [71]. FV paneller, eğer tasarım aşamasında düşünülmemiş ise, sonradan tespit edilebilirler. Bu sistemler, binanın tüm enerji ihtiyacını karşılayamasa da, mutlaka bir miktar katkı sağlarlar.

4.1 Binaya Tespit Edilen Fotovoltaik Paneller

Binaya sonradan tespit edilen FV paneller, genel olarak çatıya ve dış duvara tespit edilen paneller olmak üzere iki grupta incelenebilir.

4.1.1 Çatıya tespit edilen fotovoltaik paneller

FV panellerin kullanımı ilk zamanlarda daha çok çatıda olmuştur. Çünkü bu malzemeden en iyi şekilde yararlanabilmek için en uygun açı genelde çatıda elde edilmektedir. Bu açının cephede elde edilmesi daha zordur [72]. FV paneller; hem eğimli çatıya hem de montaj elemanları ile uygun açı sağlanarak düz çatıya , tespit edilebilmektedir. Şekil 4.1’de düz ve eğimli çatıya tespit edilen FV paneller gösterilmiştir.



Şekil 4.1 : Düz çatıya ve eğimli çatıya tespit edilmiş FV paneller [73].

Çatı üzerine yapılan uygulamalarda; tespit detaylarının çatının konstrüksiyon ve yalıtım katmanlarına zarar vermeyecek şekilde belirlenmesi ve panellerin çatıya emniyetli bir şekilde bağlanmasını sağlayacak özellikte olması gerekmektedir. Her çatının konstrüksiyonu, yalıtım katmanları ve çatı kaplama malzemesi farklı olduğu için, panellerin çatıya tespiti de bu yapıya özgü olmalıdır [74].

Örneğin oluklu kiremit altı levhası kullanılan, kiremit kaplı bir çatıdaki FV panel uygulaması sırasında; öncelikle kesintisiz su yalıtımı sağlayan kiremit altı levhasının olukları üzerine, montaj ayakları oluk tepelerinden vidalanıp, sonrasında paneller bu ayaklar üzerine tespit edilmektedir [75].

4.1.2 Dış duvara tespit edilen fotovoltaik paneller

Günümüzde, özellikle kalabalık şehirlerde, alan kullanımının artmasıyla çok katlı yapılar yaygınlaşmaktadır. Bu tür çok katlı yapılarda, dış duvar alanları çatı alanlarına göre daha fazla olduğundan, FV panel kullanımı için uygun alanlar olarak görülmektedir. Bu tür uygulamalar öncesinde; FV duvarın rengi, deseni, büyüklüğü, hava koşullarına ve rüzgar yüklerine dayanımı, yapım ve kullanımı sırasındaki yangın güvenliği ve maliyeti ile ilgili konular hakkında bilgi sahibi olunmalıdır [58].

Dış duvara tespit edilen FV sistemler, binaların en çok güneş gören kısımlarına yapılırlar. Bu sistemler, binaya şık ve modern bir görünüm kazandırmasının yanı sıra, farklı ve dikkat çekici bir tasarım olarak değer de kazandırılırlar [76]. Birçok FV panel üretici ve satıcı şirketin sattığı çeşitli metallerden üretilmiş montaj malzemeleriyle tespit yapılabilmektedir.

Sonradan tespit edilen FV paneller, genellikle sürme panjur sistemi olarak [17], güneş kırıcı yani gölgeleme bileşeni olarak veya tasarım aşamasında FV panelli

olarak tasarlanmadığı halde sonradan gerekli montaj bileşenleri yardımı ile uygulanan sistemlerdir.

Sürme panjur sistemi olarak tespit edilen FV paneller, hem gölgeleme hem ısı yalıtımı hem de elektrik üretimi gibi üç farklı ihtiyacı gerçekleştirmeye yardımcı olurlar. Opak veya yarı saydam olarak üretilirken, yeni nesil motor sistemleriyle otomatik olarak açılıp kapatılabilirler. Şekil 4.2’de bir firmaya ait sürme panjur olarak tespit edilmiş FV sistem gösterilmiştir [17].

Gölgeleme bileşeni olarak tespit edilen FV paneller ise, çeşitli form ve boyutlarda, yarı saydam veya opak, güneşe dönebilen veya sabit, renkli ya da siyah gibi pek çok çeşitli seçenekte üretilirler. Şekil 4.2’de bir firmaya ait güneş kırıcı verilmiştir [17].



Şekil 4.2 : Dış duvara tespit edilen sürme panjur sistemli ve gölgeleme bileşeni olarak FV paneller [17].

Günümüzde FV sistemlerin mevcut binalara sonradan tespit edildiği durumlar, binayla bütünleşik sistemler kadar tavsiye edilmese de sıklıkla görülmektedir. Binayla bütünleşik sistemlerin bazı avantajlarına sahip olmayan bu sistemler, elektrik üretirken binaya dekoratif bir görünüm de kazandırır. Şekil 4.3’de Viyana’da bir otelin cephesine tespit edilmiş FV paneller görülmektedir [77].



Şekil 4.3 : Viyana Stadthalle Butik Otel dış duvarına tespit edilen FV paneller [77].

4.2 Binayla Bütünleşik Fotovoltaik Paneller

FV paneller, büyük ölçekli otomatik sistemlerden küçük ölçekli montajlara kadar binalarla birçok şekilde bütünleştirilebilir. Binayla bütünleşik FV paneller çatı olarak, sabit duvar olarak, çıkma veya saçak olarak kullanılabilir. Bu sistemlerde, FV bina kabuğunun bir parçası olur ve elektrik üretmeye ek olarak; hava şartlarından koruma, ısı yalıtımı, ses yalıtımı, gölgeleme ve güvenlik bileşeni olarak da işlev görür. Bu yüzden FV modüller sadece elektrik üreten bileşenler olarak değil, bina kabuğuyla bütünleşebilen ve aynı zamanda binaya uyum sağlayan çok yönlü bir yapı malzemesi olarak da algılanmalıdır [16]. Şekil 4.4'te binayla bütünleşik FV panel örnekleri gösterilmiştir [78].



Şekil 4.4 : Çatıyla ve dış duvarla bütünleşik FV sistemler [78].

Binayla bütünleşik FV sistemlerin avantajları aşağıdaki gibi sıralanabilir [16]:

- Elektriğin binaya taşınması elektrik masrafının %50'sinden daha fazla olabildiğinden bu masraf devre dışı kalır. Elektrik taşınmasında harcanan enerji toplam elektriğin %25'ini kapsar ve bu enerji harcanmamış olur.
- FV dizileri için değerli açık alanların kullanımından kaçınılmış olur.

- Bina kabuğunda başka bir malzemenin yerine kullanılacağından malzeme masrafından tasarruf edilir.
- Bina strüktürü mevcut olduğu için panelleri destekleyici strüktüre ihtiyaç kalmaz.
- Yeni bir kabuk malzemesi kullanıldığından estetik potansiyeli yüksektir.
- İstenen elektriğin tamamı ya da büyük bir kısmı çevre dostu teknolojiyle üretilmiş olur.
- Genel olarak pahalı oldukları söylene de, günümüzde kullanılan bazı cephe kaplama malzemeleri FV panellerden daha pahalıdır. Malzeme seçimine göre binanın maliyeti düşürülebilir.
- FV modüller, çok çeşitli boyda, renkte ve çerçeve malzemesiyle üretilebilir. Bazıları esneyebilir özelliktedir ve böylece kıvrımlı yüzeylerde de kullanılabilirler.
- Yarı geçirgen olarak üretilen sistemlerde, içeri girecek ışınım miktarını ayarlayabilmek mümkündür. Ne kadar çok ışık geçirimi sağlanırsa, o kadar az enerji üretilir.

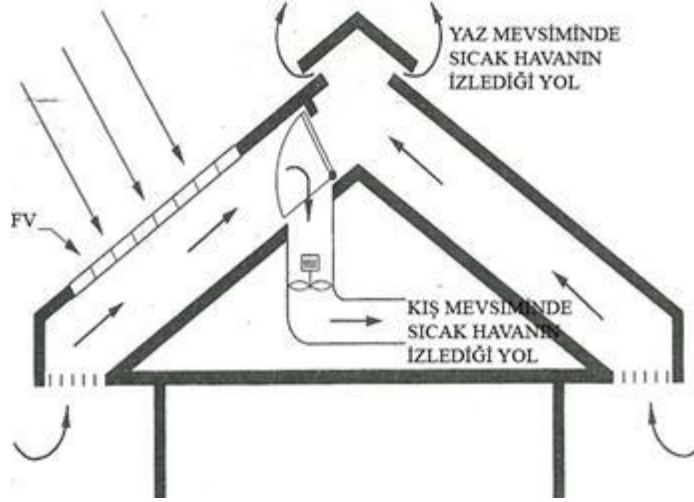
4.2.1 Çatıyla bütünleşik fotovoltaik paneller

Çatıyla bütünleşik FV panellerin eğimli çatılarda kullanımı düz çatılarda kullanımına oranla su geçirmezlik açısından daha avantajlıdır (Şekil 4.5), çünkü düz çatılar genellikle ideal açı konusunda istenilen değerden çok uzaktır. Bu açığı sağlamak için destekleyici strüktürler kullanılır, ama bu durumda da çatıyla bütünleşik sistemin sağladığı faydalardan yoksun kalınır [16].



Şekil 4.5 : Eğimli çatıyla bütünleşik fotovoltaik paneller [79].

FV panel çatıyla bütünleşik olduğunda, panelin altını soğutma ihtiyacı da doğar. Kışın fazla ısınan panelin altındaki hava, binayı ısıtmak için kullanılabilir. Şekil 4.6’da bu durumun şematik gösterimi verilmiştir. [16].



Şekil 4.6 : Çatıyla bütünleşik FV sistemin altında ısınan havanın yazın dışarı verilirken kışın bina içinde kullanılmasını gösteren şema [16].

4.2.2 Dış duvarla bütünleşik fotovoltaik paneller

Dış duvarda güney yönünün yanı sıra doğu ve batı yönleri de FV panel kullanımı için uygundur. Eğer cephede düşey profiller uygulanıyorsa, FV panellerin gölgelenmemesine dikkat edilmelidir. Eğer alçak yerlerde gölgelenme çok ise, sadece yüksek yerlerde FV panel kullanılmalıdır. Çatıda olduğu gibi, dış duvarda da panellerin arkasında boşluk bırakılması önerilir. Bu boşluktaki hava kışın ısınıp evin ısınmasına katkı sağlayacaktır [16].

4.2.2.1 Gölgeleme bileşeni olarak kullanımı

Gölgeleme bileşenleri, direkt güneş ışınlarının iç mekânı ısıtma etkisini pasif olarak azaltma araçlarıdır. Görsel konforu artırıcı etkiye sahiptirler. Ayrıca güneş ışınlarının kamaşma etkisini azaltırlar [58]. Bu bileşenler, dış duvarda FV kullanımı için en uygun bölümlerdir çünkü direkt güneş ışınımına dik olacak şekilde tasarlanırlar (Şekil 4.7). FV paneller binada mevcut olan saçaklara takılarak ya da diğer gölgeleme bileşenlerine montajı yapılarak kullanılabilirler [16].



Şekil 4.7 : Gölgeleme bileşeni olarak kullanılmış fotovoltaik paneller [80,81].

FV panel olarak tasarlanan gölgeleme bileşenlerinde en önemli hususlardan biri, tasarımları sırasında panellerin birbirini gölgeleme ihtimaline karşı önlem almaktır. Çünkü gölgeleme bileşeni direkt güneş ışınımı alırken ciddi bir elektrik üretme potansiyeline sahiptir [58]. Şekil 4.8’de FV panellerin hem yarı geçirgen cephe kaplaması, hem de gölgeleme bileşeni olarak kullanımı görülmektedir.



Şekil 4.8 : Hem yarı geçirgen cephe kaplaması, hem de gölgeleme bileşeni olarak kullanılmış FV paneller [82].

Bazı FV gölgeleme sistemleri, otomatik olarak güneşe dönen sistemler olarak tasarlanabilir. Bu sistemler iç mekanda maksimum gölgelenmeyi sağlarken, direkt güneş ışınlarına maruz kaldıklarından en fazla enerjiyi üretirler. Bu sistemlerde dönüş sadece güneş varken gerekir, böylece güneşe dönerken harcanan enerji panellerin ürettikleri elektrik enerjisinden karşılanabilir. Geniş tipte olanları, bütün bir katı gölgelendirmek için kullanılabilir. Ayrıca Şekil 4.9’da görüldüğü gibi, pencerelerden biraz uzağa tespit edildiklerinde cephe ile arasında bir yürüyüş yolu tasarlanması mümkündür. Bu durumda panellerin bakımı ve temizliği için de uygun bir sistem tasarlanmış olur [58].

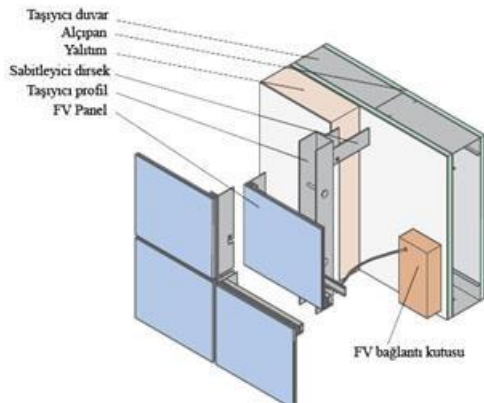


Şekil 4.9 : Yürüyüş yolu ile birlikte tasarlanmış FV sistemli gölgeleme bileşenleri [58].

4.2.2.2 Yağmur perdeleme sisteminde kullanımı

Geleneksel duvar kaplamaları şeklinde mevcut cephenin taşıyıcısına tespit edilen yağmur perdeleme sistemleri, kabuğu atmosferik etkilerden korumaktadır. FV paneller duvar yüzeyi arasındaki boşluk hem kablo ve bağlantı parçalarını gizlemekte hem de modülün havalandırmasını sağlayarak verimin düşmesine engel olmaktadır (Şekil 4.10) [83].

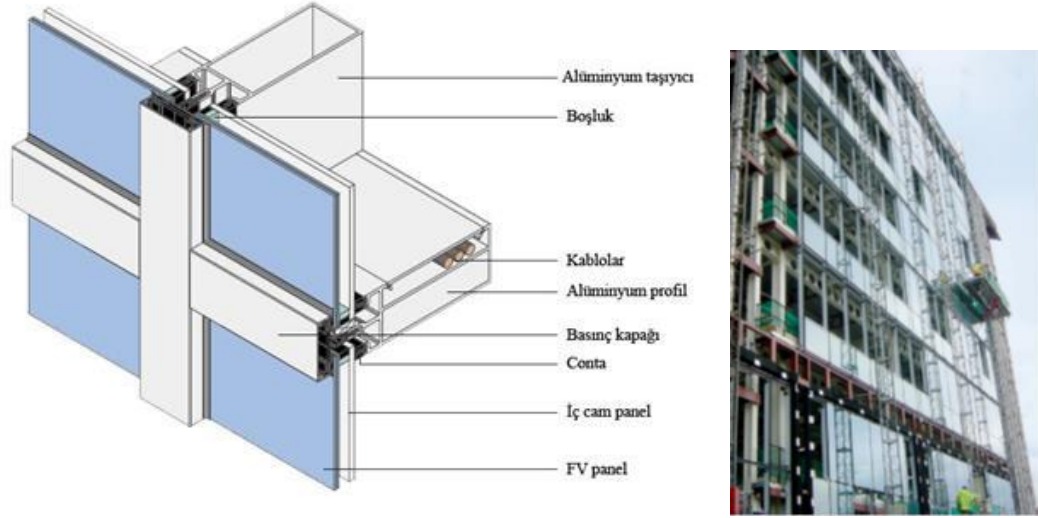
Yağmur perdeleme sistemlerinde panellerin arkasında bulunan su kontrol edilebildiğinden, FV tespit edilmesi için en uygun sistemlerdir [58].



Şekil 4.10 : Yağmur perdeleme sistemine tespit edilmiş fotovoltaiik panellerin şematik gösterimi ve uygulaması [58,84].

4.2.2.3 Çubuk sistemli perde duvarda kullanımı

Çubuk sistemli perde duvarlarda kullanılan FV paneller, cam yerleri dışında herhangi bir alan işgal etmediğinden tercih sebebidir (Şekil 4.11). Tek camlı ya da çift camlı sistemlerde , şeffaf ya da opak FV modüller cam yerine kullanılabilir [58].



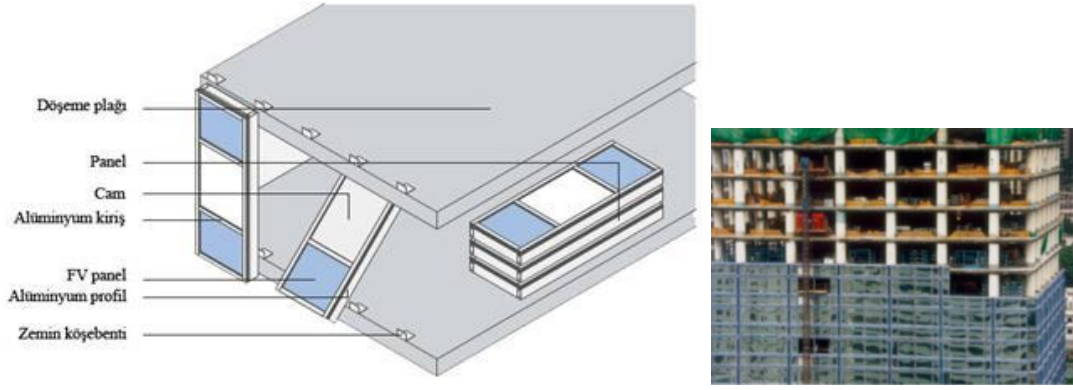
Şekil 4.11 : Çubuk sistemli perde duvara tespit edilmiş FV şematik gösterimi ve çubuk sistemli perde duvarın yapım aşaması [58].

Bu sistem FV panellerin doğrudan bina kabuğunu oluşturduğu kullanımdır. Çubuk sistemli perde duvar ile düzlemsel, eğimli veya kırıklı gibi biçimsel olarak değişik duvar türleri oluşturulabilmektedir. FV panellerin metal ızgaralara takıldığı ve metal ızgaranın yükünün yapının strüktürel sistemine taşıtıldığı bu tür uygulamalarda sızdırmazlık sorunları geleneksel giydirme cephe teknolojisinde kullanılan detaylarla ve yöntemlerle çözülebilmektedir [85].

4.2.2.4 Panel perde duvarda kullanımı

Panel perde duvarlar, çubuk sistemli perde duvarların uygulanma ve yerinde montajının zorluğu nedeniyle geliştirilmiş sistemlerdir. İstenilen boyuttaki FV panel perde duvarlar takılacağı yere fabrikadan hazır olarak getirilip tespit edilir. Bu duvarların uygulanması son derece basittir. Paneller bina içine taşınarak dış kabuğa tespit edilir. Şekil 4.12’de görüldüğü gibi, içerden yapılan uygulamalarda iskelet kurmaya da gerek kalmaz [58].

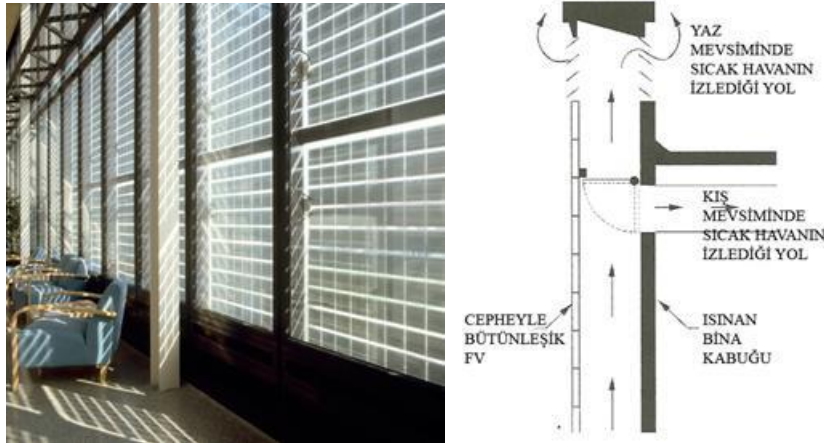
Panellerin strüktürel sistemi hem panelin hem de çevresel yüklerin ağırlığını taşıyabilecek şekilde tasarlanır. Özellikle rüzgar yükü göz önüne alınır ve genellikle rijit bir sistem elde edilmesi için FV paneller arasında alüminyum malzemeden yatay ve düşey kayıtlar kullanılır. Katlar arası bölümde opak olan paneller, görünen bölümde ise saydam olan paneller kullanılır [58].



Şekil 4.12 : Panel perde duvar uygulamasının şematik gösterimi ve yapım aşaması [58].

4.2.2.5 Çift kabuk cephelerde kullanımı

Genellikle çok katlı binalarda uygulanan çift kabuk cephelerde, dıştaki kabuk FV tespiti için uygundur. Bu kabuk, genellikle tek cam olup iç kabuğa gölge sağlar. Ayrıca bu cephelerde Şekil 4.13'te görüldüğü gibi, iç ısının düşük tutulması ve mekanik havalandırmaya daha az ihtiyaç duyulması için etkin bir havalandırma sağlanmış olur [58].



Şekil 4.13 : Çift kabuk cepheye uygulanmış FV sistemin içerden görünüşü [58] ve yazın serinlemeyi, kışın ısınmayı sağlayan sistemin prensip şeması [16].

FV paneller, çift kabuk cephedeki boşluğa da uygulanabilir. Bu durumda enerji üretmelerinin yanında, iç mekânı güneş radyasyonundan korurlar ve fazla gün ışığının içeri girmesini engellerler. Aradaki hava, paneller için soğutucu bir öğedir [58].

Çift kabuk cephe sistemlerinde; lamine ve desenli cam, köşe cam paneli ve perde duvar camlar kullanılır. Bu ürünlerin ilerde geleneksel yapı malzemelerinin yerini alabileceği düşünülmektedir . Örneğin lamine cam, standartlaşmış bir FV ürünüdür. İki adet camın arasına FV hücrelerin sıkıştırılması ile ya da bir adet cam ile arka tabakanın birleştirilmesi ile elde edilir [67].

4.3 Bölüm Sonucu

Daha önce de bahsedildiği gibi, FV panellerin küçük ölçekli sistemlerden çok büyük ölçekli santrallere kadar geniş kullanım alanları mevcuttur. Bu bölümde, FV sistemlerin özellikle binalarda kullanım olanaklarından bahsedilmiştir. Binaların tasarım aşamasından itibaren planlanarak bina kabuğu yerine kullanılan FV sistemler, binayla bütünleşik sistemler olarak bilinmektedir. Bütünleşik sistemler, çatıyla ve dış duvarla bütünleşik sistemler olarak ikiye ayrılırlar. Çatıyla bütünleşik sistemlerde, çatının doğru açıyla inşa edilmesi çok önemlidir. Dış duvarla bütünleşik sistemlerde ise, farklı duvar sistemlerine farklı şekillerde bütünleştirilmiş FV sistemler mevcuttur. Fakat herhangi bir binaya sonradan FV sistem eklenmek istenirse, gerekli tespit bileşenleri kullanılarak binanın uygun bölümlerine tespit yapmak gerekir. Çalışma kapsamında, mevcut binaların dış duvarına sonradan tespit edilen FV paneller değerlendirilmektedir.

5. DIŞ DUVARA SONRADAN TESPİT EDİLEN FOTOVOLTAİK SİSTEMLERİN PERFORMANSININ DENEYSEL OLARAK DEĞERLENDİRİLMESİ

Tez kapsamında yapılan deneysel çalışmada, eski bir binaya sonradan eklenen FV sistemin performans değerlendirmesi yapılmaktadır. Bu bölümde, ilk olarak iklimsel veriler belirlenmekte, deney düzeneğinin tasarımı ve kurulumu açıklanmakta, daha sonra tez amacı doğrultusunda geliştirilen seçeneklere ilişkin ölçüm sonuçlarının analizi ve değerlendirilmesi anlatılmaktadır. Çalışma, İstanbul Teknik niversitesi tarafından BAP 37387 projesi kapsamında desteklenmiştir.

5.1 İklimsel Verilerin Belirlenmesi

FV panellerin direkt güneş ışınımıyla en verimli şekilde çalıştığı bilinmektedir. Diğer taraftan bulutluluk durumu, yağış, ve hava sıcaklığındaki değişimler de, panellerin elektrik üretiminde ciddi farklılıklar yaratmaktadır. Bu nedenle, çalışmada panelin performansının hem yaz hem de kış dönemleri için değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, kış dönemi için şubat ve Mart ayları, yaz dönemi için Haziran ve Temmuz ayları seçilmiştir. Seçilen aylarda gerçekleşen panel elektrik üretimleri arasındaki en belirgin farklılıkları belirleyebilmek için, her ayın en sıcak ve en soğuk gününde her saat başı ölçülen anlık üretimlerin karşılaştırılması planlanmıştır. Çizelge 5.1’de her ayın en sıcak/en soğuk gününün yaşandığı tarih ve o gün gerçekleşen hava sıcaklığı, bulutluluk ve yağış koşulları verilmiştir. Bununla birlikte, ölçümler seçilen tüm aylar için ay boyunca yapılmıştır. Bu aylara ilişkin www.istanbuldahava.com [86] web sitesinden deneyin yapıldığı İT Enerji Enstitüsü’nün de içinde olduğu Sarıyer bölgesi için alınan saatlik hava sıcaklığı değerleri EK A’da verilmiştir.

Çizelge 5.1 : Şubat-Temmuz döneminde en sıcak/en soğuk günler için sıcaklık, bulutluluk ve yağış koşulları [86,87].

AYLAR	EN SOĞUK GÜN				EN SICAK GÜN			
	Tarih	Sıcaklık (°C)	Bulutluluk Durumu	Yağış	Tarih	Sıcaklık (°C)	Bulutluluk Durumu	Yağış
Şubat	01.02.14	8	Parçalı bulutlu	0 mm	20.02.14	19	Açık	0 mm
Mart	11.03.14	7	Yoğun bulutlu	4 mm	19.03.14	21	Açık	0 mm
Haziran	05.06.14	20	Parçalı bulutlu	3 mm	26.06.14	33	Açık	0 mm
Temmuz	05.07.14	27	Az bulutlu	0 mm	28.07.14	33	Parçalı bulutlu	0 mm

5.2 Deneyin Tasarlanması

Tezde; FV panellerin dış duvarda farklı yönlere yerleştirilmesinin ve tespiti sırasında arkasında boşluk olup olmaması durumunun, panellerin elektrik üretimine olan etkisinin araştırılması amaçlanmaktadır. Bu amaçla, FV panellerin doğu, güney ve batı yönlerinde, dış duvara arkası boşluklu ve boşluksuz (binaya yapışık) olarak tespit edilmesi planlanmıştır. Çalışmanın; etrafında gölge yapacak herhangi bir doğal ya da yapay engel olmayan, dış çevre koşullarına maruz bir duvar üzerinde gerçekleştirilmesinin uygun olacağı düşünülerek, İstanbul Teknik Üniversitesi Ayazağa Kampüsü'nde, Enerji Enstitüsü teras çatısında bulunan asansör shaftı duvarı, araştırma alanı olarak seçilmiştir (Şekil 5.1).



(a)

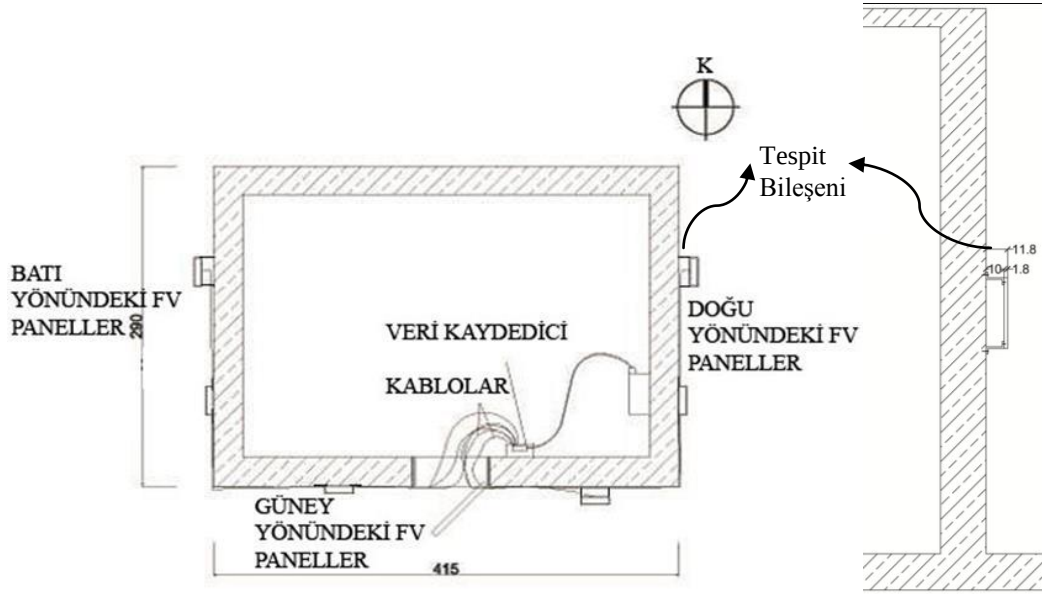


(b)

Şekil 5.1 : İTÜ Enerji enstitüsü çatısı (a) ve deney için seçilen asansör shaftı (b).

İçi boş ve dikdörtgen bir plan şemasına sahip olan bu alanın herhangi bir iklimlendirme, havalandırma veya elektrik tesisatı bulunmamaktadır. Penceresi yoktur, yalnızca Şekil 5.1b’de görüldüğü gibi küçük bir demir kapısı bulunmaktadır. Duvarları betonarme perdedir.

Deney düzeneği; Şekil 5.2’de görüldüğü gibi doğu, güney ve batı yönlerinin her birine 1 adet arkası boşluksuz ve 1 adet arkası boşluklu olmak üzere ikişer adet FV panel duvara paralel olarak tespit edilecek şekilde tasarlanmıştır. Deneyde kullanılan bileşenlerin özellikleri ve kullanım şekilleri aşağıda açıklanmıştır.



Şekil 5.2 : Deney düzeneği plan şeması ve kesiti.

5.2.1 Deneyde kullanılan bileşenler

Deneyde kullanılan bileşenler; ölçümde ve tespitte kullanılmalarına bağlı olarak iki grupta toplanabilir.

5.2.1.1 Ölçüm bileşenleri

a) Fotovoltaik Panel

Elektrik üretimini ölçmek için kullanılan ana bileşendir. Üç cepheye ikişer adet yerleştirilecek şekilde tasarlanmasına bağlı olarak toplamda 6 adet FV panel kullanılmıştır. Sağlanan sınırlı bütçe nedeniyle, ancak küçük ölçekli paneller satın alınabilmektedir. Bu panellerin teknik özellikleri Çizelge 5.2’de verilmiştir.

Çizelge 5.2 : Deneyde kullanılan FV panellerin teknik özellikleri.

Model / Ölçüler	YLE 10 / 390*254*18 mm
Hücre tipi / Hücre adedi	Tekkristal / 36
Maksimum Güç (Pmax)	10 W
Maksimum Güçte Gerilim (Vmp)	18 V
Maksimum Güçte Akım (Imp)	0,55 A
Açık Devre Gerilimi (Voc)	21,6 V
Kısa Devre Akımı (Isc)	0,60 A
Maksimum Sistem Gerilimi	1000 V

b) Veri Kaydedici

FV paneller tarafından üretilen elektrik değerlerini kaydetmek amacıyla veri kaydedici kullanılmıştır (Şekil 5.3). Proje bütçesine uygun olarak seçilen veri kaydedicinin teknik özellikleri aşağıdaki gibidir. Cihazın hafıza kartındaki veri dosyalarında otomatik saat ayarı olduğundan, elde edilen sonuçlar yaz saati uygulamasına ilişkin değişiklikleri içermemektedir.

Çizelge 5.3 : Deneyde kullanılan veri kaydedicinin teknik özellikleri.

Örnekleme hızı	100.000 örnek/saniye
Analog giriş	16 adet (+/- 10 Volt aralığında)
Seçicilik	16-bit
Dijital giriş	16 adet (28 Volta kadar)
Röle çıkışı	0.5 A
Sayıcı girişi	4 adet
Hafıza kartı	4 GB
USB çıkışı ve tuş takımı	1 adet



Şekil 5.3 : Veri kaydedici.

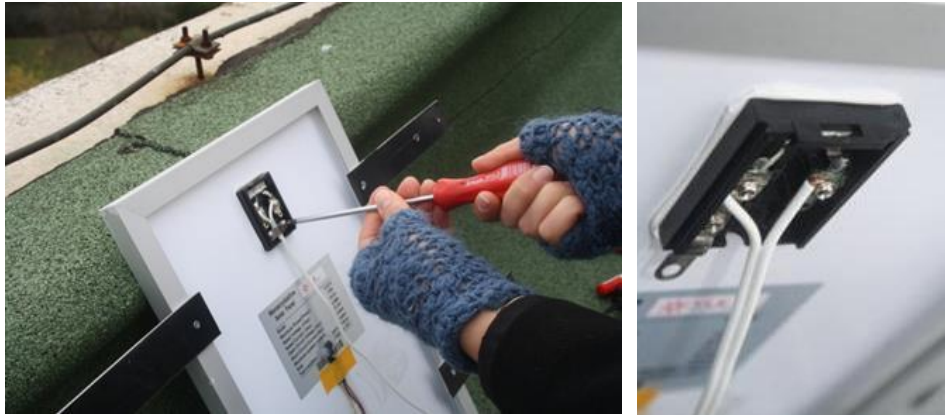
Kayıt süresince, her kanaldan ayrı ayrı dakikada 1 veri kaydedilmiştir.

c) Antigron kablo

Bölüm 5.2’de açıklandığı gibi, seçilen alanda herhangi bir elektrik tesisatı bulunmamaktadır. Bu yüzden enerji enstitüsü çatısına elektrik hattı çekilmesi gerekmiştir. Bu işlem için olumsuz hava koşullarına dayanıklı olan antigron kablo tercih edilmiştir.

d) Bağlantı kablosu

FV panellerden üretilen elektrik akım değerlerini veri kaydediciye aktarmak için bağlantı kabloları kullanılmıştır. Her bir panelin arkasında, bağlantı kutusunda bulunan pozitif ve negatif kutuplar vidalarla, ikiye ayrılan kabloların bakırdan oluşan iletken kısımlarına bağlanmıştır (Şekil 5.4).



Şekil 5.4 : Fotovoltaik panelin arkasındaki bağlantı kutusu ve kablo birleşimi.

e) Direnç

FV panel tarafından üretilen elektrik akımının veri kaydedici tarafından ölçülebilmesi için, gerilime dönüştürülmesi gereklidir. Bu amaçla, panelden gelen kablo, veri kaydedicinin seçilen kanalına direnç ile paralel bağlanmıştır.

5.2.1.2 Tespit bileşenleri

a) Z ve I Tipi Demir Bileşen

FV panelin arkası boşluklu olarak tespit edilebilmesi için kullanılan bileşenlerdir. Bir demirci ustası tarafından özel olarak önceden üretilen bu bileşenler, laboratuvar ortamında panel ile birleştirildikten sonra (Şekil5.5) deney alanına taşınmışlardır. Arkası boşluklu olan panellerde Z tipi, arkası boşluksuz olan panellerde ise I tipi demir bileşenler kullanılmıştır.



Şekil 5.5 : Kullanılan Z tipi ve I tipi metal bileşenler ile panellerin laboratuvar ortamında birleşimleri.

b) Havşa başlı vida ve somun

Panellerin demir bileşenlerle birleşiminde kullanılmıştır.

c) Vida ve dübel

Paneller üzerindeki demir bileşenlerin duvara tespitinde kullanılmıştır.

d) Silikon çokomastik

Duvara yapışık panellerde araya hava girmemesi için kullanılmıştır.

e) Kablo Numarası (0,1,2,3)

Panelleri veri kaydediciye bağlayan kabloların karışmasını önlemek amacıyla kabloları numara verilmiştir.

f) İzole bant

Kablo numaralarının dış ortam koşullarında düşüp kaybolmaması için üstlerine birkaç kat bant çekilmiştir.

g) Priz (2'li)

Veri kaydedici fişlerinin takılması için ikili priz kullanılmıştır.

ı) Kroşe

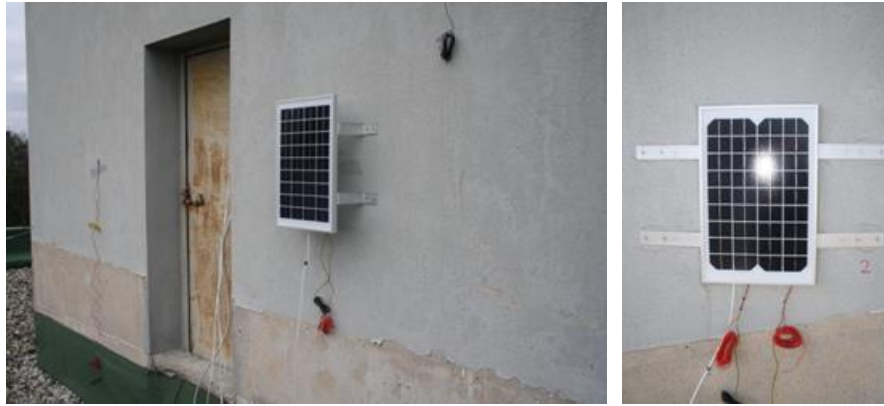
Elektrik kablolarını sabitlemek için gereken yerlerde kullanılmıştır.

i) Hortum

Dış mekanda kalan kabloları kötü hava koşullarından korumak amacıyla, tüm kablolar bir araya getirilerek hortum içinden geçirilmiş ve iç mekâna bu haliyle ulaştırılmıştır.

5.3 Deney Düzenəğinin Kurulması

Deneyde kullanılacak bileşenlerin tamamı hazırlandıktan sonra, Enerji Enstitüsü çatısına çıkarılmıştır. Öncelikle, panellerin tespit edileceği yerler ölçülerek işaretlenmiş ve daha sonra laboratuvar ortamında Z ve I tipi demir bileşenler ile bağlantıları yapılmış olan paneller doğu, batı ve güney yönlerine, her bir yöne ikişer adet olmak üzere tespit edilmiştir. Şekil 5.6'da laboratuvar ortamında Z ve I tipi demir bileşenler ile birleştirilmiş arkası boşluklu ve boşluksuz panel tespitleri görölmektedir. Arkası boşluksuz olarak tespit edilen panellerin arkasına hava girmemesi için soğuk silikon çekilmiştir.



Şekil 5.6 : Duvara tespit edilmiş arkası boşluklu ve arkası boşluksuz paneller.

Tespit işlemleri gerçekleştirildikten sonra, veri kaydedici ile paneller arasındaki kablo bağlantıları yapılmıştır (Şekil 5.7).



Şekil 5.7 : Binanın perspektif görünüşü, veri kaydedici ve kablolar.

5.4 Seçeneklerin Belirlenmesi

Seçenek belirlenmesi sırasında panellerin yerleştirildikleri yön ve yerleştirilme şekilleri dikkate alınmıştır. Ülkemizin kuzey yarım kürede, dönence üstü enlem aralığında bulunduğu ve bu nedenle direkt güneş ışınımının güney, doğu ve batı yönlerine etki ettiği göz önüne alınarak, panellerin sadece bu üç yön için değerlendirilmesi planlanmıştır. Güneşin doğuş ve batış saatleri göz önüne alınarak, gerek yaz gerekse kış mevsiminde yapılacak ölçümlerin saat 6:00-18:00 arasında değerlendirilmesine karar verilmiştir. Ayrıca Bölüm 3.4.6’da bahsedilen sıcak havalarda panel arkasının havalandırılması durumunun panel verimini arttıracığı bilgisi dikkate alınarak, panellerin duvara boşluklu ya da boşluksuz olarak yerleştirilmesi durumlarını araştırmak üzere seçenekler üretilmiştir.

Değerlendirme sırasında anlatım kolaylığı sağlamak ve oluşabilecek karışıklıkları önlemek üzere seçenekler için kodlar oluşturulmuştur. Kodlamada kullanılan harflerin ve rakamların neyi ifade ettikleri Çizelge 5.4’te görülmektedir. Bu kodlarla seçenekler için iki haneli bir kod geliştirilmiştir. Koddaki ilk hane yönü, ikinci hane tespit şeklini ifade etmektedir.

Çizelge 5.4 : Kodlama sistemi.

	Yönler			Tespit Şekli	
	Doğu	Güney	Batı	Arkası boşluklu tespit	Arkası boşluksuz tespit
Kodlar	D	G	B	1	2

Çizelge 5.5’te deneysel çalışma için üretilmiş altı seçeneğe ilişkin kodlar ve açıklamaları yer almaktadır.

Çizelge 5.5 : Panel seçenekleri.

Seçenek No	Seçenek Kodu	Açıklama
1	D1	Doğu cephesine arkası boşluklu olarak tespit edilmiş panel
2	D2	Doğu cephesine arkası boşluksuz olarak tespit edilmiş panel
3	G1	Güney cephesine arkası boşluklu olarak tespit edilmiş panel
4	G2	Güney cephesine arkası boşluksuz olarak tespit edilmiş panel
5	B1	Batı cephesine arkası boşluklu olarak tespit edilmiş panel
6	B2	Batı cephesine arkası boşluksuz olarak tespit edilmiş panel

5.5 Sonuçların Analizi

Bu bölümde; değerlendirmeye veri oluşturmak üzere, Şubat, Mart, Haziran ve Temmuz aylarında, her ayın en soğuk ve en sıcak günleri için her saat başı ölçülen anlık panel elektrik üretimleri tüm seçenekler için analiz edilmiştir.

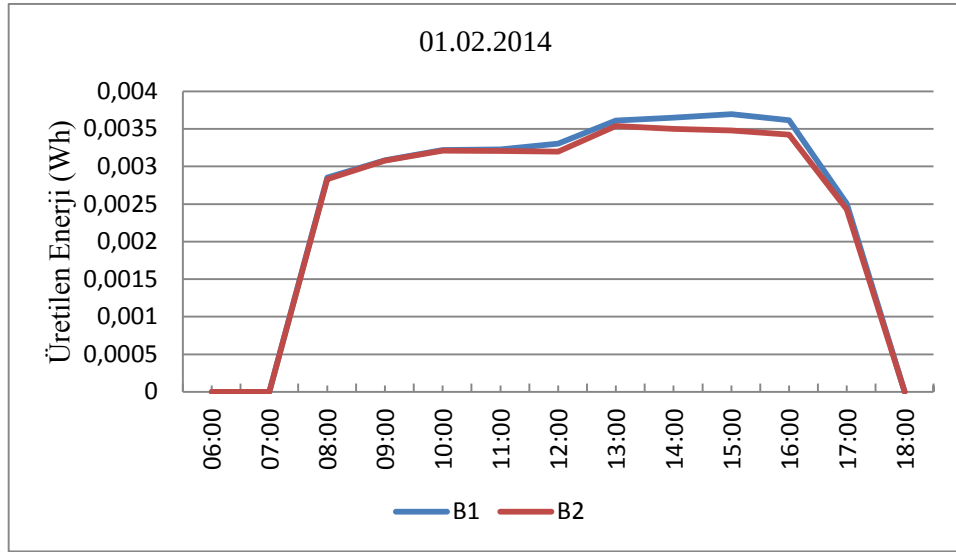
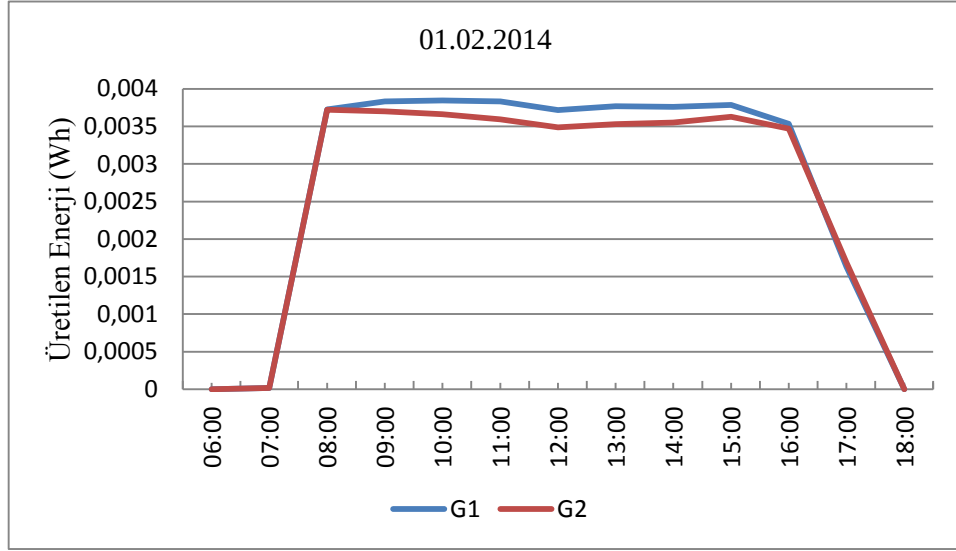
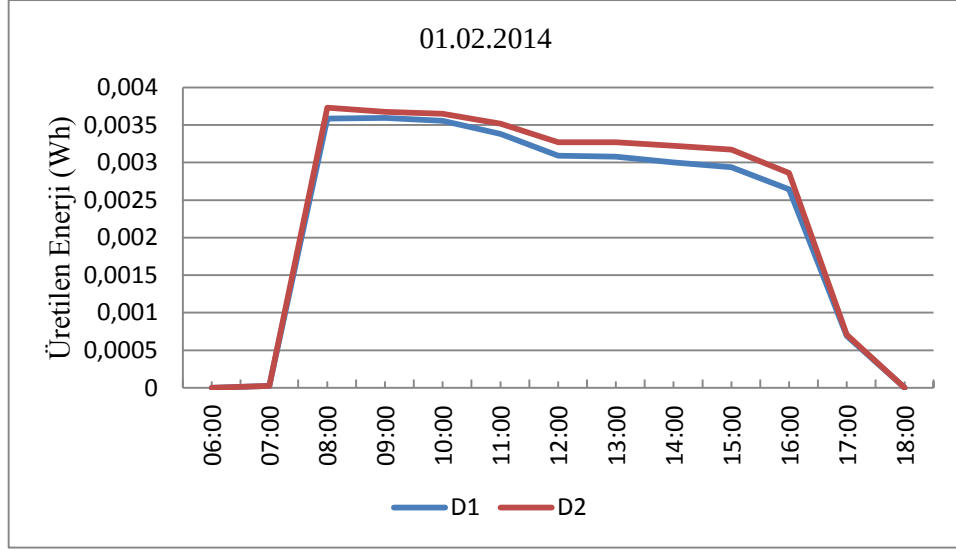
5.5.1 Şubat ayı ölçümlerinin analizi

Şubat ayının en soğuk günü olan 1 Şubat'ta hava parçalı bulutluyken, en sıcak günü olan 20 Şubat'ta hava açık durumdadır. Her iki günde ölçülen panel elektrik üretimleri doğu, güney ve batı yönleri için Şekil 5.8 ve 5.9'da verilmiştir. Bu grafiklere göre:

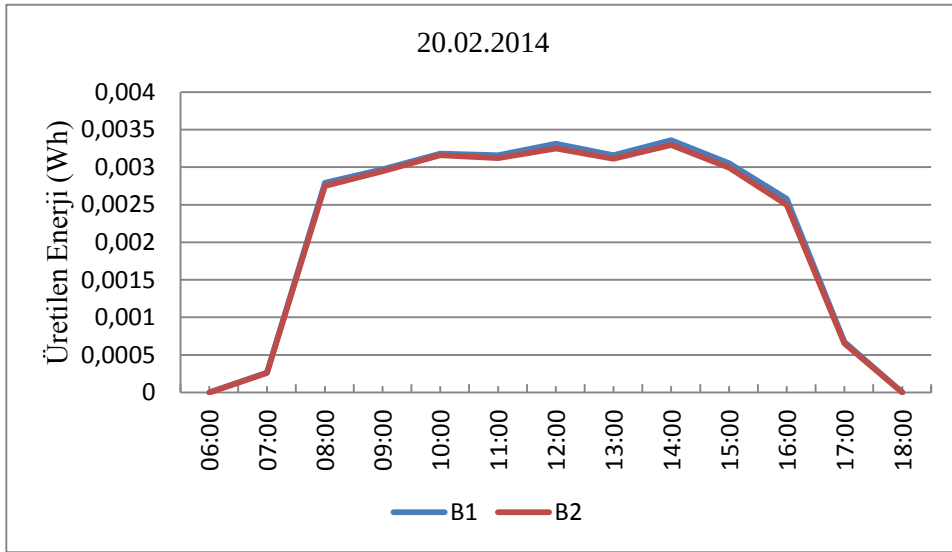
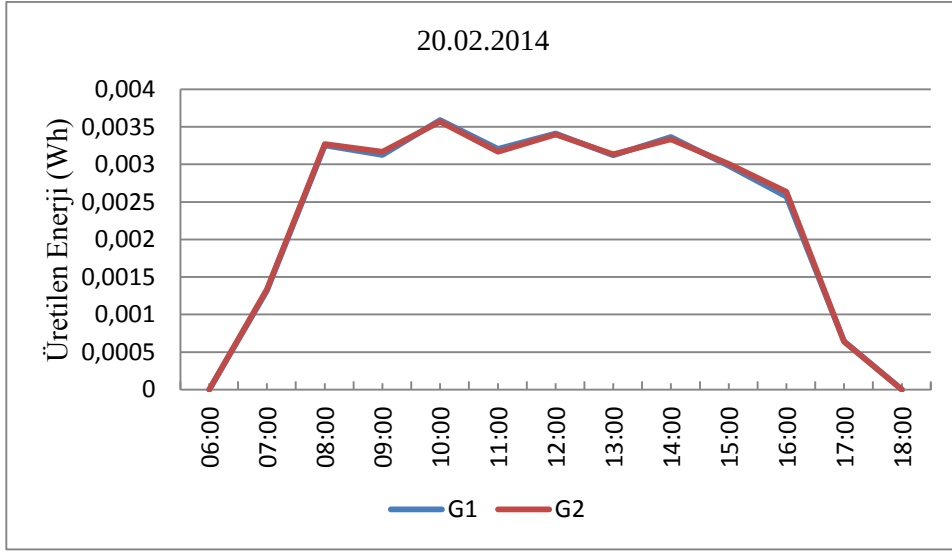
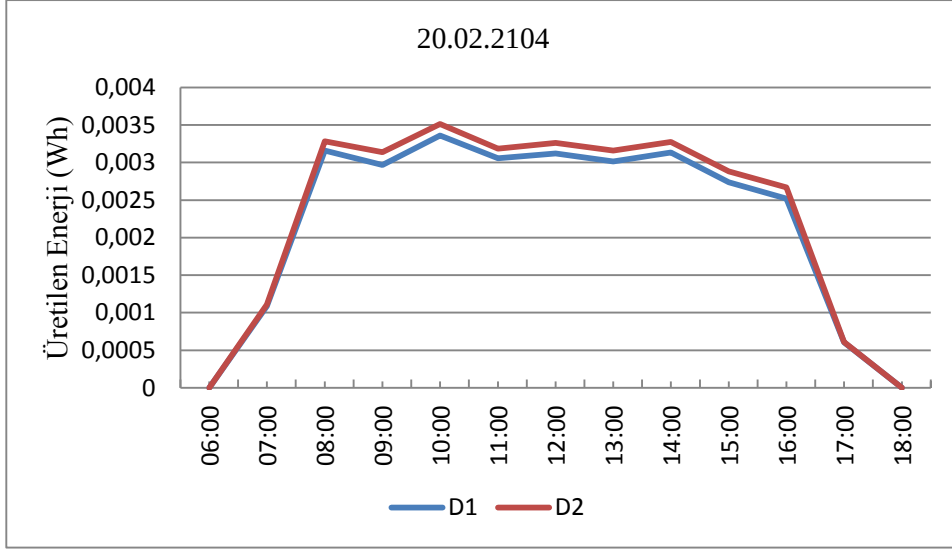
- En soğuk günde tüm yönler için üretilen elektrik üst limit değeri, en sıcak güne oranla daha fazladır.
- En soğuk günde elektrik üretimi genelde doğrusal bir nitelik gösterirken, sıcak günde iniş çıkışlar gözlenmiştir.
- En soğuk günde doğu yönünde arkası boşluksuz olan panel daha iyi elektrik üretirken, güney ve batı yönlerinde arkası boşluklu olan panel daha iyi elektrik üretmiştir.
- En sıcak günde doğu yönünde arkası boşluksuz olan panel daha iyi elektrik üretirken, güney yönünde böyle bir fark gözlenmemiştir. Aynı gün batı

yönünde ise arkası boşluklu panelde küçük bir farkla arkası boşluksuz panele göre daha iyi elektrik üretildiği ölçülmüştür.

- Soğuk günde panel elektrik üretimi saat 7:00'da başlarken, sıcak günde saat 6:00'da başlamıştır.
- Hem soğuk hem de sıcak günde; doğu yönündeki panellerde öğleden sonra elektrik üretiminde azalma gözlenirken, batı yönündeki panellerde artış görülmüştür.
- Her iki günde de, arkası boşluklu olan panel arkası boşluksuz olan panele oranla doğu yönünde daha az elektrik üretirken, güney ve batı yönlerinde en sıcak günde arkası boşluklu olan panel daha fazla elektrik üretmiştir. Tüm cephelerde gün içinde farklı saatlerde 0,0035 Wh'e ulaşan elektrik üretimleri ölçülmüştür.



Şekil 5.8 : Şubat ayının en soğuk günü için farklı yönlerde ölçülen elektrik üretimleri.

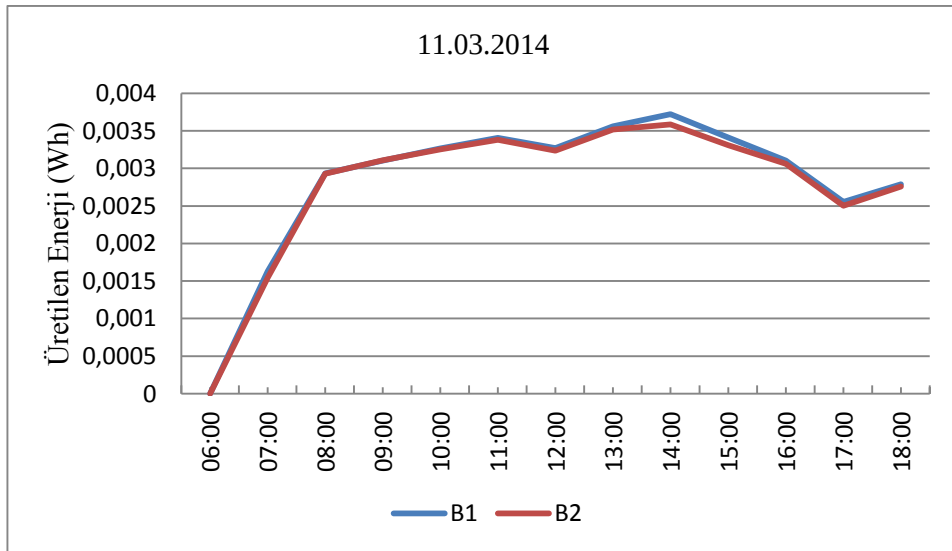
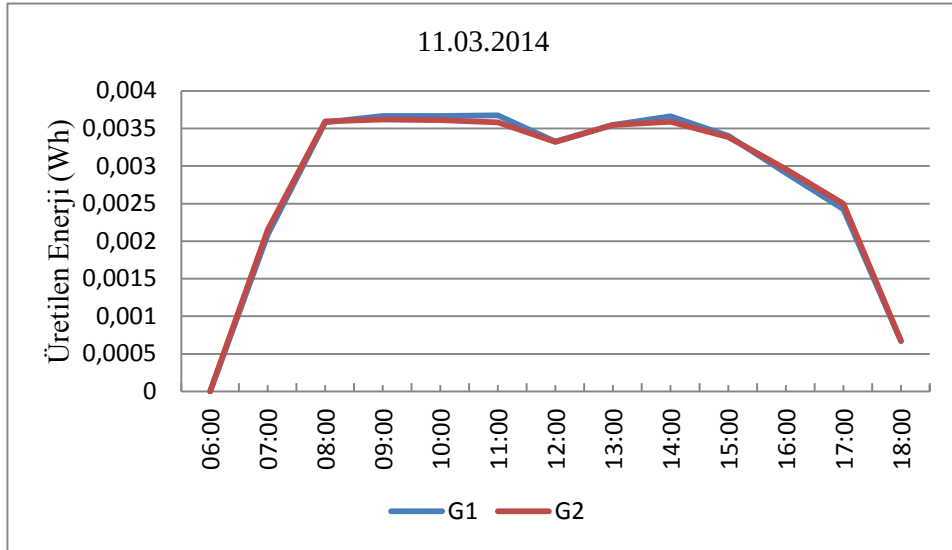
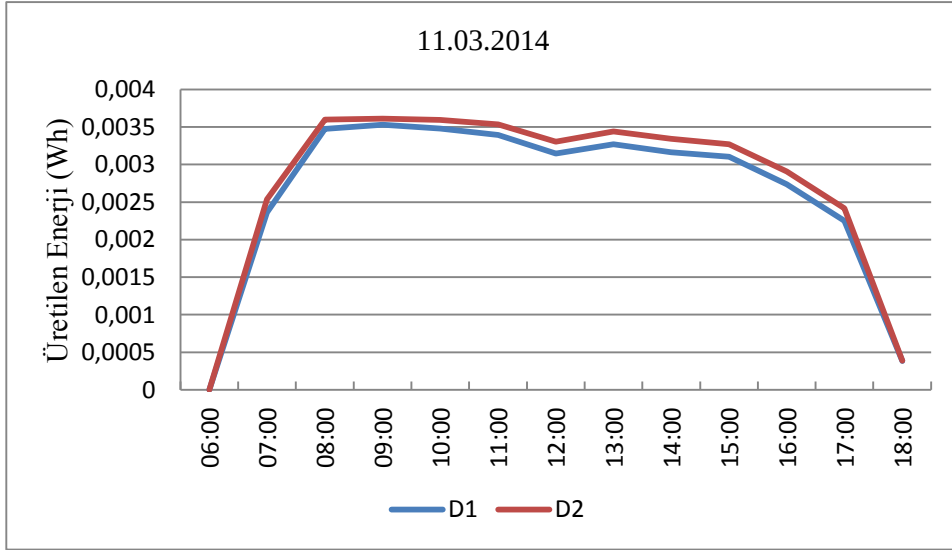


Şekil 5.9 : Şubat ayının en sıcak günü için farklı yönlerde ölçülen elektrik üretimleri.

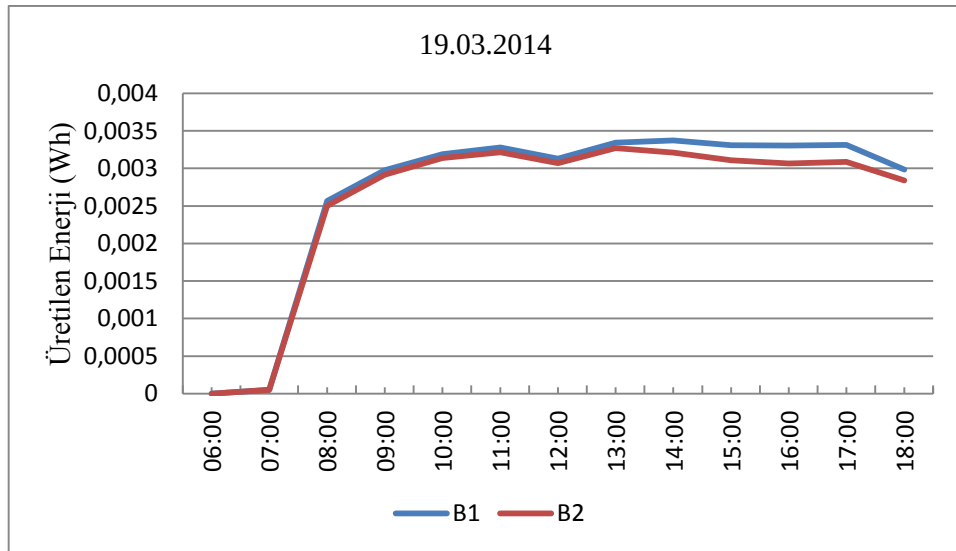
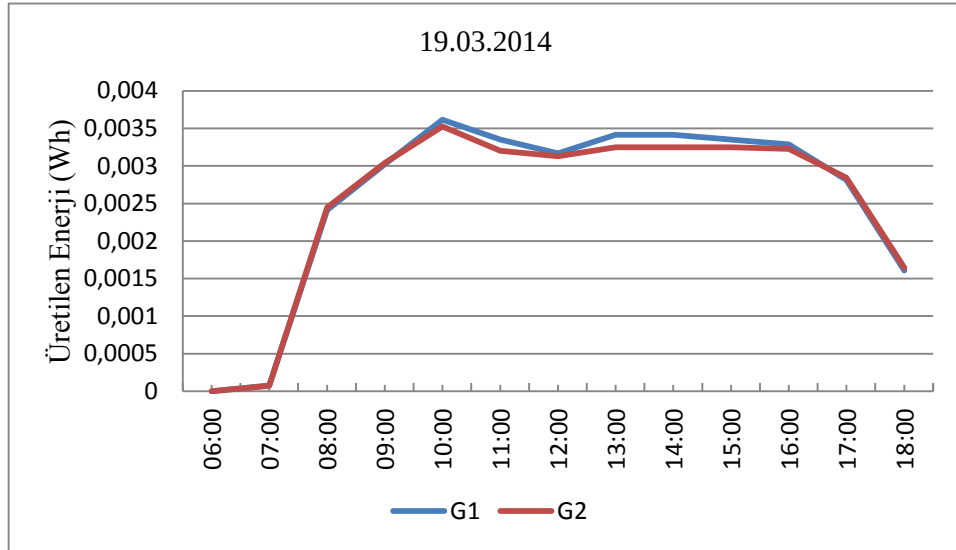
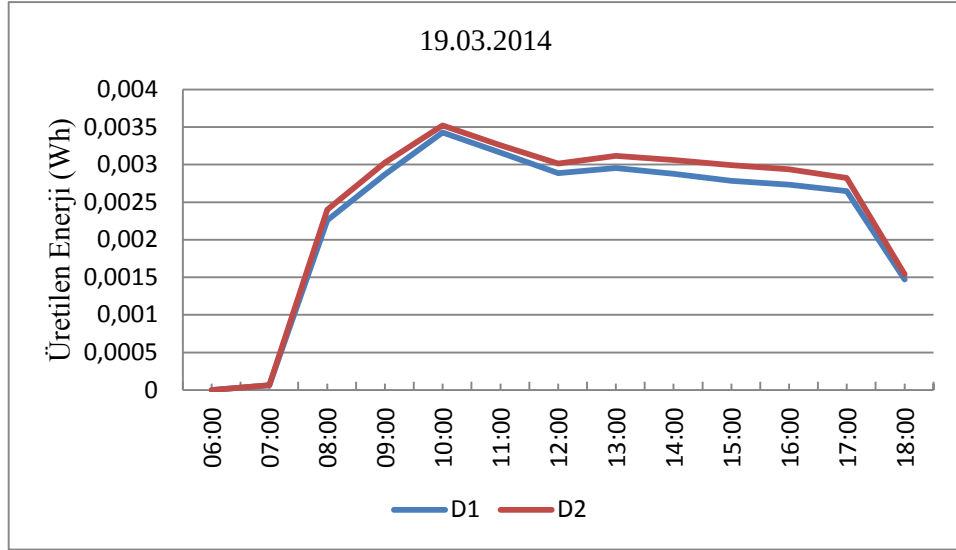
5.5.2 Mart ayı ölçümlerinin analizi

Mart ayının en soğuk günü olan 11 Mart'ta hava yoğun bulutlu ve 4 mm yağışlıyken, en sıcak günü olan 19 Mart'ta hava tüm gün boyunca açık durumdadır. Her iki günde ölçülen panel elektrik üretimleri doğu, güney ve batı yönleri için Şekil 5.10 ve 5.11'de verilmiştir. Bu grafiklere göre:

- En soğuk günde elektrik üretimi saat 6.00'da başlarken, en sıcak günde saat 7.00'de başlamıştır.
- En soğuk günde elektrik üretimi saat 18:00'da 0'a yakın iken, en sıcak günde özellikle batı yönünde elektrik üretimi maksimum seviyelerde görülmüştür.
- En sıcak günde doğu yönünde boşluksuz panel daha iyi elektrik üretirken, güney ve batı yönünde arkası boşluklu panel daha iyi elektrik üretmiştir.
- En soğuk günde doğu yönünde arkası boşluksuz panel daha iyi elektrik üretirken, güney ve batı yönlerindeki farklı tespit edilmiş panellerin elektrik üretim grafiklerinde farklılık görülmemiştir.
- Her iki günde de, tüm cephelerde gün içinde farklı saatlerde 0,0035 Wh'e ulaşan elektrik üretimleri ölçülmüştür.
- Hem sıcak hem soğuk günde; doğu yönünde arkası boşluksuz olan panel, arkası boşluklu olan panele göre daha fazla elektrik üretmiştir.
- Her iki günde de, güney ve batı yönlerinde arkası boşluklu olan panelin daha fazla elektrik ürettiği görülmüştür. Elektrik üretimindeki bu artış 19 Mart'ta daha belirgindir.
- Hem sıcak hem soğuk günde; tüm yönlerde elektrik üretiminde saat 12:00'de az miktarda bir azalma gözlenmiştir.



Şekil 5.10 : Mart ayının en soğuk günü için farklı yönlerde ölçülen elektrik üretimleri.

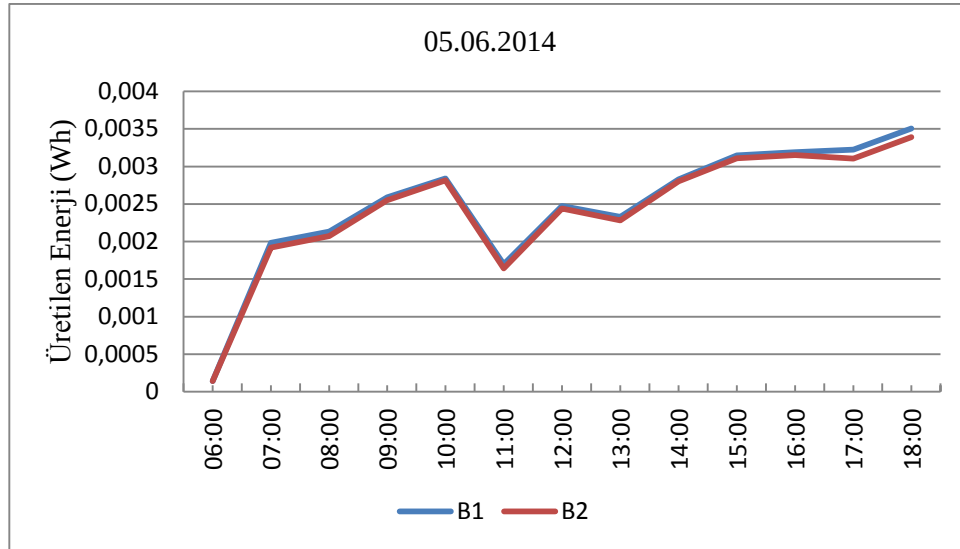
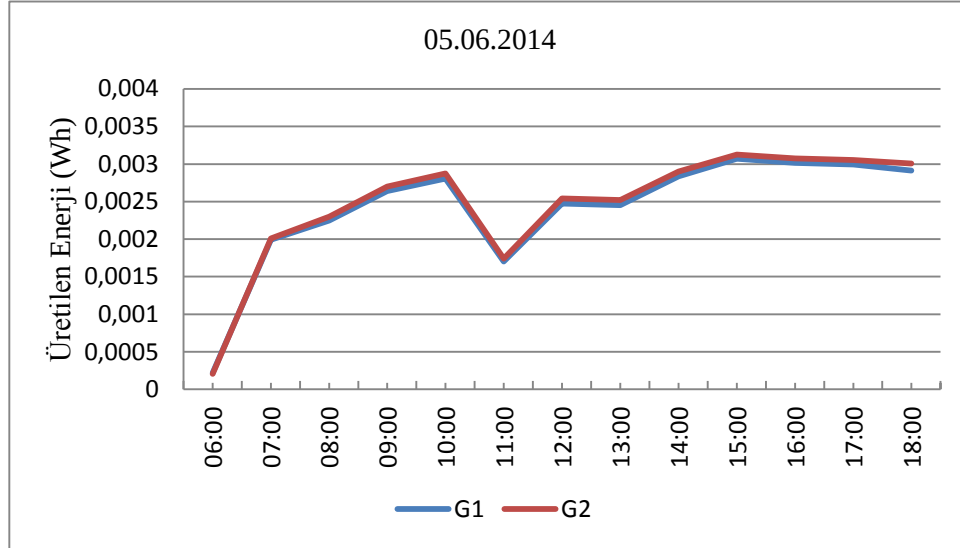
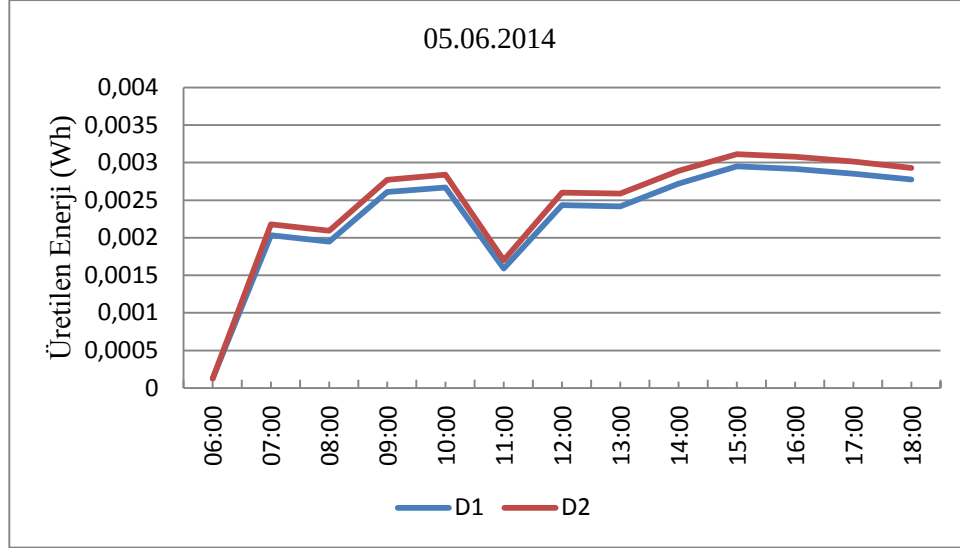


Şekil 5.11 : Mart ayının en sıcak günü için farklı yönlerde ölçülen elektrik üretimleri.

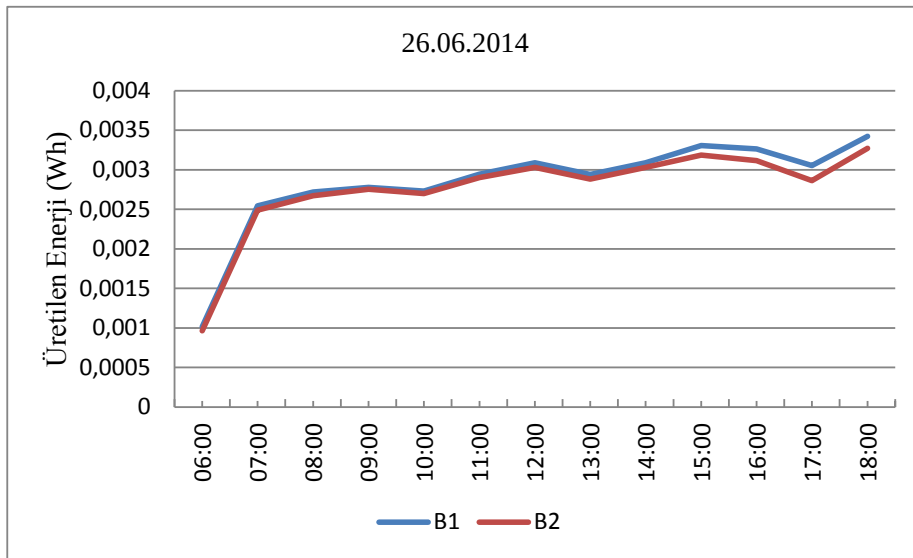
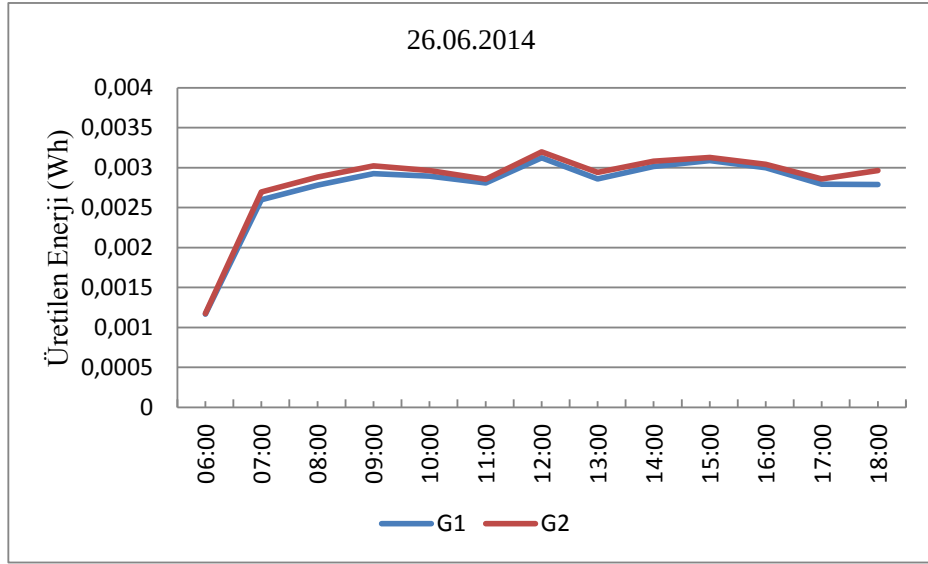
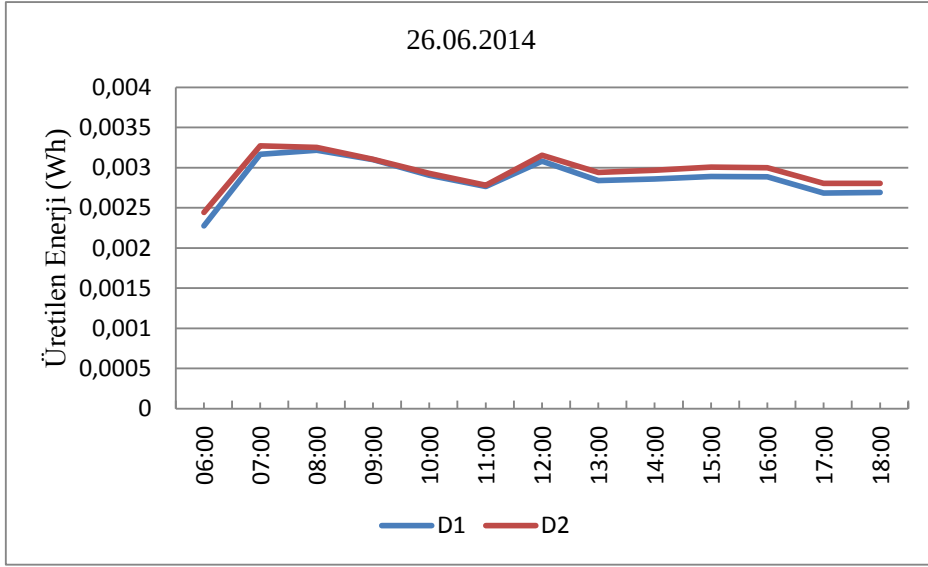
5.5.3 Haziran ayı ölçümlerinin analizi

Haziran ayının en soğuk günü olan 5 Haziran'da hava parçalı bulutlu ve 3 mm yağışlıyken, en sıcak günü olan 26 Haziran'da hava tüm gün boyunca açıktır. Her iki günde ölçülen panel elektrik üretimleri doğu, güney ve batı yönleri için Şekil 5.12 ve 5.13'de verilmiştir. Bu grafiklere göre:

- En soğuk günde gerçekleşen elektrik üretiminde bazı saatlerde dikkate değer azalmalar gözlenirken, en sıcak günde gün boyunca daha doğrusal bir üretim gerçekleşmiştir.
- Hem soğuk hem sıcak günde, doğu ve güney yönlerinde arkası boşluksuz olan panel arkası boşluklu olan panele göre daha çok elektrik üretmiştir. Batı yönlerinde ise özellikle öğleden sonra arkası boşluklu olan panel daha iyi elektrik üretmiştir.
- Hem soğuk hem sıcak günde, doğu ve güney yönlerinde saat 15.00'den sonra panellerin elektrik üretiminde azalma görülürken, batı yönünde artma gözlenmiştir.
- En soğuk günde en yüksek elektrik üretimi saat 15.00 civarında gerçekleşirken, en sıcak günde doğu yönünde sabah, güney yönünde öğlen, batı yönünde de öğleden sonra gerçekleşmiştir.
- En soğuk günde sabah 6:00'da elektrik üretimi sıfıra yakinken, en sıcak günde özellikle doğu yönünde en yüksek değere yakındır.



Şekil 5.12 : Haziran ayının en soğuk günü için farklı yönlerde ölçülen elektrik üretimleri.

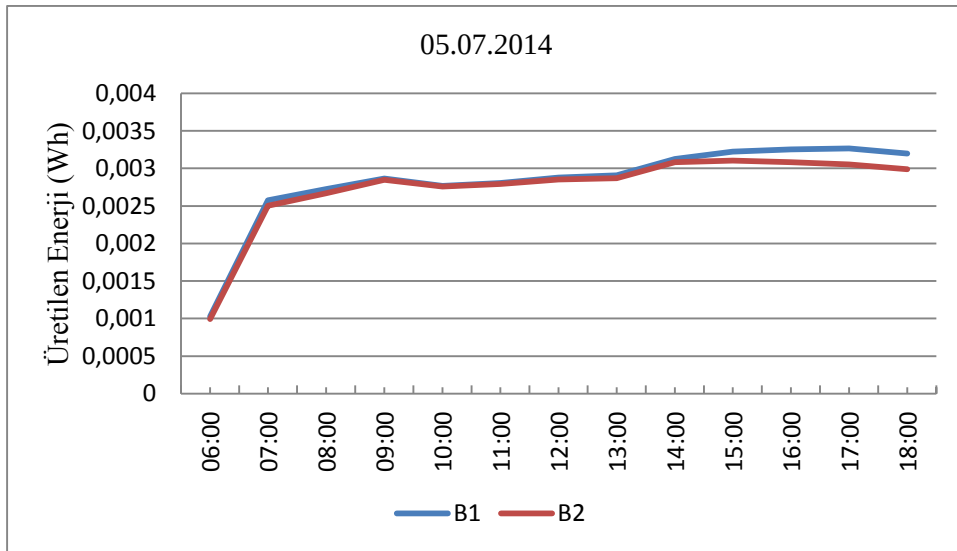
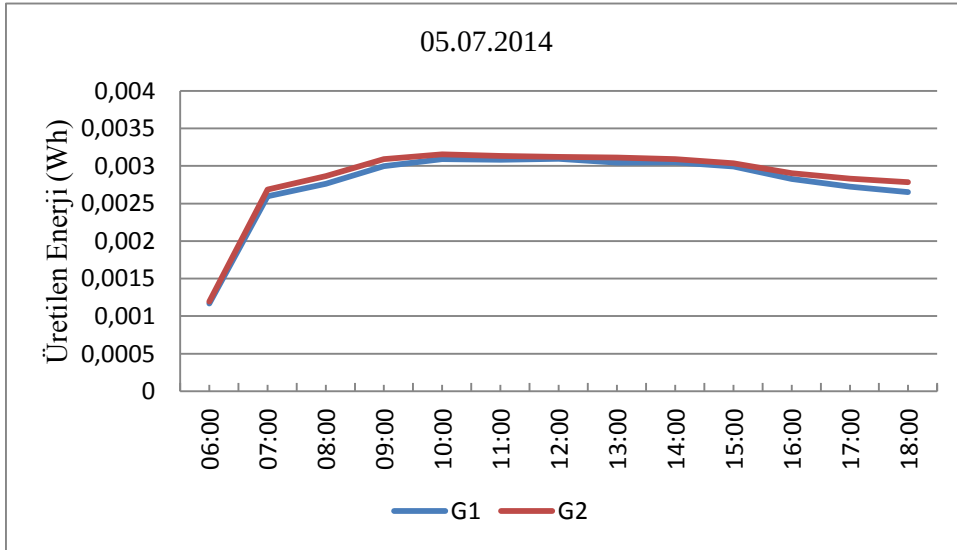
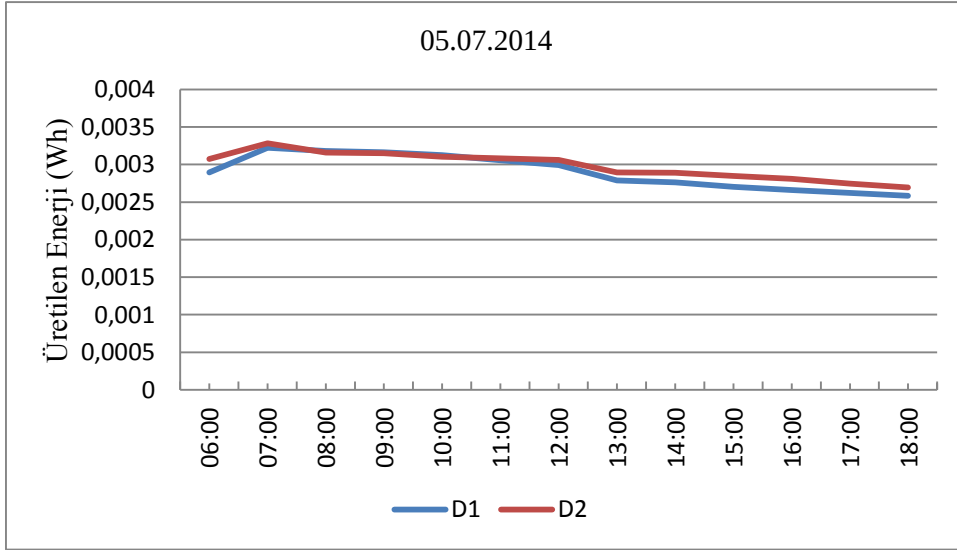


Şekil 5.13 : Haziran ayının en sıcak günü için farklı yönlerde ölçülen elektrik üretimleri.

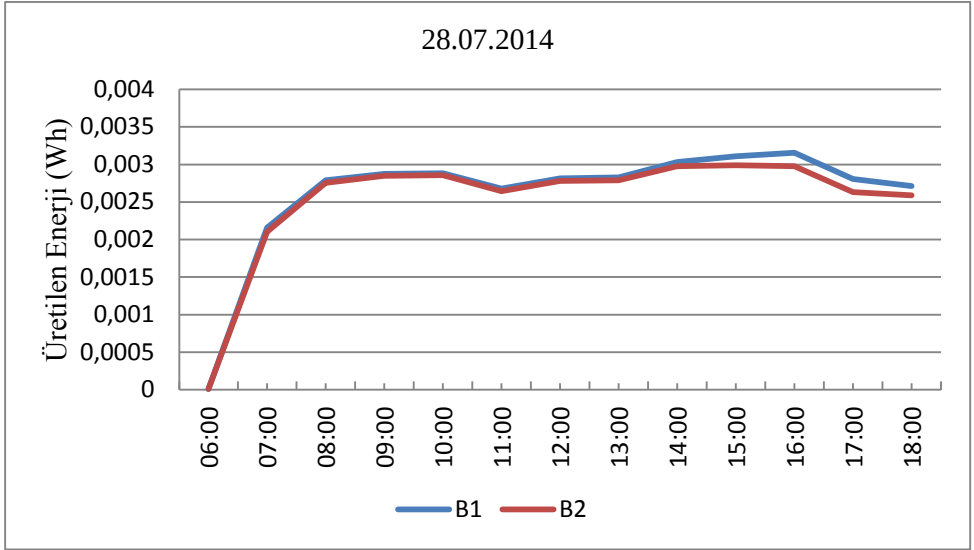
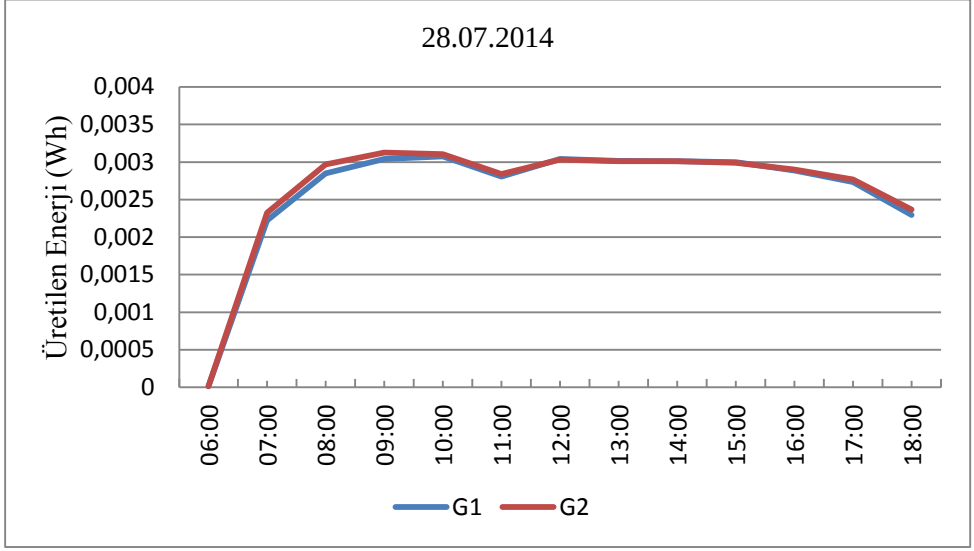
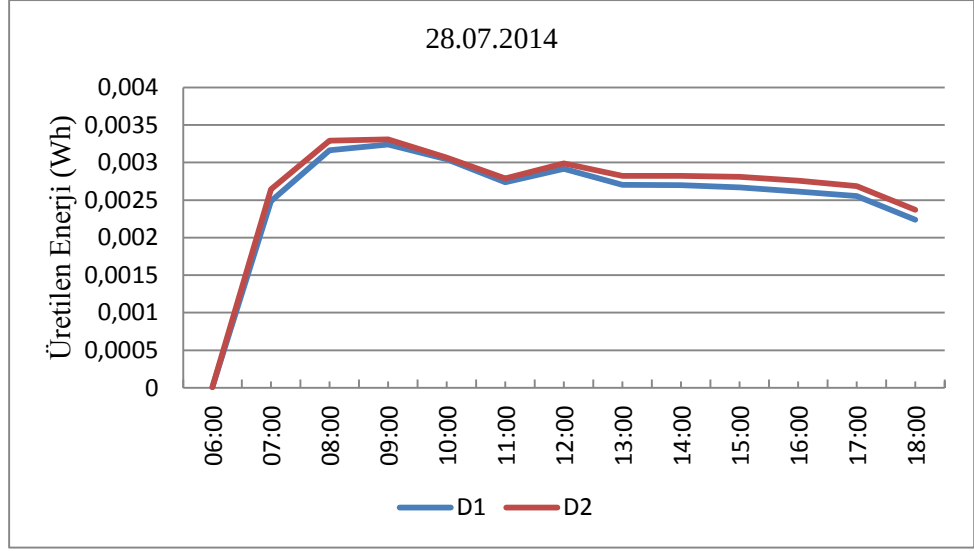
5.5.4 Temmuz ayı ölçümlerinin analizi

Temmuz ayının en soğuk günü olan 5 Temmuz'da hava az bulutluyken, en sıcak günü olan 28 Temmuz'da hava parçalı bulutlu durumdadır. Her iki günde ölçülen panel elektrik üretimleri doğu, güney ve batı yönleri için Şekil 5.14 ve 5.15'de verilmiştir. Bu grafiklere göre:

- Hem soğuk, hem sıcak günde, doğu yönünde gün boyunca elektrik üretiminde doğrusal bir azalma gözlenirken, güney yönünde elektrik üretiminin gün ortasında arttığı görülmüştür. Batı yönünde özellikle saat 14:00'dan sonra arkası boşluklu olan panelde elektrik üretimi artmıştır.
- En sıcak günde sabah 6:00'da tüm yönlerde elektrik üretimi sıfır iken, en soğuk günde doğu yönündeki panellerin elektrik üretimi maksimum değere ulaşmıştır.
- En sıcak günde, saat 11:00'da elektrik üretiminde ani bir kırılma olmuştur.
- En sıcak günde doğu ve güney yönlerinde arkası boşluksuz panel daha iyi elektrik üretirken, batı yönünde elektrik üretimleri genelde aynı ölçülmüştür. Yalnız öğleden sonra arkası boşluklu panelin elektrik üretiminde artış olmuştur.



Şekil 5.14 : Temmuz ayının en soğuk günü için farklı yönlerde ölçülen elektrik üretimleri.



Şekil 5.15 : Temmuz ayının en sıcak günü için farklı yönlerde ölçülen elektrik üretimleri.

5.6 Sonuçların Değerlendirilmesi

Bu bölümde; elde edilen ölçüm sonuçları tezin amacı doğrultusunda yaz-kış durumuna, yöndeki farklılaşmaya ve panelin dış duvara boşluklu ya da boşluksuz olarak tespit edilmesine bağlı olarak değerlendirilmektedir.

Değerlendirmeler;

- seçilmiş ayların en soğuk ve en sıcak günlerinde tüm yönler için ölçülmüş elektrik üretimlerinin verildiği Şekil 5.8-5.11'deki (Bölüm 5.5),
- arkası boşluklu ve boşluksuz olarak yerleştirilen panellerin üretimleri arasındaki fark esas alınarak, seçilmiş ayların en soğuk ve en sıcak günlerinde tüm yönler için hesaplanan enerji üretimi farkı yüzdelerinin verildiği Şekil 5.12-5.15'deki grafiklere göre yapılmıştır.

Enerji üretimi farkı yüzdeleri Denklem 5.1 ile hesaplanmıştır.

$$F = (E1 - E2) * 100 / E1 \quad (5.1)$$

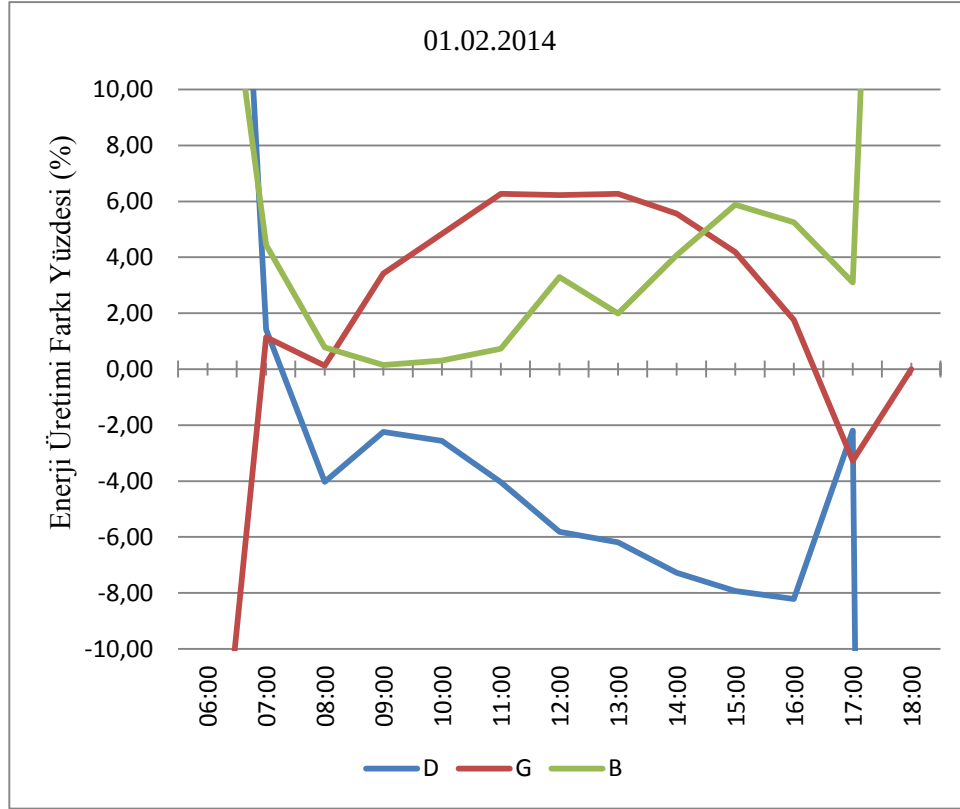
F: Enerji üretimi farkı yüzdesi

E1: Boşluklu panel tarafından üretilen enerji

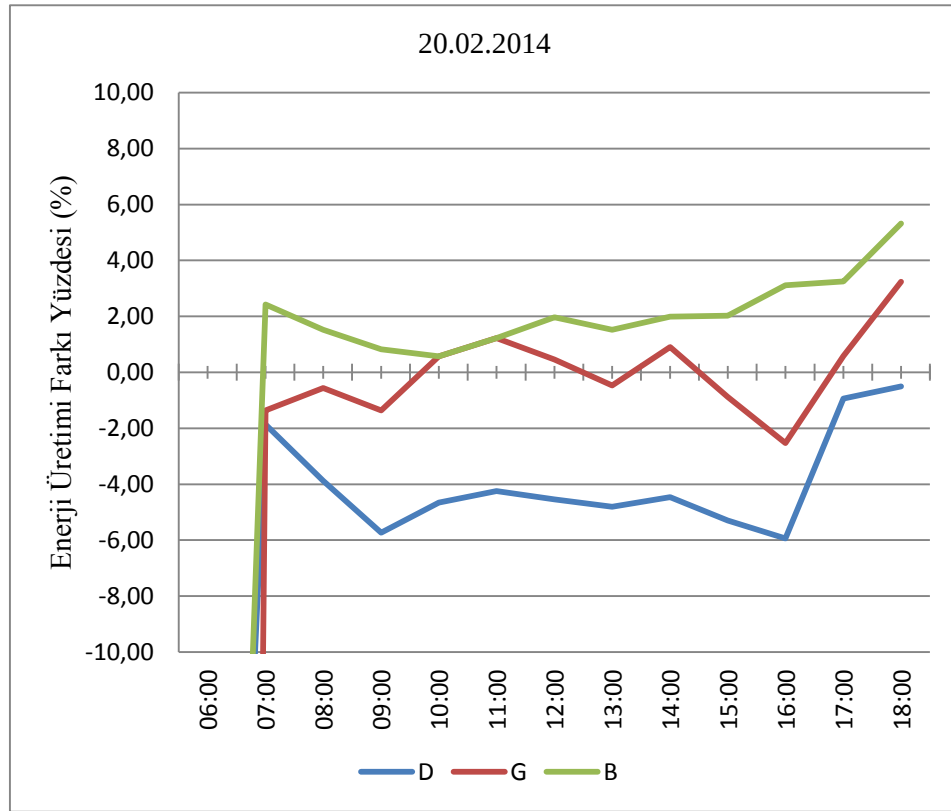
E2: Boşluksuz panel tarafından üretilen enerji

5.6.1 Yaz-kış durumuna göre değerlendirme

Şekil 5.8-5.15'de verilen grafiklere göre, panellerin yaz ve kış mevsiminde ürettikleri elektrik enerjisi miktarları açısından bir değerlendirme yapılacak olursa, yaz aylarında günlerin daha uzun olması nedeniyle üretimin tüm paneller için uzun süreli olarak gerçekleştiği, kış aylarında ise daha kısa süreli olduğu görülmüştür. Yaz aylarında maksimum üretim 0,0033 Wh civarında gerçekleşirken, kış aylarında bu değer 0.0037 Wh civarındadır. Bölüm 3.6.2'de bahsedildiği gibi, sıcaklığı artan panelin veriminin düştüğü bilinmektedir. Buna dayanarak, yazın sıcaklığı artan panellerin veriminin düştüğü söylenebilir. Ancak bu farklılık çok düşük bir miktardadır. Deney düzeneğinde bütçe nedeniyle oldukça küçük boyutlu paneller kullanılması nedeniyle, bu farklılık belirgin bir şekilde gözlenememiş olabilir.

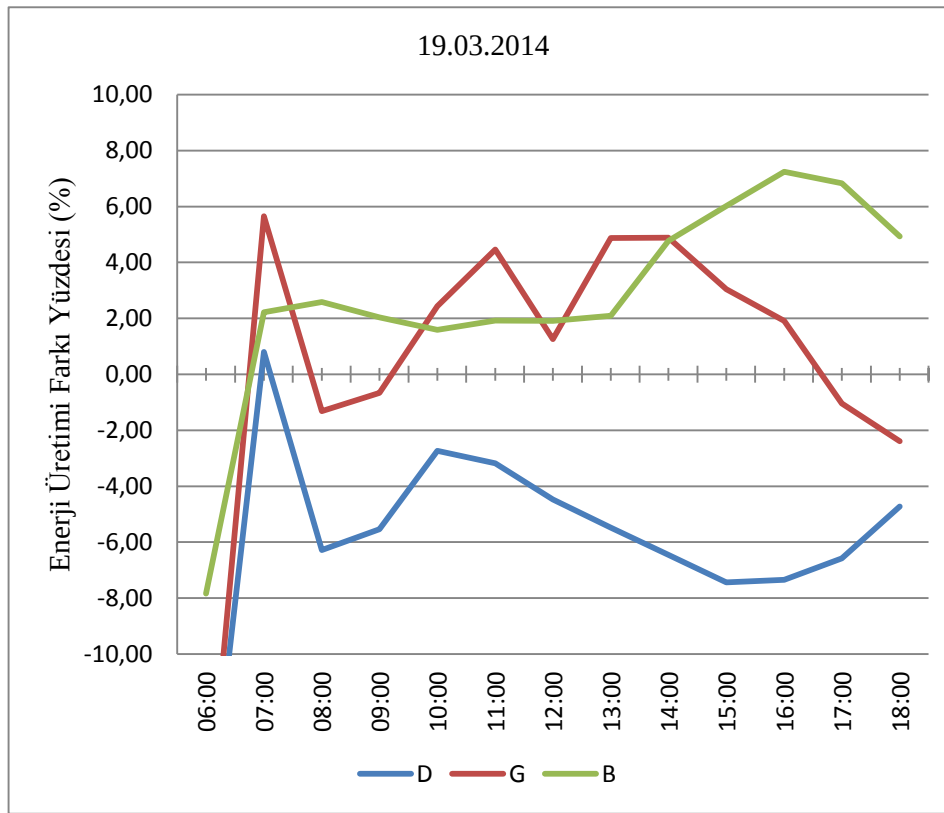
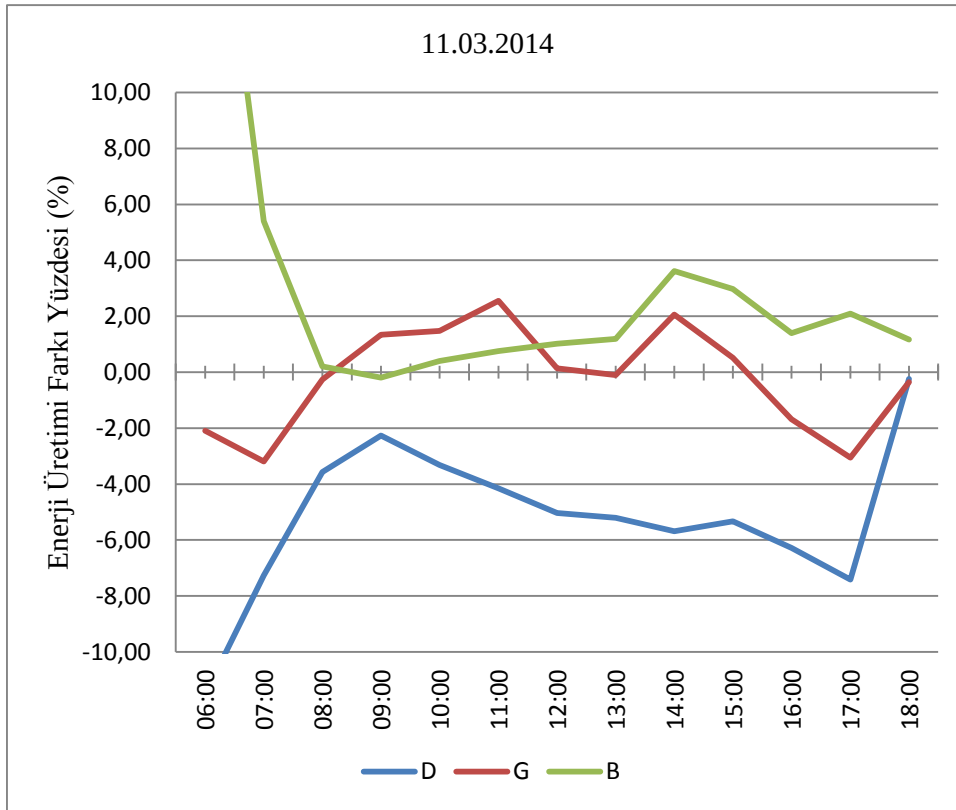


(a)

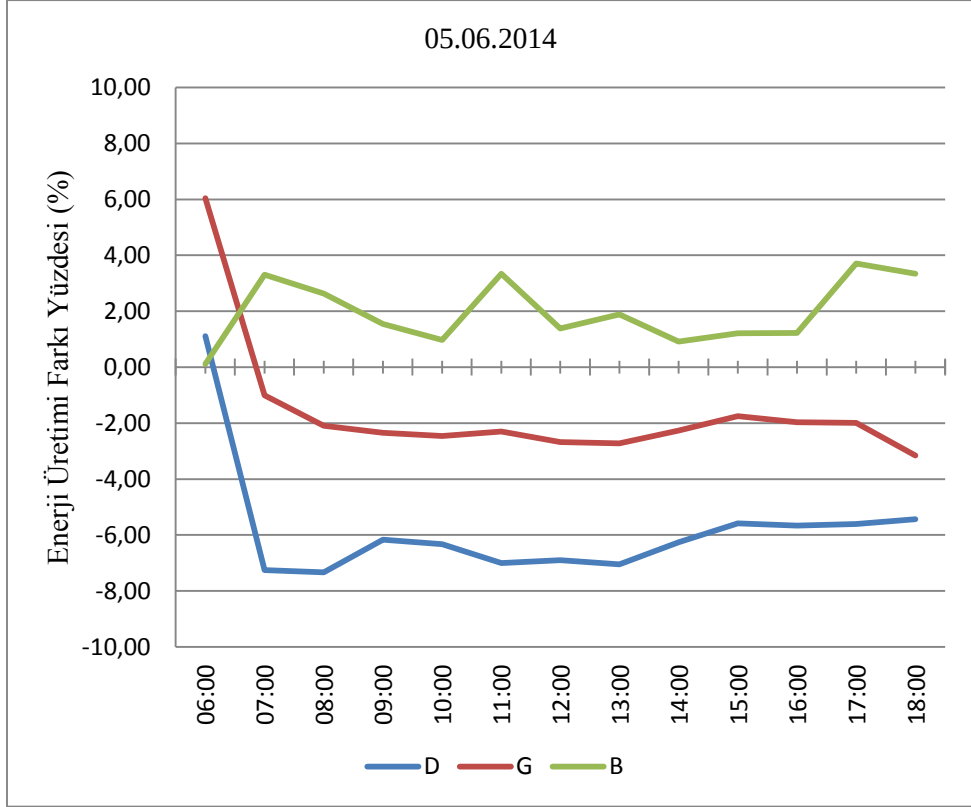


(b)

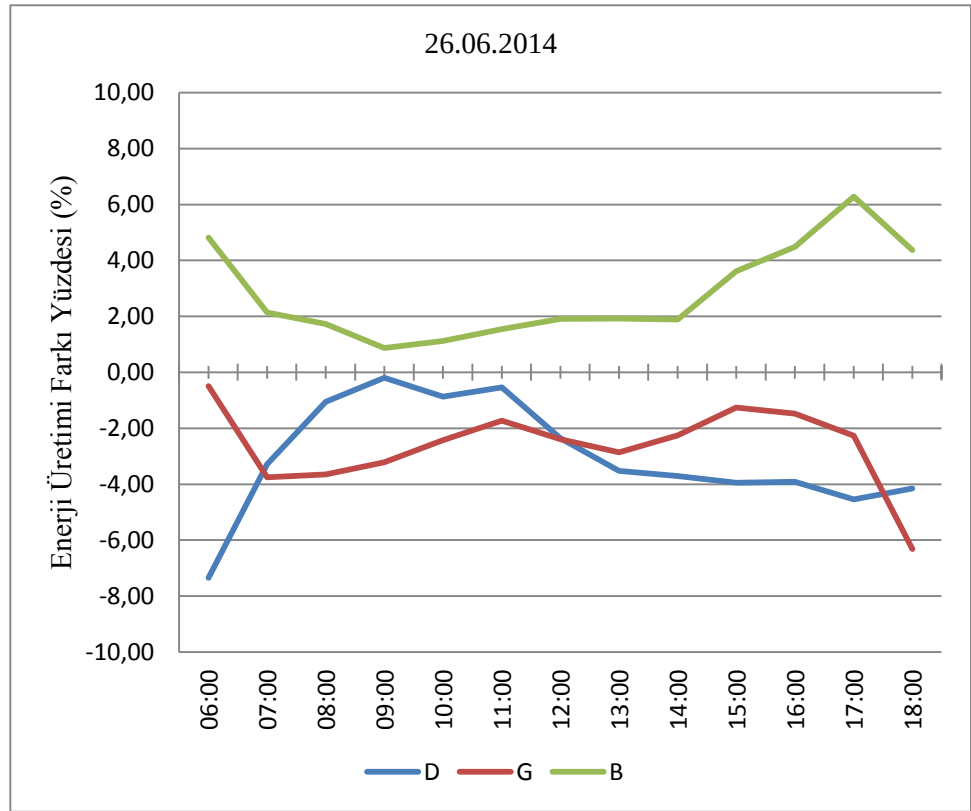
Şekil 5.16 : Şubat ayının en soğuk (a) ve en sıcak (b) günlerinde, farklı yönlerde gerçekleşen enerji üretimi farklılıkları.



Şekil 5.17 : Mart ayının en soğuk (a) ve en sıcak (b) günlerinde, farklı yönlerde gerçekleşen enerji üretimi farklılıkları.

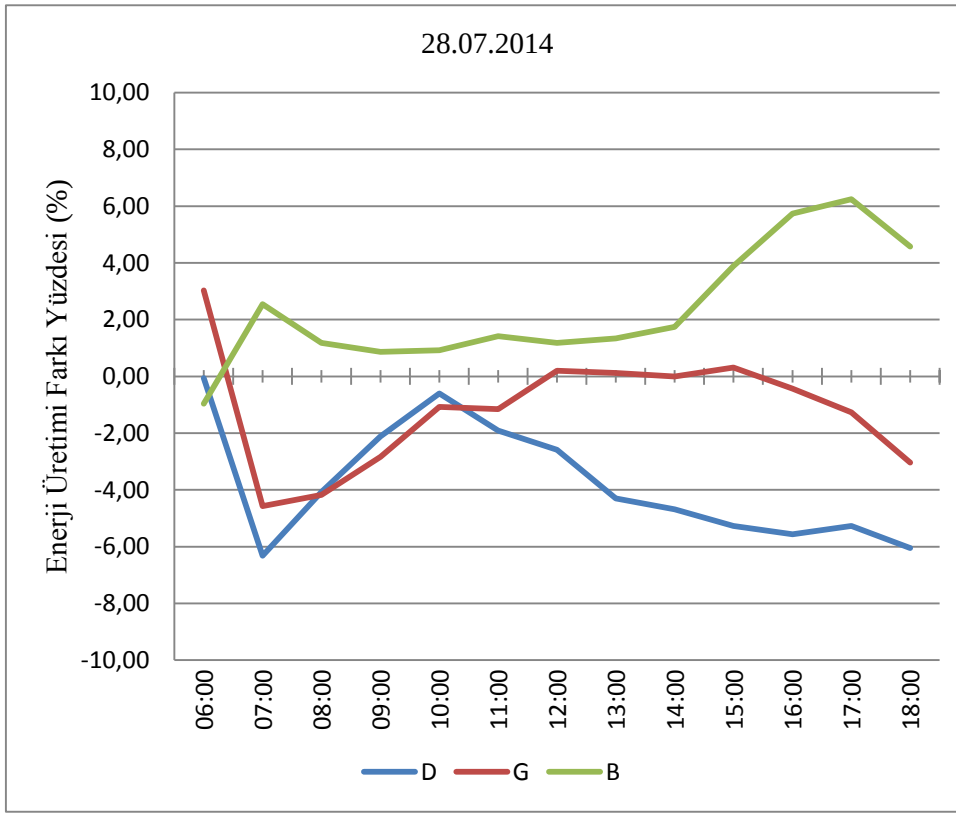
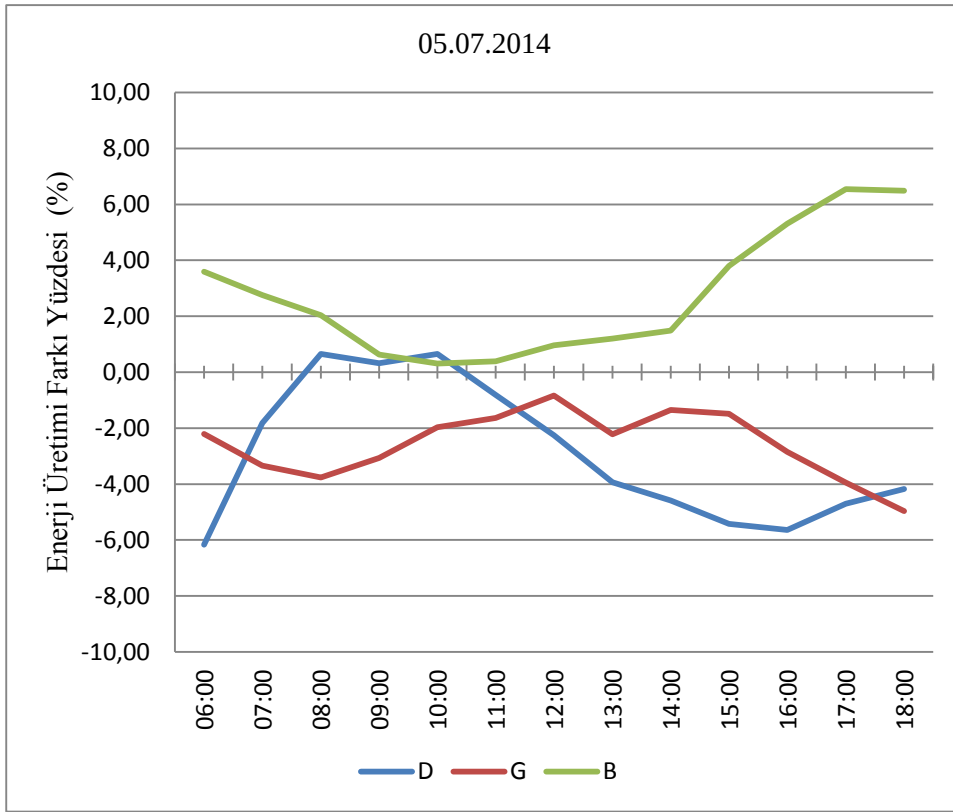


(a)



(b)

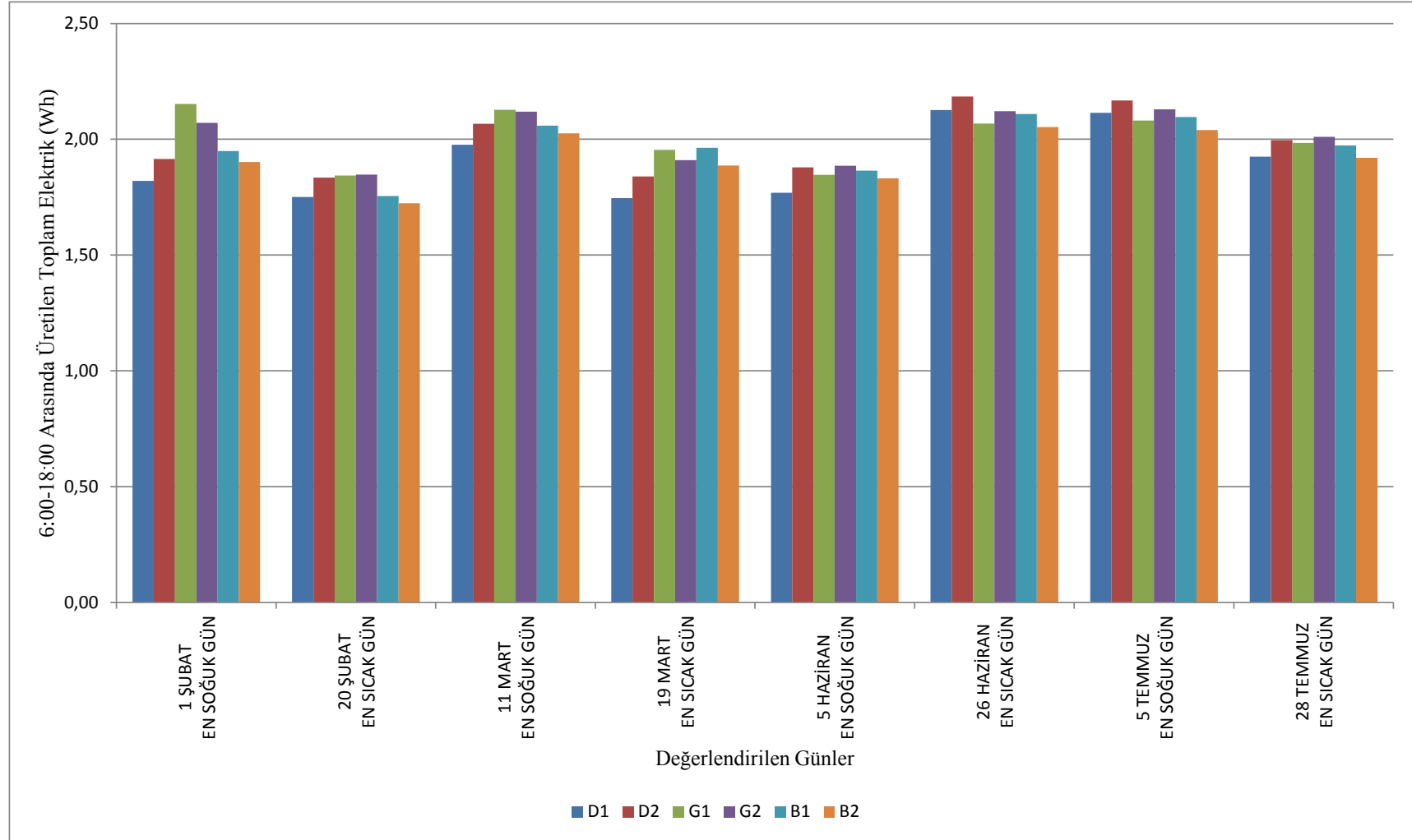
Şekil 5.18 : Haziran ayının en soğuk (a) ve en sıcak (b) günlerinde, farklı yönlerde gerçekleşen enerji üretimi farklılıkları.



Şekil 5.19 : Temmuz ayının en soğuk (a) ve en sıcak (b) günlerinde, farklı yönlerde gerçekleşen enerji üretimi farklılıkları.

5.6.2 Yöndeki farklılaşmaya göre değerlendirme

Güneş mimarlığında güney yönü her zaman çok önemlidir. Ülkemiz gibi kuzey yarım kürede, dönence üstü enlemlerdeki ülkelerde, binaların güneye bakan dış duvarları tüm gün güneş aldıkları için, FV sistemlerin kurulumu için en uygun duvar alanları olarak tavsiye edilmektedir. Fakat yapılan deneyde, doğu ve batı yönlerine tespit edilen panellerin de güney yönündeki panellere yakın miktarda enerji ürettiği ölçülmüştür. Bununla birlikte, etkinliğin sağlandığı saatlerde farklılıklar izlenmiştir. Güneş ışınımının yüzeye geliş miktarına bağlı olarak; maksimum etkinliğin, doğu yönünde tespit edilmiş panellerde öğleden önce, batı yönünde tespit edilmiş olanlarda ise öğleden sonra sağlandığı görülmüştür. Şekil 5.20’de, seçilen tüm günler için tüm panellerin sabah 6:00’dan akşam 18:00’a kadar ürettikleri toplam elektrik miktarları görülmektedir. Bu grafiğe göre, kış mevsiminde seçilen günlerde en çok elektrik üretimi güney yönündeki arkası boşluklu panelde, yaz mevsiminde seçilen günlerde ise en çok elektrik üretimi doğu yönündeki arkası boşluksuz panelde olmuştur.



Şekil 5.20 : Seçilen tüm günlerde 6:00 ile 18:00 arasında üretilen toplam elektrik miktarları.

5.6.3 Tespit şekline göre değerlendirme

Paneller arkası boşluklu ya da boşluksuz olarak tespit edilmelerine bağlı olarak:

- Şekil 5.16-5.17’de verilen grafiklere göre Şubat ve Mart aylarının en soğuk ve en sıcak günlerinde farklı yönlerde gerçekleşen enerji üretimi farkı yüzdeleri açısından değerlendirildiklerinde; güney ve batı yönlerinde arkası boşluklu olarak tespit edilen paneller, boşluksuz olarak tespit edilenlere göre daha fazla elektrik üretmişlerdir. Doğu yönünde ise, arkası boşluksuz olarak tespit edilen panellerin daha fazla elektrik ürettiği görülmektedir. Güney ve batı yönlerinde daha fazla ısıya maruz kalan duvarda, boşluklu olarak tespit edilen panellerin sıcaklıkları arkalarındaki havalandırma yardımıyla düşmekte ve daha fazla elektrik üretmektedirler. Bununla birlikte, bahsedilen etkinlik Şubat ayında Mart ayına oranla daha belirgin olarak izlenmektedir. Bu durum, Mart ayında belirlenen günlerde havanın Şubat ayına oranla daha bulutlu olması ile açıklanabilir (Çizelge 5.1).
- Şekil 5.18 ve 5.19’da verilen grafiklere göre Haziran ve Temmuz aylarının en soğuk ve en sıcak günlerinde farklı yönlerde gerçekleşen enerji üretimi farkı yüzdeleri açısından değerlendirildiklerinde; batı yönünde arkası boşluklu olarak tespit edilen paneller arkası boşluksuz olarak tespit edilen panellere göre daha fazla elektrik üretmiştir. Doğu ve güney yönlerinde ise arkası boşluksuz olarak tespit edilenler boşluklu olanlara göre daha etkindirler. Batı yönünde izlenen etkinliğin özellikle öğleden sonra güneş ışıının arttığı saatlerde daha belirgin olduğu Şekil 5.12-5.15’de de görülebilir.
- Şekil 5.20’de verilen grafiğe göre tüm panellerin gün boyunca ürettiği toplam elektrik üretimi değerlerine bakıldığında ise; doğu yönünde seçilen tüm günlerde arkası boşluksuz, güney yönünde kışın arkası boşluklu, yazın arkası boşluksuz, batı yönünde ise hem yazın hem de kışın arkası boşluklu olan panel daha çok elektrik üretmiştir. Doğu cephesinde; sabah saatlerinde gece boyunca soğumuş olan cephenin kendine bitişik olan panel ile teması aşırı ısınmayı engelleyerek panel performansının artmasını sağlamıştır. Güney ve batı yönlerinde ise; arkası boşluklu panellerin daha verimli oldukları görülmüştür. Bölüm 2’de Kaynaklı, Özdemir ve Karamangil tarafından yapılan çalışmada da belirtildiği gibi; dik yüzeylerde kışın güney, yazın batı

yönünde güneş ışıını mı miktarları daha yüksek değ erlere ulaş maktadır. Böylelikle, bu yönlerde panel arkasının havalandırılması yoluyla performansı arttırılmış tır.

5.7 Bölüm Sonucu

Bu bölümde, deneysel çalışmanın yapıldığı dönem için iklimsel veriler belirlenmiş, deney düzeneğinin nasıl tasarlandığı açıklanmış, kullanılan ölçüm ve montaj bileşenleri tanıtılmış ve ardından deney düzeneğinin kuruluş u anlatılmış tır. Deney düzeneğ i kurulduktan sonra, yaklaşık 1 yıl süreyle ölçümler yapılmış ve veri kaydediciye yüklenmiştir. Elde edilen sonuçlar, kış ve yaz mevsimini temsil etmek üzere seçilen Şubat, Mart, Haziran ve Temmuz aylarının en soğuk ve en sıcak günleri için kaydedilmiş elektrik üretimi verilerine göre analiz edilmiştir. Değ erlendirme için; yaz-kış durumu, yöndeki farklılaş ma ve panelin tespit şekli dikkate alınmıştır.

Genel olarak, yaz ve kış aylarında üretim süresi günlerin uzaması ve kısılmasıyla ilişkili olarak değ iş iklik göstermiştir. Elektrik üretimi yazın daha erken baş lamakta ve daha geç son bulmaktadır. Yönleere göre değ erlendirildiğ inde; her yönde belirli miktarda elektrik üretimi olduğ u ve bu değ erlerin birbirine çok yakın olduğ u anlaşılmıştır. Ancak üretimin gerç ekleşt iğ i saatlerde farklılık gözlenmiştir. Tespit şekillerine göre değ erlendirmede ise; kış aylarında doğ u yönünde arkası boş luksuz olarak yerleşt irilen paneller boş luklu panele göre daha iyi performans gösterirken, güney ve batı yönlerinde boş luklu olarak yerleşt irilenler daha etkindir. Yaz aylarında ise, doğ u ve güney yönlerinde boş luksuz olarak yerleşt irilen panellerin boş luklu olanlara göre daha etkin oldukları görülmüştür. Toplam değ erlere bakıldığında da, tespit şeklinin paneller üzerindeki etkisinin yönleere göre değ iş kenlik gösterdiğ i izlenmektedir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Günümüzde, fosil yakıtların dünyaya zarar verdiği kabul edilmekte, enerji ihtiyacı artan toplumların yenilenebilir enerjiye yönelmeleri kaçınılmaz olarak görülmektedir. Yenilenebilir enerjilerin en verimlilerinden güneş enerjisi, çeşitli şekillerde kullanılabilir. Özellikle yapılaşmanın hızla arttığı şehirlerde, güneş enerjisinden yararlanmak için aktif güneş sistemlerinin kullanımının yaygınlaştırılması hem küresel ısınmayı önlemeye, hem de kendi enerjisini kendi üreten sistemler yardımıyla ekonomiye katkı sağlamaktadır.

Aktif güneş enerjisi sistemlerden biri olan FV sistemler, binaların hem çatılarına hem de dış duvarlarına tespit edilebilirler. Dünya üzerinde binalarla bütünleşik veya binalara tespit edilen örnekler çok sık rastlanmasına karşın, ülkemizde bu tür örnekler henüz yaygınlaşmamıştır. Buna sebep olarak devletin enerji politikaları ve teşviklerinin azlığı, yüksek ilk yatırım maliyetleri ve gerçekleşen uygulamaların kalifiye elemanlar tarafından yapılmamasından kaynaklı istenilen performansın elde edilememesi gösterilebilir. Üniversitelerde yapılan çeşitli araştırmalar ve bazı sivil toplum örgütlerinin güneş enerjisi kullanımını arttırmaya yönelik çabaları, sistemin tanıtılması ve yaygınlaştırılması için yetersiz kalmaktadır.

FV sistemlerin, çok sayıda bina stoğuna sahip olan ülkemizde, yeni binaların yanı sıra mevcut binalarda da kullanımının yaygınlaştırılması, kaynaklarımızın etkin kullanımına ve çevresel kirliliğin azaltılmasına katkı sağlayacaktır. Diğer taraftan, sıklıkla çatılarda kullanılan bu sistemlerin, bina dış duvar yüzeylerinde de etkin olarak kullanımına yönelik çözümler geliştirilmesi önem taşımaktadır. Sağlanacak katkının artırılması, sistemin maksimum performans alınacak şekilde tasarlanması ve uygulanması ile mümkün olacaktır. Bu amaçla, tezde mevcut bina dış duvarlarına sonradan tespit edilen FV sistemlerin performansının araştırılması amaçlanmıştır. Genel olarak bir FV panelin performansını etkileyen etmenler; iklimsel koşullar, panelin konumu, açısı, yönü, gölgelenme durumu, tespit şekli, bakımı ve temizliği olarak sıralanabilir. Çalışmada sadece dış duvar yüzeylerine tespit edilen sistemler

ele alınmış ve bu sistemlerin tespit şekilleri ile yerleştirildikleri yönlerle ilgili olarak gösterdikleri performans deneysel yolla incelenmiştir. Ölçüm sonuçları; kış aylarını temsil etmek üzere Şubat ve Mart ayları için, yaz aylarını temsil etmek üzere Haziran ve Temmuz ayları için değerlendirilmiştir. Değerlendirmelerde; söz konusu aylar için her saat başı ölçülen anlık elektrik ölçümü değerleri ile saat 6:00 ile 18:00 arasında elde edilen toplam elektrik üretimi değerleri esas alınmış ve elde edilen ölçüm sonuçları tez amacı doğrultusunda yaz-kış durumuna, yöndeki farklılaşmaya ve panelin dış duvara boşluklu ya da boşluksuz olarak tespit edilmesine bağlı olarak değerlendirilmiştir.

Yaz aylarında günlerin daha uzun olması nedeniyle, üretimin tüm paneller için uzun süreli olarak gerçekleştiği, kış aylarında ise daha kısa süreli olduğu görülmüştür. Her ay için ölçülen anlık üretim sonuçlarına bakıldığında; yaz aylarında maksimum üretim 0,0033 Wh civarında gerçekleşirken, kış aylarında bu değer 0.0037 Wh civarındadır. Bu sonuca dayanarak, yazın sıcaklığı artan panellerin veriminin düştüğü söylenebilir. Ancak bu farklılık çok düşük bir miktardadır. Deney düzeneğinde bütçe nedeniyle oldukça küçük boyutlu paneller kullanılması nedeniyle, bu farklılık belirgin bir şekilde gözlenememiş olabilir.

Yönlere göre değerlendirildiğinde; anlık üretim sonuçlarına göre her yönde belirli miktarda elektrik üretimi olduğu ve bu değerlerin birbirine çok yakın olduğu anlaşılmıştır. Ancak üretimin gerçekleştiği saatlerde farklılık gözlenmiştir.

Tespit şekillerine göre değerlendirmede ise; anlık üretim sonuçlarına göre kış aylarında doğu yönünde arkası boşluksuz olarak yerleştirilen paneller boşluklu olanlara göre daha iyi performans gösterirken, güney ve batı yönlerinde boşluklu olarak yerleştirilenler daha etkinlerdir. Yaz aylarında ise; doğu ve güney yönlerinde boşluksuz olarak yerleştirilen paneller boşluklu olanlara göre daha verimlilerken, batı yönünde boşluklu olarak yerleştirilenler daha etkinlerdir. 6.00 ve 18.00 saatleri arasındaki toplam elektrik üretimine bakıldığında; kış mevsiminde seçilen günlerde en çok elektrik üretimi güney yönündeki arkası boşluklu panelde, yaz mevsiminde seçilen günlerde ise en çok elektrik üretimi doğu yönündeki arkası boşluksuz panelde olmuştur.

Sonuç olarak, artan panel sıcaklığının performans düşüşüne neden olmaması için; düşey panellerin güneş ışıınının yüksek değerlere ulaştığı yönlerde -yaz ve kış

durumu birlikte düşünülerek- güneyde ve batıda arkası boşluklu olarak, doğuda ise arkası boşluksuz olarak yerleştirilmesinin uygun olduğu söylenebilir. Ayrıca, panellerin çeşitli hibrit sistemler ile bütünleşik olarak tasarlanması ile de, performans düşüşlerinin azaltılması mümkündür. Örneğin panellerin arkasından dolaştırılan bakır borulardan geçirilen soğuk suyun, sıcaklığı artan panellerin ısısından yararlanılarak sıcak suya dönüştürülmesi mümkündür. Böylelikle hem panel sıcaklığı düşürülerek elektrik üretimi performansı arttırılacak hem de sıcak su sağlanmış olacaktır. Bu tür hibrit sistemlerin dış duvar yüzeylerinde uygulanmasına yönelik araştırma ve geliştirme çalışmaları, FV sistem kullanımının yaygınlaşmasına da katkı sağlayacaktır.

İTÜ tarafından BAP 37387 projesi kapsamında desteklenmiş bu çalışma, bütçenin elverdiği koşullarda küçük paneller alınarak gerçekleştirilmiştir. Bu nedenle, elde edilen elektrik üretim değerleri oldukça düşük miktarlardadır. Ayrıca boyutun küçüklüğü panel arkasında bırakılan boşluk etkisinin boşluksuz duruma oranla önemli miktarda farkedilir olmasını engellemiştir. Gelecekte yapılacak olan çalışmalar ile, daha büyük boyutlu ya da daha fazla sayıda panel kullanılarak, daha ayırtedilebilir sonuçlar elde edilmesi mümkün olabilir. Diğer taraftan, panel arkasındaki sıcaklıkların da ölçülebildiği bir düzenek ile, boşluklu ya da bitişik tespitlerde bu yönden de bir değerlendirme yapılması; bu çalışmayı destekleyici sonuçlar verecektir.

KAYNAKLAR

- [1] **Dinçer, F.** (2011). Overview Of The Photovoltaic Technology Status And Perspective İn Turkey, Elsevier Press, (pp. 3768–3779).
- [2] **Dinçer, F.** (2011). Türkiye’de Güneş Enerjisinden Elektrik Üretimi Potansiyeli-Ekonomik Analizi ve AB Ülkeleri ile Karşılaştırmalı Değerlendirme, *KSU Mühendislik Dergisi*, 14, 1, Kahramanmaraş.
- [3] **Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi**, (2009). Dünya’da ve Türkiye’de Güneş Enerjisi Raporu. Ankara. Erişim Tarihi: 13.04.2013, http://www.dektmk.org.tr/upresimler/enerji_raporu_2009.pdf.
- [4] **Varınca, K. B. ve Gönüllü, T. M.** (2006). Türkiye’de Güneş Enerjisi Potansiyeli ve Bu Potansiyelin Kullanım Derecesi, Yöntemi ve Yaygınlığı Üzerine Bir Araştırma, I. Ulusal Güneş ve Hidrojen Enerjisi Kongresi (UGHEK), Bildiriler Yoğun Diski, (s. 270-275), Eskişehir Osmangazi Üniversitesi (ESOGÜ), Eskişehir, 21-23 Haziran.
- [5] **Varınca, K. B. , Varank, G.** (2005). Güneş Kaynaklı Farklı Enerji Üretim Sistemlerinde Çevresel Etkilerin Kıyaslanması Ve Çözüm Önerileri, Güneş Enerjisi Sistemleri Sempozyumu ve Sergisi, Bildiriler Kitabı, (s. 148-160), Mersin, 24-25 Haziran.
- [6] **Ültanır, M.Ö.** (1996). 21. Yüzyılın Eşiğinde Güneş Enerjisi, Bilim ve Teknik Dergisi, 340, (s. 50-55), Mart.
- [7] **Url-1** YEGM, Türkiye’de Güneş Enerjisi, <http://www.eie.gov.tr/eie-web/turkce/YEK/gunes/tgunes.html>. Erişim Tarihi: 20.03.2014.
- [8] **Kaynaklı, Ö., Özdemir, S., Karamangil, M. İ.,** (2012). Güneş Işınımı Ve Duvar Yönü Dikkate Alınarak Optimum Isıl Yalıtım Kalınlığının Belirlenmesi, Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi,27-2, (s. 367-374).
- [9] **Engin, N.** (2012). Enerji Etkin Tasarımda Pasif İklimlendirme: Doğal Havalandırma, Tesisat Mühendisliği Dergisi, 129, Mayıs/Haziran.
- [10] **DOE** (2001). Passive Solar Design for the Home, U.S. Department of Energy, DOE/GO-102001-1105, FS121, February.
- [11] **Url-2** <http://habitatkalkinma.org/dl/kaynaklar/yayin/TemizEnerjiYayinlari/unes_Mimarligii.pdf>Erişim Tarihi: 02.03.2015.
- [12] **Tunçalp, K., Sucu, M., Oğuz, Y.** (2002). Değişik İklim Şartlarında Bina İçerisinde Pasif Isıtma Ve Soğutma Sistemlerinin Kullanılabilirliği, IV. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, İstanbul, 16-18 Ekim.
- [13] **Url-3** <<http://www.limitsizenerji.com/component/content/article/652-enerji-verimlili-eitim-tesisi>>, Erişim Tarihi: 02.04.2015.

- [14] **Url-4** <<http://www.dennisrhollowayarchitect.com/Ungar.html>>, Erişim Tarihi: 05.04.2015.
- [15] **Üçgöl, İ., Koyun, A.** (2010). Güneş Bacası Tasarım Parametreleri ve Performansının Deneyisel Olarak İncelenmesi, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 16-3, (s. 255-264).
- [16] **Lechner, N.** (2009). Heating, Cooling, Lighting: Sustainable Design Methods for Architects, John Wiley & Sons.
- [17] **Url-5** <<http://oguzbayazit.com.tr/tr-tr/blog.aspx?BlogID=2>> Erişim Tarihi: 05.05.2014.
- [18] **Schüco** Energy 3 Saving, Generating & Networking Energy, Schüco Enerji Tasarrufu Ve Kazanımı İçin Sistemler Broşürü, Schüco Türkiye.
- [19] **Url-6** IEA, Photovoltaics, <<http://www.iea.org/techinitiatives/renewableenergy/photovoltaics>> , Erişim Tarihi: 10.01.2015.
- [20] **Url-7** Anel Enerji, <<http://anelenerji.com.tr/pages/1565/1565/f/tr-TR/Referanslarimiz.aspx>>, Erişim Tarihi: 12.01.2015.
- [21] **Demircan, N., Alakavuk, Z.** (2008). Fotovoltaik Prensibiyle Güneş Enerjisinden Elektrik Üretimi, VII. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, (UTES) 17-19 Aralık, İstanbul.
- [22] **Url-8** EİE, <http://www.eie.gov.tr/yenilenebilir/g_enj_calismalari.aspx>, Erişim Tarihi: 05.12.2014.
- [23] **Çağlar, M.** Dünya Ve Türkiye’de Yenilenebilir Enerji Kaynaklarına Bakış, EİE İdaresi Genel Müdür Yardımcısı Kişisel Sunumu.
- [24] **Url-9** <<http://www.energies-renouvelables.org/observer/html/inventaire/pdf/15e-inventaire-Chap03-3.5.21-Turquie.pdf>> Erişim Tarihi: 06.02.2015.
- [25] **Url-10** <<http://www.elektrikport.com/teknik-kutuphane/yanlisiyla-dogrusuyla-hidroelektrik-santralleri/11695#ad-image-0>> Erişim Tarihi: 06.02.2015.
- [26] **Durak, M.** (2005). Avrupa Birliği Ülkelerinde Yenilenebilir Enerji Kaynakları Açısından Küçük HES’ler ve Rüzgar Enerjisi Yatırımlarına Verilen Teşvikler, Meteoroloji Mühendisliği Dergisi.
- [27] **Yazar, Y.**, ‘Türkiye ’de Enerji Politikalarının Geleceği Açısından Yenilenebilir Enerji’ paneli, http://www.radikal.com.tr/konya_haber/turkiyede_enerji_politikalarinin_gelecegi_acisindan_yenilenebilir_enerji_paneli-1295438 . Erişim Tarihi: 20.02.2015.
- [28] **5346 Sayılı Kanun (2005).** Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun, Ankara.
- [29] **Url-11** <www1.eere.energy.gov/solar/pdfs/solar_timeline.pdf> Erişim Tarihi: 12.04.2014.

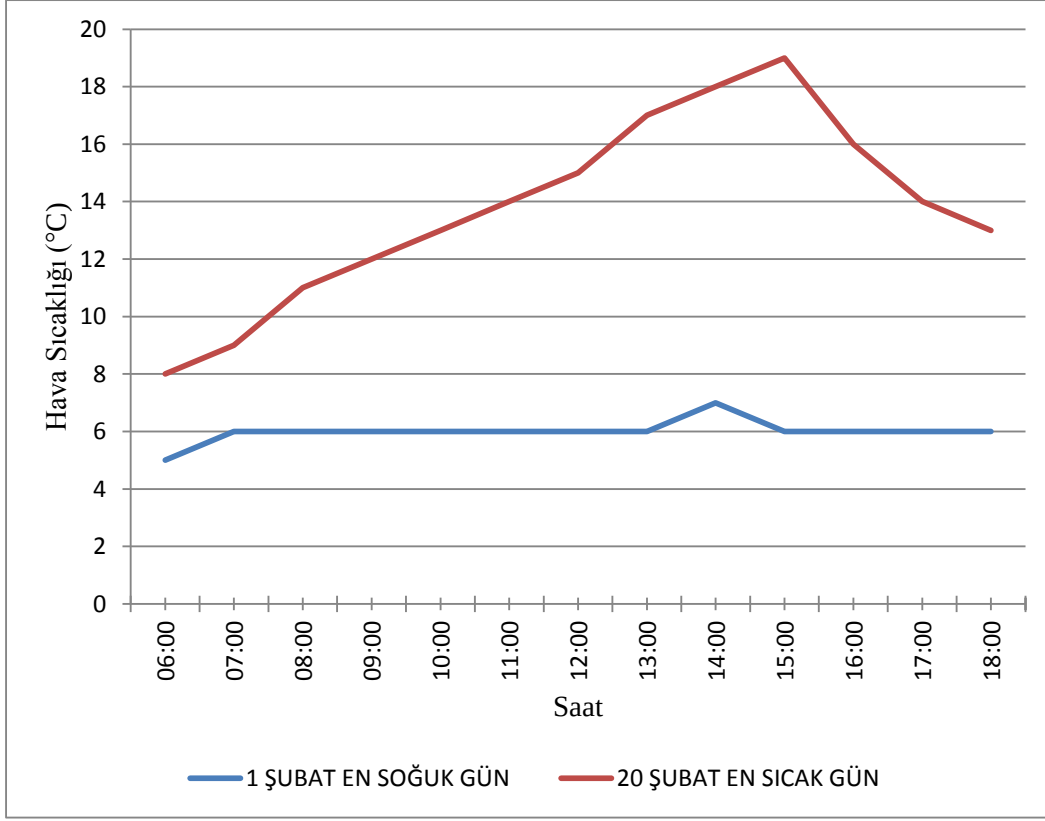
- [30] **Fraas, L., Partain, L.** (2010). *Solar Cells And Their Applications*, Second Edition, A John Wiley & Sons, Inc. Publication, Hoboken, New Jersey.
- [31] **Url-12** <http://www.eie.gov.tr/yenilenebilir/g_enj_tekno.aspx> Erişim Tarihi: 10.09.2014.
- [32] **Sick, F., Erge, T.** (1996). *Photovoltaics In Buildings: a design handbook for architects and engineers*, London: James & James (Science Publishers) Ltd.
- [33] **Url-13** <<http://www.solardirect.com/pv/pvlist/pvlist.htm>> Erişim Tarihi:05.01.2015.
- [34] **The German Solar Enegy Society (2008).** *Planning and Installing Photovoltaic Systems: A Guide For Installers, Architects and Engineers*, London; Sterling, VA: Earthscan.
- [35] **Url-14** <http://www.solar-academy.com/menu_detay.asp?id=494> Erişim Tarihi: 05.01.2015.
- [36] **Thomas, R.** (2000). *Photovoltaics and architecture: an introduction for architects and engineers*, New York: Spon Press.
- [37] **Url-15** <www.fotonik.gazi.edu.tr> Erişim Tarihi: 15.10.2014.
- [38] **Url-16** <<http://www.renesis.com.tr/bilgi-bankasi-kristal-paneller.php>> Erişim Tarihi: 15.10.2014.
- [39] **Parida, B., Iniyan, S., Goic, R.** (2011). *A Review Of Solar Photovoltaic Technologies*, Elsevier Press, (pp. 1625–1636), New York.
- [40] **Pagliaro, M., Palmisano, G., Ciriminna, R.** (2008). *Flexible Solar Cells*, Wiley-VCH Press, Weinheim.
- [41] **Url-17** <http://www.universalgreenenergy.com/Fotovoltaiik_teknolojileri.html> Erişim Tarihi: 04.01.2015.
- [42] **Url-18** <<http://tr.aliexpress.com/item/6V-1W-flexible-solar-panel-amorphous-silicon-pv-module-with-ultrathin-appearance-very-durable/1402827779.html>> Erişim Tarihi: 18.01.2015.
- [43] **Url-19** <<http://www.cleantechinvestor.com/portal/solarpowercomment/10005-solar-buffett-backs-thin-film.html>> Erişim Tarihi: 18.01.2014.
- [44] **Url-20** <<http://ipsfzc.com/solarpower.html>> Erişim Tarihi: 25.02.2014.
- [45] **Url-21** <<http://gunam.metu.edu.tr/index.php/solar-technology/pv-cell-types>> Erişim Tarihi: 25.02.2014.
- [46] **Url-22** <<http://www.elektrikport.com/teknik-kutuphane/boya-ile-duyarli-hale-getirilmis-gunes-pilleri-nasil-calisir/9008#ad-image-3>> Erişim Tarihi: 26.02.2014.
- [47] **Avrutin, V., Izyumskaya, N., Morkoç, H.** (2014). Amorphous and micromorph Si solar cells: current status and Outlook, TUBİTAK, Turkish Journal of Physics, doi:10.3906/fiz-1406-14.
- [48] **Messenger, R.,Ventre, J.,** (2010). *Photovoltaic systems engineering* (3rd Edition), Boca Raton: Taylor & Francis.

- [49] **Url-23** <<http://www.aes-tunisie.com/en/photovoltaics-off-grid-activities.php>> Erişim Tarihi: 17.04.2014.
- [50] **Çalkoğlu, S., Özdemir, E., Uçar, M.** (2011). şebeke bağlantılı fotovoltaik elektrik üretim sistemlerinin güç kalitesine etkileri, IV. Enerji Verimliliği ve Kalitesi Sempozyumu, EMO Kocaeli şubesi, Kocaeli.
- [51] **Url-24** <<http://www.aes-tunisie.com/en/photovoltaics-grid-connection.php>> Erişim Tarihi: 20.05.2014.
- [52] **Url-25** <<http://www.mooseheadpowersystems.com/>> Erişim Tarihi: 20.05.2014.
- [53] **Mellit, A., Kalogirou, S.,** (2009). Artificial intelligence techniques for sizing photovoltaic systems: A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13-2, February, (pp. 406–419).
- [54] **Url-26** <<http://www.solarburada.com/Solar-Sulama-Sistemleri-Nasil-Calisir,DP-18.html>> Erişim Tarihi: 21.05.2014.
- [55] **NREL/DOE** (1994). Sunspace Basics , National Renewable Energy Laboratory, Colorado, November.
- [56] **Url-27** <<http://www.sapasolar.com/turkey/Fotovoltaik/Acteurs%20influent-.html>> Erişim Tarihi: 21.05.2014.
- [57] **Thomas, R., Fordham, M.,** (2001). Photovoltaics and Architecture, Spon Press, London and Newyork.
- [58] **Roberts, S., Guariento, N.** (2009). Building integrated photovoltaics / *a handbook*, Birkhauser Press, Berlin, Germany.
- [59] **Url-28** <http://www.energydesignresources.com/media/1756/EDR_DesignBriefs_integphotovoltaics.pdf> Erişim Tarihi: 03.05.2014.
- [60] **Kiss, G., Kinkead, J.,** (1993). Building Integrated Photovoltaics, National Renewable Energy Laboratory (NREL), Colorado.
- [61] **Turhan, S. ve Çetiner, İ.** (2012). Fotovoltaik Sistemlerde Performans Deđerlendirmesi, 6.Ulusal Çatı ve Cephe Sempozyumu, Uludađ Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakóltesi, Bursa.
- [62] **Prasad, D.K., Snow, M.** (2005). Designing With Solar Power , *A Source Book for Building Integrated Photovoltaics (BIPV)*, Australia, Images Publishing.
- [63] **şişman, A. ve Barutçu, B.** (2010). Fotovoltaik Güç Sistemleri Ders Notları, İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Enstitüsü, İstanbul.
- [64] **Url-29** < <http://www.solaredge.com/articles/pv-system-shading> > Erişim Tarihi: 25.09.2014.
- [65] **Url-30** < <http://pveducation.org/pvcdrom/solar-cell-operation/effect-of-temperature> > Erişim Tarihi: 25.09.2014.
- [66] **Url-31** < <http://www.rbgrant.co.uk/2kw-solar-pv-panel-system/> > Erişim Tarihi: 03.02.2015.
- [67] **Eilfert, P. ve Kiss, G. J.** (2000). Building Integrated Photovoltaic Design for Commercial and Institutional Structures, *A Source Book for Architects*, U.S. Department of Energy.

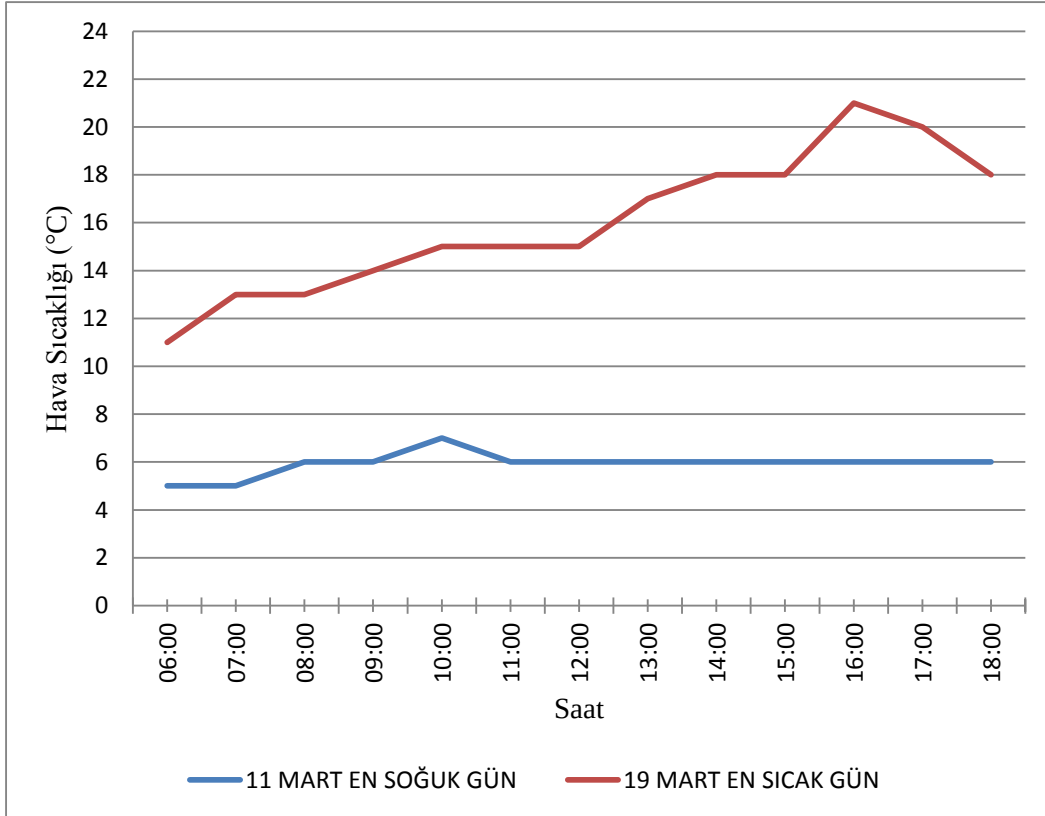
- [68] **Url-32** < <http://www.ipceagle.com/products/solar-panel-pure-water-cleaning-system#.VSYqdfmsWQo> > Erişim Tarihi: 05.01.2014.
- [69] **López, C.S.P., Frontini, F., Friesen, G., Friesen, T.** (2014). Experimental testing under real conditions of different solar building skins when using multifunctional BIPV systems, *Energy Procedia* 48, (pp. 1412 – 1418).
- [70] **Park, K.E., Kang, G.H. Kim, H.I., Yu, G.J., Kim, J.T.** (2010). ‘Analysis of thermal and electrical performance of semi-transparent photovoltaic (PV) module’, *Energy* 35, (pp. 2681 – 2687).
- [71] **Thorpe, D.** (2011). *Solar Technology*, Earthscan, Abingdon, Oxfordshire.
- [72] **Altın, M.** (2004). Yeni Yapı Malzemesi Fotovoltaik Paneller, Özellikleri Ve Tarihçesi, 2. Ulusal Yapı Malzemesi Kongresi ve Sergisi Bildiriler Kitabı, (s. 438-444).
- [73] **Url-33** < <http://www.segen.co.uk/SolarPV/Mounting> > Erişim Tarihi: 05.01.2015.
- [74] **Gemi, A. M.,**(2010). Çevre dostu çatılara örnek uygulamalı bir yaklaşım, 5. Ulusal Çatı & Cephe Sempozyumu, 15-16 Nisan, Buca, İzmir.
- [75] **Onduline Avrasya A.Ş.** (2009). “Enerji Üreten Çatılar” Broşürü.
- [76] **Url-34** < <http://www.livasolar.com/montajekipman.html> > Erişim Tarihi: 15.02.2015.
- [77] **Url-35** < <http://www.pvtaustria.at/portfolio-item/sonnenfassade/> > Erişim Tarihi: 05.03.2015.
- [78] **Url-36** < <http://www.greenprophet.com/2013/05/ertex-building-integrated-photovoltaic/> > Erişim Tarihi: 10.01.2015.
- [79] **Url-37** < <http://www.gehrlicher.com/tr> > Erişim Tarihi: 10.01.2015.
- [80] **Url-38** < <http://www.fosterandpartners.com/Data/Sustainability/City%20Hall-%20-%20Greater%20London%20Authority%20Headquarters.aspx> >, Erişim Tarihi: 10.01.2015.
- [81] **Url-39** < <http://www.re-systems.ee.unsw.edu.au/PV%20Details.htm> > Erişim Tarihi: 10.01.2015.
- [82] **Url-40** < <http://www.sunenergysite.eu/en/bipven.php> > Erişim Tarihi: 10.01.2015.
- [83] **Thomas, M., Post, H., ve DeBlasio, R.**(1999). *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, John Wiley & Sons, US.
- [84] **Url-41** < <http://www.solarpv.co.uk/solar-pv-facades.html> > Erişim Tarihi: 01.02.2015.
- [85] **Çelebi, G.** (2002). Bina Düşey Kabuğunda Fotovoltaik Panellerin Kullanım İlkeleri, Gazi Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Dergisi, 17- 3, (s. 17-33), Ankara.
- [86] **Url-42** .< <http://www.istanbuldahava.com/istanbul/sariyer> > Erişim Tarihi: 01.02.2015.
- [87] **Url-43** < <http://www.accuweather.com/tr> > Erişim Tarihi: 01.02.2015.

EKLER

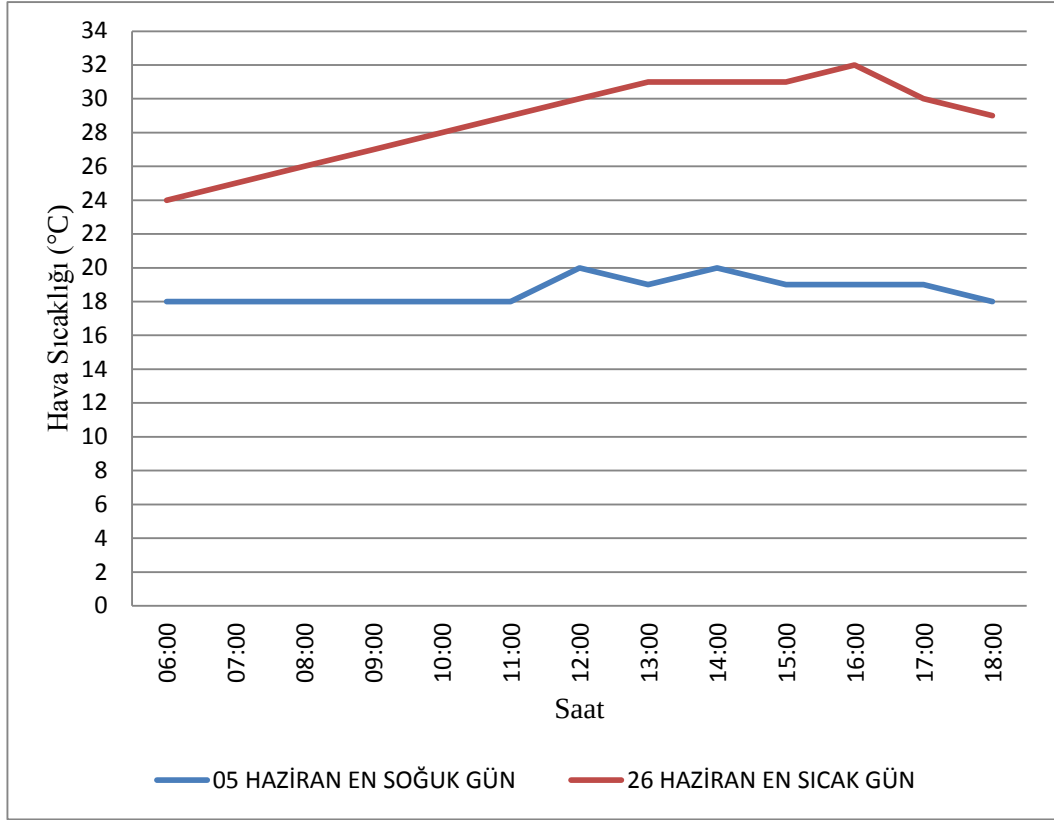
EK A: İstanbul Sarıyer Bölgesi için saatlik hava sıcaklığı değerleri [87].



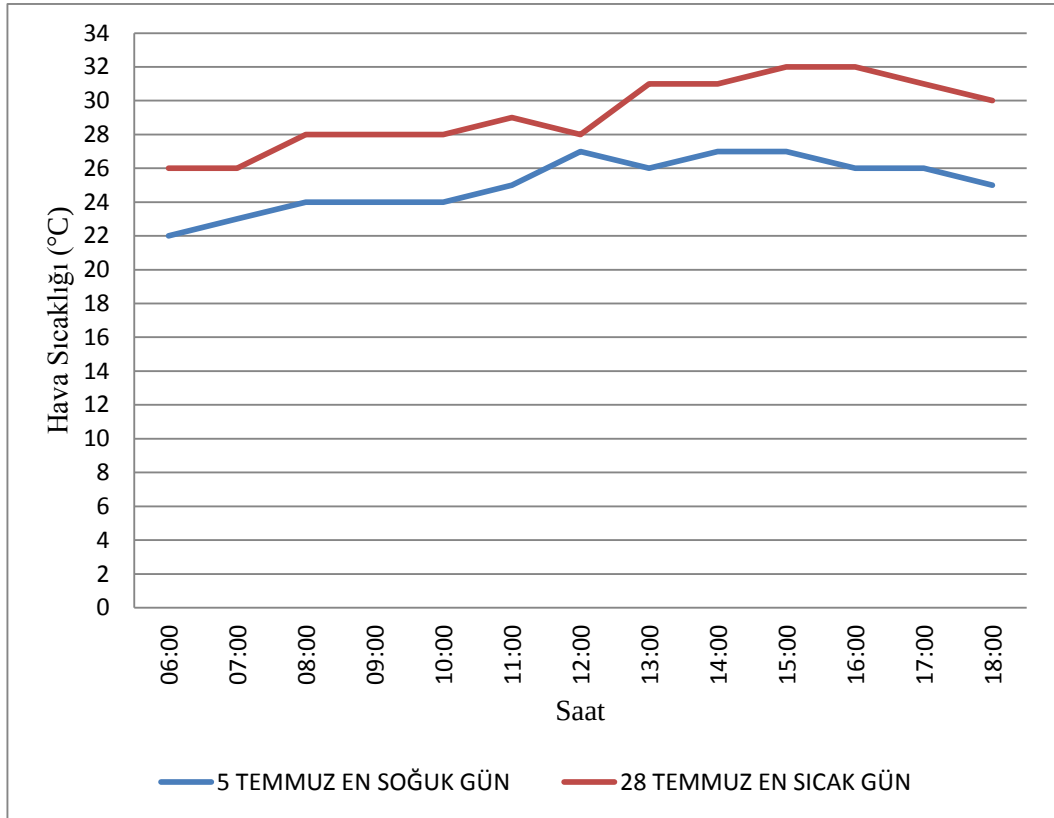
Şekil A.1 : Şubat ayının en soğuk ve en sıcak günlerindeki hava sıcaklığı değerleri.



Şekil A.2 : Mart ayının en soğuk ve en sıcak günlerindeki hava sıcaklığı değerleri.



Şekil A.3 : Haziran ayının en soğuk ve en sıcak günlerindeki hava sıcaklığı değerleri.



Şekil A.4 : Temmuz ayının en soğuk ve en sıcak günlerindeki hava sıcaklığı değerleri.

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad : Maral DEMİR
Doğum Yeri ve Tarihi : MERSİN / 13.01.1990
E-Posta : maralkisadur@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2011, T.C. Maltepe Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü.

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

02.2014-... : Maral Kısadur Mimarlık ve Mimari Danışmanlık
Faaliyetleri/ Mersin
09.2011-09.2012 : Gavrilof&Gavrilof Mimarlık/ İstanbul

TEZDEN TÜRETİLEN YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- **Kısadur, M., Cetiner, I.,** (2014). Investigating Energy Efficiency of Photovoltaic Panels Mounted on Exterior Walls, ICBEST 2014 Building for a changing world, International Conference on Building Envelope Systems and Technologies, Proceedings on USB Flash Disk, Aachen, Almanya, 09-12 June 2014.