

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TÜRKİYE’DE ENERJİ VERİMLİLİĞİ AÇISINDAN
PV SİSTEMLERİN PERFORMANSININ DEĞERLENDİRİLMESİNDE
KULLANILABİLECEK BİR YAKLAŞIM**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Ayşe Gül GEMİCİOĞLU**

Anabilim Dalı : Mimarlık

Programı : Çevre Kontrolü ve Yapı Teknolojisi

HAZİRAN 2011

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TÜRKİYE’DE ENERJİ VERİMLİLİĞİ AÇISINDAN
PV SİSTEMLERİN PERFORMANSININ DEĞERLENDİRİLMESİNDE
KULLANILABİLECEK BİR YAKLAŞIM**

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Ayşe Gül Gemicioğlu
(502081501)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 06 Mayıs 2011
Tezin Savunulduğu Tarih : 09 Haziran 2011

Tez Danışmanı : Öğr. Gör. Dr. Şule Filiz AKŞİT (İTÜ)
Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Gül Koçlar Oral (İTÜ)
Yrd. Doç. Dr. Rana Kutlu Güvenkaya (İKÜ)

HAZİRAN 2011

ÖNSÖZ

Bu çalışmada, Türkiye’de binalarda enerji verimliliği açısından güneş ışığını elektrik enerjisine dönüştüren PV sistemlerin binalarda kullanımına değinilerek bu sistemlerin performansı değerlendirilmiştir.

Yüksek lisans eğitimim süresince ve tez çalışmalarında yakın ilgi ve desteğini esirgemeyen değerli danışman hocam Öğr. Gör. Dr. Şule Filiz AKŞİT’e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Hayatım boyunca her anımda, bana güvenerek, her alanda destekleri ile yanımda olan, sevgili annem, babam ve abim Salise, İdiris ve Tuna Gemicioğlu’na ve her zaman yanımda olan tüm dostlarıma çok teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	v
KISALTMALAR.....	ix
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xi
ŞEKİL LİSTESİ.....	xiii
ÖZET.....	xvii
SUMMARY.....	xix
1. GİRİŞ.....	1
2. BİNALARDA ENERJİ VERİMLİLİĞİ VE GÜNEŞ ENERJİSİ	5
2.1 Binalarda Enerji Verimliliği	5
2.2 Binalarda Enerji Verimliliğinde Güneş Enerjisinin Önemi.....	10
2.2.1 Güneş enerjisi	11
2.2.2 Türkiye’ de güneş enerjisi potansiyeli.....	11
2.3 Binalarda Güneş Enerjisinden Yararlanmak İçin Kullanılan Sistemler	13
2.3.1 Pasif sistemler.....	13
2.3.2 Aktif sistemler	22
2.3.2.1 Güneş kolektörleri	22
2.3.2.2 PV sistemler (Fotovoltaik sistemler)	25
3. PV SİSTEMLER VE ÖZELLİKLERİ	27
3.1 PV Sistemler ve Güneş Hücreleri	27
3.1.1 PV hücrenin yapısı	29
3.1.2 PV modül üretimi	31
3.2 Güneş Hücreleri Türleri.....	32
3.2.1 Kristal silisyum güneş hücreleri	34
3.2.1.1 Monokristal yapılı güneş hücreleri	34
3.2.1.2 Polikristal yapılı güneş hücreleri	36
3.2.2 İnce film güneş hücreleri	36
3.2.2.1 Bakır indiyum diselenid güneş hücreleri	38
3.2.2.2 Kadmiyum tellürid güneş hücreleri	38
3.2.2.3 Amorf silisyum güneş hücreleri	38
3.2.3 Yeni nesil güneş hücreleri	39
3.2.4 Güneş hücrelerinin karşılaştırılması	42
3.3 PV Sistem Türleri	44
3.3.1 Şebekeden bağımsız sistemler	44
3.3.2 Şebekeye bağlı sistemler	47
3.3.3 Karma (hibrit) sistemler	48
3.4 PV Sistemlerin Binalarda Kullanımı	49
3.4.1 Binalarda kullanılan PV sistemlerin tasarımı	50
3.4.2 PV sistemlerin binalarda kullanım şekilleri	53
3.4.2.1 PV’lerin çatılarda kullanımı	53
3.4.2.2 PV’lerin cephelerde kullanımı	58

3.4.2.3 PV'lerin farklı bina bölümlerinde kullanımı	64
4. TÜRKİYE'DE ENERJİ VERİMLİLİĞİ AÇISINDAN PV SİSTEMLERİN PERFORMANSININ DEĞERLENDİRMESİNDE KULLANILABİLECEK BİR YAKLAŞIM	67
4.1 Pilot İllerin Belirlenmesi	67
4.1.1 İklim bölgelerinin belirlenmesi	67
4.1.2 Enlemlerin belirlenmesi	70
4.1.3 İklim bölgelerine ve enlemlere göre pilot illerin belirlenmesi	70
4.2 Pilot İllere Ait Verilerin Belirlenmesi	70
4.3 PV Sistem Özelliklerinin Belirlenmesi	70
4.3.1 PV panellerin belirlenmesi	70
4.3.2 İnvertörlerin (çevirici) belirlenmesi	71
4.3.3 PV sistemlerin uygulamasına yönelik kabullerin belirlenmesi	71
4.4 Seçilen Pilot İller İçin PV Sistemlerin Performanslarının Belirlenmesi	71
4.5 Seçilen Pilot İller İçin PV Sistemlerin Performanslarının Değerlendirilmesi.	71
5. YAKLAŞIMIN UYGULANMASI	73
5.1 Pilot İllerin Belirlenmesi	73
5.1.1 İklim bölgelerinin belirlenmesi	73
5.1.2 Enlemlerin belirlenmesi	75
5.1.3 İklim bölgelerine ve enlemlere göre pilot illerin belirlenmesi	76
5.2 Pilot İllere Ait Verilerin Belirlenmesi	77
5.3 PV Sistem Özelliklerinin Belirlenmesi	78
5.3.1 PV panellerin belirlenmesi	78
5.3.2 İnvertörlerin belirlenmesi	78
5.3.3 PV sistemlerin uygulamasına yönelik kabullerin belirlenmesi	80
5.4 Seçilen Pilot İller İçin PV Sistemlerin Performanslarının Belirlenmesi	80
5.5 Seçilen Pilot İller İçin PV Sistemlerin Performanslarının Değerlendirilmesi..	82
5.5.1 Farklı iklim bölgelerindeki PV sistemlerin ürettikleri enerji miktarlarına göre değerlendirilmesi	82
5.5.2 Aynı enlemlerde yeralan farklı iklim bölgelerinin PV sistemlerin ürettikleri enerji miktarına göre	94
5.5.3 Aynı iklim bölgesinde yeralan farklı enlemlerin PV sistemlerin ürettikleri enerji miktarlarına göre değerlendirilmesi	98
6. SONUÇ ve ÖNERİLER	103
KAYNAKLAR	105
EKLER	109

KISALTMALAR

m-Si	: Monokristal Güneş Hücresi
p-Si	: Polikristal Güneş Hücresi
CIS	: Bakır İndiyum Diselenid Güneş Hücresi
CdTe	: Kadmiyum Tellürid Güneş Hücresi
a-Si	: Amorf Silisyum Güneş Hücresi
S	: Soğuk İklim Bölgesi
I-N	: Ilımlı Nemli İklim Bölgesi
I-K	: Ilımlı Kuru İklim Bölgesi
S-N	: Sıcak Nemli İklim Bölgesi
S-K	: Sıcak Kuru İklim Bölgesi

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Binalarda güneş enerjisinden yararlanmak için kullanılan sistemler ...	13
Çizelge 3.1 : PV hücre yarı iletken malzemeleri [29]	31
Çizelge 3.2 : Güneş hücreleri türleri.....	33
Çizelge 3.3 : PV hücrelerin verimlilikleri ve 1 kWp için gerektirdiği alan [28]	42
Çizelge 3.4 : PV güneş hücrelerinin oluşum enerjileri [41]	44
Çizelge 3.5 : PV sistemlerin binalarda kullanımı	53
Çizelge 3.6 : PV'lerin çatılarda kullanımı [2]	54
Çizelge 3.7 : PV'lerin cephelerde kullanımı.....	59
Çizelge 4.1 : Yaklaşımın adımları	68
Çizelge 5.1 : Pilot illerin enlemleri, ölçümün yapıldığı rakım ve optimum eğim açısı değerleri.....	77
Çizelge 5.2 : Pilot illerin yatay düzleme gelen aylık ortalama güneş ışıınımı değerleri (kWh/m ² .gün)	79
Çizelge 5.3 : Pilot illerin uzun yıllar içinde gerçekleşen aylık ortalama hava sıcaklığı değerleri (°C)	79
Çizelge 5.4 : Seçilen panellerin özellikleri	80

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1	: Türkiye'nin toplam güneş enerjisi potansiyelinin aylara göre dağılımı	12
Şekil 2.2	: Türkiye'nin yıllık toplam güneş enerjisi potansiyelinin bölgelere göre dağılımı	12
Şekil 2.3	: Dünya yıllık güneş enerjisi kazancı (kWh/m ² .yıl)	12
Şekil 2.4	: Direkt kazanım sistemi ısıtmanın istendiği dönem çalışma prensibi	14
Şekil 2.5	: Direkt kazanım sistemi ısıtmanın istenmediği dönem çalışma prensibi	14
Şekil 2.6	: Trombe duvar ısıtmanın istendiği dönem çalışma prensibi	16
Şekil 2.7	: Trombe duvar ısıtmanın istenmediği dönem çalışma prensibi	16
Şekil 2.8	: Bidon duvar sistemleri	17
Şekil 2.9	: Çatı havuzu sistemleri	17
Şekil 2.10	: Seraların ısıtmanın istendiği dönem çalışma prensibi	19
Şekil 2.11	: Seraların ısıtmanın istenmediği dönem çalışma prensibi	19
Şekil 2.12	: Termosifon sistemlerin çalışma prensibi	21
Şekil 2.13	: Kullanım suyu ısıtması sağlayan güneş enerjisi sistem şeması	22
Şekil 2.14	: Kullanım suyu ısıtması ve ısıtma desteği sağlayan güneş enerjisi sistem şeması	23
Şekil 3.1	: PV sistemlerde kullanılan hücre, modül, panel ve dizi	28
Şekil 3.2	: Güneş hücresi kesiti	28
Şekil 3.3	: PV hücrenin çalışması	29
Şekil 3.4	: PV hücrenin yapısı	30
Şekil 3.5	: PV modül üretimi	32
Şekil 3.6	: Kristal silisyum yapıli hücre katmanları	34
Şekil 3.7	: Monokristal silisyum güneş pili yapısı	35
Şekil 3.8	: Monokristal silisyum güneş hücresi	35
Şekil 3.9	: Polikristal silisyum güneş hücresi ve renkleri	36
Şekil 3.10	: İnce film güneş hücresi yapısı	37
Şekil 3.11	: Amorf silisyum güneş hücresi yapısı	39
Şekil 3.12	: Gratzel titanyum dioksit güneş hücresi	41
Şekil 3.13	: PV güneş hücreleri ve pazar payı oranları	43
Şekil 3.14	: Şebekeye bağıli ve şebekeden bağımsız sistemlerin yıllara göre uygulanma yüzdeleri	44
Şekil 3.15	: Şebekeden bağımsız bir konutun enerji üretim tüketim grafiğı	45
Şekil 3.16	: Şebekeden bağımsız PV sistem şeması	46
Şekil 3.17	: Şebekeye bağıli bir konutun tipik enerji üretim tüketim grafiğı	47
Şekil 3.18	: Şebekeye bağıli PV sistem şeması	47
Şekil 3.19	: Karma PV sistem şemaları	49
Şekil 3.20	: Çatıya entegre PV sistemlerin havalandırılması	53
Şekil 3.21	: PV'lerin düz çatıda kullanımı	55
Şekil 3.22	: Çatı örtüsü üzerine ek bir strüktür ile PV kullanımı	56
Şekil 3.23	: Çatı örtüsü ile bütünleştirilmiş PV kullanımı	56

Şekil 3.24 : Çatıda şingil PV kullanımı	57
Şekil 3.25 : Şet çatıda PV kullanımı	57
Şekil 3.26 : Eğrisel çatıda PV kullanımı	58
Şekil 3.27 : Atriumda PV kullanımı, İngiltere	58
Şekil 3.28 : PV perde duvar sistem detayı	60
Şekil 3.29 : PV'lerin perde duvarda kullanımı, İngiltere	61
Şekil 3.30 : Kapaklı PV giydirme cephe sistem detayı	61
Şekil 3.31 : Strüktürel silikonlu PV giydirme cephe sistem detayı	62
Şekil 3.32 : PV sistemlerin giydirme cephe olarak kullanımı	62
Şekil 3.33 : Sabit PV gölgeleme elemanı detayı	63
Şekil 3.34 : PV'lerin sabit gölgeleme elemanı olarak kullanımı, Muğla	63
Şekil 3.35 : Hareketli PV gölgeleme elemanı detayı	64
Şekil 3.36 : PV'lerin hareketli gölgeleme elemanı olarak kullanımı	64
Şekil 3.37 : PV'lerin verandalarda kullanımı, Avustralya	65
Şekil 3.38 : PV'lerin güneş kepenklerinde kullanımı, Almanya	65
Şekil 3.39 : PV'lerin saçaklarda kullanımı, İspanya	65
Şekil 3.40 : PV'lerin bina korkuluğunda kullanılması, Finlandiya	65
Şekil 5.1 : Türkiye iklim bölgeleri haritası	73
Şekil 5.2 : Türkiye enlem haritası	75
Şekil 5.3 : Seçilen pilot illerin haritası	76
Şekil 5.4 : PVSYST 5.21 programının bilgisayar ortamındaki görünümü	81
Şekil 5.5 : Bolu ilinde farklı PV sistemlerden üretilen yıllık enerji miktarı	83
Şekil 5.6 : Erzurum ilinde farklı PV sistemlerden üretilen yıllık enerji miktarı	83
Şekil 5.7 : Bingöl ilinde farklı PV sistemlerden üretilen yıllık enerji miktarı	83
Şekil 5.8 : Van ilinde farklı PV sistemlerden üretilen yıllık enerji miktarı	84
Şekil 5.9 : İstanbul ilinde farklı PV sistemlerden üretilen yıllık enerji miktarı	84
Şekil 5.10 : Çanakkale ilinde farklı PV sistemlerden üretilen yıllık enerji miktarı	85
Şekil 5.11 : Çankırı ilinde farklı PV sistemlerden üretilen yıllık enerji miktarı	85
Şekil 5.12 : Ankara ilinde farklı PV sistemlerden üretilen yıllık enerji miktarı	86
Şekil 5.13 : Kayseri ilinde farklı PV sistemlerden üretilen yıllık enerji miktarı	86
Şekil 5.14 : Konya ilinde farklı PV sistemlerden üretilen yıllık enerji miktarı	86
Şekil 5.15 : Karaman ilinde farklı PV sistemlerden üretilen yıllık enerji miktarı	87
Şekil 5.16 : Manisa ilinde farklı PV sistemlerden üretilen yıllık enerji miktarı	87
Şekil 5.17 : İzmir ilinde farklı PV sistemlerden üretilen yıllık enerji miktarı	88
Şekil 5.18 : Adana ilinde farklı PV sistemlerden üretilen yıllık enerji miktarı	88
Şekil 5.19 : Diyarbakır ilinde farklı PV sistemlerden üretilen yıllık enerji miktarı	89
Şekil 5.20 : Gaziantep ilinde farklı PV sistemlerden üretilen yıllık enerji miktarı	89
Şekil 5.21 : Soğuk iklim bölgesi PV sistem verimleri	90
Şekil 5.22 : Ilımlı nemli iklim bölgesi PV sistem verimleri	91
Şekil 5.23 : Ilımlı kuru iklim bölgesi PV sistem verimleri	91
Şekil 5.24 : Sıcak nemli iklim bölgesi PV sistem verimleri	92
Şekil 5.25 : Sıcak kuru iklim bölgesi PV sistem verimleri	93
Şekil 5.26 : 41°N enlemindeki farklı iklim bölgelerinde PV sistemlerin ürettikleri enerji miktarı	94
Şekil 5.27 : 40°N enlemindeki farklı iklim bölgelerinde PV sistemlerin ürettikleri enerji miktarı	95
Şekil 5.28 : 39°N enlemindeki farklı iklim bölgelerinde PV sistemlerin ürettikleri enerji miktarı	96
Şekil 5.29 : 38°N enlemindeki farklı iklim bölgelerinde PV sistemlerin ürettikleri enerji miktarı	96

Şekil 5.30 :	37°N enlemindeki iklim bölgelerinin karşılaştırılması	97
Şekil 5.31 :	Soğuk iklim bölgesindeki farklı enlemlerde PV sistemlerin ürettikleri enerji miktarı.....	98
Şekil 5.32 :	Ilımlı nemli iklim bölgesindeki farklı enlemlerde PV sistemlerin ürettikleri enerji miktarı	99
Şekil 5.33 :	Ilımlı kuru iklim bölgesindeki farklı enlemlerde PV sistemlerin ürettikleri enerji miktarı	100
Şekil 5.34 :	Sıcak nemli iklim bölgesindeki farklı enlemlerde PV sistemlerin ürettikleri enerji miktarı	100
Şekil 5.35 :	Sıcak kuru iklim bölgesinin enlemlere göre performansı	101

TÜRKİYE’DE BİNALARDA ENERJİ VERİMLİLİĞİ AÇISINDAN PV SİSTEMLERİN PERFORMANSININ DEĞERLENDİRİLMESİNDE KULLANILABİLECEK BİR YAKLAŞIM

ÖZET

Bu tez çalışmasında, binalarda enerji verimliliği açısından büyük önem taşıyan güneş enerjisinden yararlanmada kullanılan PV sistemlerin, Türkiye’nin farklı iklim bölgelerindeki performanslarının değerlendirilmesinde kullanılabilecek bir yaklaşım geliştirilmesi amaçlanmıştır.

Çalışma 6 bölümden oluşmaktadır.

Birinci bölümde, enerjinin önemine değinilerek, yenilenebilir enerji kaynaklarından güneş enerjisinin ve PV sistemlerin Türkiye için büyük bir potansiyel olduğu vurgulanmıştır.

İkinci bölümde, binalarda enerji verimliliği açısından güneş enerjisinin önemine ve Türkiye’deki güneş enerjisi potansiyeline değinilerek, binalarda güneş enerjisinden yararlanmada kullanılan pasif ve aktif sistemler anlatılmaktadır.

Üçüncü bölümde, PV sistemler ve güneş hücreleri hakkında bilgi verilerek, binalarda PV sistemlerin çatılarda, cephelerde ve diğer bina bölümlerinde kullanımı örneklerle açıklanmıştır.

Dördüncü bölümde, Türkiye’de binalarda enerji verimliliği açısından PV sistemlerin performansının değerlendirilmesinde kullanılabilecek bir yaklaşım geliştirilmiştir.

Beşinci bölümde, yaklaşım Türkiye’deki farklı iklim bölgelerinin pilot illerinde oluşturulan PV sistemler üzerinde uygulanmıştır. PV sistemler yıllık üretilen enerji miktarlarına, verimliliğine göre değerlendirilmiş, farklı iklim bölgelerinin ve farklı enlemlerin PV sistem performansı üzerindeki etkisi karşılaştırılmıştır.

Son bölümde ise, tez çalışması kapsamında geliştirilen yaklaşıma ait sonuç ve öneriler yer almaktadır.

AN APPROACH TO USE EVALUATING PV SYSTEM PERFORMANCE IN POINT OF ENERGY EFFICIENCY ON THE BUILDINGS IN TURKEY

SUMMARY

The aim of this study is to develop an approach that evaluates the performance of PV systems, used for utilization from solar energy have a great importance from the point of energy efficiency on building in Turkey's different climatic regions.

The study consists of 6 chapter.

In the first chapter, the importance of energy is mentioned, solar energy and photovoltaic systems are emphasized as a great potential for Turkey.

In the second chapter, touch on the importance of solar energy and solar energy potential in Turkey from the point of energy efficiency on buildings, passive and active systems which are used in buildings for utilization of solar energy are explained.

In the third chapter, the information about photovoltaic systems and solar cells are given and photovoltaic systems used in buildings on roofs, facades and other building parts are explained with examples.

In the fourth chapter, an approach which can be use in evaluating the photovoltaic systems performance is developed.

In the fifth chapter, the approach is investigated on the photovoltaic systems which are created in representational countries of different climatic regions in Turkey. PV systems are evaluated according to the annual amount of energy and the efficiency and different climatic zones and different latitudes impact on PV system performance are compared.

In the last chapter, result and suggestions of approach developed within the scope of the thesis study are given.

1. GİRİŞ

Dünyada nüfus artışına, sanayileşmeye ve teknolojik gelişmelere paralel olarak enerji tüketimi de hızla artmakta ve yenilenemeyen enerji kaynaklarının mevcut durumları giderek azalmaktadır. Dünya, bilinen fosil yakıt kaynaklarının % 0,1 kadarını bile kullanıyor olsa, hesaplar sonucu elde edilen kullanma değerleri ile karşılaştırıldığında, bilinen tüm kaynakların 100 yıldan daha az sürede tükenmesi beklenmektedir [1].

Sanayi devrimiyle birlikte büyük ivme kazanmış olan fosil kaynaklı enerji kullanımı, çevreye yaydığı sera gazı ile dünyayı tehdit eden iklim değişikliğine neden olmuştur. Son yıllarda yapılan ölçümler, iklim değişikliğinin ve buna bağlı olarak “Küresel Isınmanın” giderek arttığını kanıtlamaktadır. Ülkemizde yapılan ölçümlerde de, iklim değişikliğinin bütün dünyayı olduğu gibi, Türkiye’yi de etkisi altına almaya başladığını göstermektedir.

İklim değişikliği, küresel ısınmanın artışı ile birlikte, dünyadaki yaşamı ilgilendiren hemen bütün alanları olumsuz etkilemektedir. Bu olumsuzluklar; iklimde görülen dengesizlikler; kutuplarda ve dağlarda buzulların erimesi, denizlerin yükselmesi, doğal afetlerin, aşırı ısınma ve soğumaların, sellerin, kuraklıkların artışı, biyo çeşitliliğin azalması vb şekillerde görülmektedir. İklimdeki bu dengesizlik, bugüne kadar alışık olunmayan yeni durumların ortaya çıkmasına neden olmuş ve dünyadaki yaşamı tehdit etmeye başlamıştır.

Bir yandan enerjiyle ilgili olarak ortaya çıkan ozon tabakasındaki incelme, sera gazı emisyonlarının insan yaşamını tehdit eder boyutlara ulaşması gibi sorunlar, diğer yandan dünyadaki doğal enerji kaynaklarının (özellikle fosil yakıtların) hızla tükenmesi gibi riskler hem devletleri, hem de insanlık adına düşünme sorumluluğunda olan bilim adamlarını ve aydınları enerji konusuna daha çok yoğunlaşmaya ve bu alan üzerinde daha çok araştırma yapmaya sevk etmektedir. Bütün dünyada ülkelerin enerji konusuyla ilgili birimleri, karar vericileri ve üst yöneticileri güvenli, çevre standartlarını dikkate alan ve riski en aza indirmiş enerji politikaları üretmek için çalışmaktadırlar.

Enerji, özellikle 20.yüzyılın başlarından itibaren ülkelerin rekabet üstünlüğü sağlamada yarandıkları en önemli unsurlardan biri olmuştur. Günümüzde, dünyadaki teknolojik yenilikler, uluslararası sınırların geçirgenliğinin artması, sermaye hareketleri için sınırların hemen hemen kalkması ve iletişim alanındaki büyük gelişmeler hem dünyadaki enerji kullanımının miktar ve hızını artırmış, hem de enerjiyi üzerinde durulması gereken en önemli sorunlardan birisi haline getirmiştir. Global ölçekte önemli sorun yaratan CO2 salımına yol açan ve hızla tükenen fosil yakıtların yerine bir yandan alternatif enerji kaynakları aranırken, diğer yandan mevcut kaynakların etkin biçimde değerlendirilmesi gündeme gelmekte ve enerji tüketiminin konforu etkilemeden düşürülmesi yönünde eğilimler oluşmaktadır. Bu eğilimler genel olarak enerji verimliliği başlığı altında değerlendirilmektedir.

Günümüzde çevresel sorunlara yol açan enerji tüketiminin önemli bir bölümü binalarda olmaktadır. Enerji tüketimlerinin sınırlandırılması binalarda enerji verimliliğinin sağlanması ile gerçekleştirilebilir. Günümüzdeki çevre ve enerji sorunları göz önünde bulundurulduğunda binalarda enerji verimliliği sağlamada etkili bir yol yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanmaktır. Bunun sonucunda, yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanarak enerji verimini arttıran ve enerji tasarrufu sağlayan enerji etkin tasarıma yönelme yaklaşımları önem kazanmaktadır.

Binaların enerji etkin olarak tasarlanması ülkemizde de ele alınması gerekli olan konuların başında gelmektedir. Enerji giderlerinin önemli bir bölümünün bina sektöründe gerçekleştirildiği ülkemizde, binalarda enerji verimliliği çözüm geliştirilmesi gereken en önemli konulardan biridir. Avrupa Birliğine katılmayı hedefleyen ülkemiz, teknolojik ve sosyo-ekonomik açıdan gelişmiş ülkelerin seviyesine ulaşmak için yoğun bir çaba harcamakta, bu çabada en önemli engellerden biri de enerji tüketimindeki açık olmaktadır [2]. Bu açığın kapanmasında, tükenmeyen, dışa bağımlı olmayan, bedava olan ve çevreyi kirletmeyen yenilenebilir enerjiye yönelmek ülke geleceği açısından büyük önem taşımaktadır.

Yenilenebilir enerji kaynağı olarak ilk akla gelen güneş enerjisidir. Dünyadaki tüm enerjilerinin de kaynağı olan ve her yerde bol ve yaygın olarak bulunan güneş enerjisi en önemli yenilenebilir enerji kaynaklarından biridir. Türkiye, coğrafi konumu nedeniyle çok büyük bir güneş enerjisi potansiyeline sahiptir. Bu nedenle, Türkiye'nin güneş enerjisine yönelmesi, ülkenin geleceği açısından büyük önem taşımaktadır.

Bu tez çalışmasında, binalarda güneş enerjisinden yararlanmada kullanılan sistemlere değinilerek, bu sistemlerden güneş ışığını elektrik enerjisine çeviren PV sistemler detaylı bir şekilde incelenmiştir. Dünyada kullanılan güneş enerjisi sistemlerinden en umut verici olan PV sistemlerin, Türkiye’de binalarda enerji verimliliği açısından performansının değerlendirilmesinde kullanılabilecek bir yaklaşım geliştirmek hedeflenmiştir.

2. BİNALARDA ENERJİ VERİMLİLİĞİ VE GÜNEŞ ENERJİSİ

Enerji verimliliği, 1973’de patlak veren enerji krizi ile gündeme gelmiştir. O dönemde fosil kökenli enerji kaynaklarının sınırlı olduğu, üretim ve iletiminde sorunların yaşanabileceği anlaşılmıştır. Bu dönemlerde başlayan yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelim, küresel ısınma ve iklim değişikliği gibi çevresel sorunların gündeme gelmesiyle daha da önem kazanmıştır.

Güneş enerjisi, alternatif enerji arayışları içerisinde en çok araştırılan ve geliştirilen enerji kaynaklarından biri olmuştur. Güneş enerjisinden yararlanma konusundaki çalışmalar sonucu, güneş enerjisi sistemleri teknolojik olarak ilerleme ve maliyet bakımından düşme göstermiş, güneş enerjisi çevresel olarak temiz bir enerji kaynağı olarak kendini kabul ettirmiştir.

2.1 Binalarda Enerji Verimliliği

Enerji verimliliği, tüketilen enerji miktarının, üretimdeki miktar ve kaliteyi düşürmeden iktisadi kalkınmayı ve sosyal refahı engellemeden en aza indirilmesi biçiminde ifade edilmiştir. Enerji verimliliğinde en önemli faktör enerji tasarrufudur. Genel olarak az enerji tüketmek olarak anlaşılan enerji tasarrufu; enerji atıklarının değerlendirilmesi, enerji kayıplarının önlenmesi yoluyla enerji tüketimini en aza indirmektir [3].

Türkiye’de enerjinin etkin kullanılması, israfın önlenmesi, enerji maliyetlerinin ekonomi üzerindeki yükünün hafifletilmesi ve çevrenin korunması için enerji kaynaklarının ve enerjinin kullanımında verimliliğin artırılması amacıyla 18.04.2007 tarihinde “Enerji Verimliliği Kanunu” çıkarılmıştır. Enerji Verimliliği Kanunu’nda yer alan tanım şöyledir: “Enerji verimliliği: Binalarda yaşam standardı ve hizmet kalitesinin, endüstriyel işletmelerde ise üretim kalitesi ve miktarının düşüşüne yol açmadan enerji tüketiminin azaltılmasını tanımlar” [4].

TBMM’de 18 Nisan 2007 tarihinde kabul edilen bu kanunun amacı; enerjinin etkin kullanılarak israfın önlenmesi, enerji maliyetlerinin ekonomi üzerindeki yükünün

hafifletilmesi ve çevrenin korunması için enerji kaynaklarının ve enerji verimliliğinin artırılmasıdır.

Binalarda enerji verimliliğinin artırılması ve desteklenmesi, toplum genelinde enerji bilincinin geliştirilmesi, yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanılmasına yönelik uygulanacak usul ve esaslar bu kanunun kapsamı dahilindedir. Kanun içerisinde mimarlığı yakından ilgilendiren maddeler aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Toplam inşaat alanı en az yirmi bin metrekare veya yıllık enerji tüketimi beş yüz Ton Eşdeğer Petrol ve üzeri olan ticari binaların, hizmet binalarının ve kamu kesimi binalarının yönetimleri, yönetimlerin bulunmadığı hallerde bina sahipleri, enerji yöneticisi görevlendirir veya enerji yöneticilerinden hizmet alır.
- Merkezi ısıtma sistemine sahip binalarda, merkezi veya lokal ısı veya sıcaklık kontrol cihazları ile ısınma maliyetlerinin ısı kullanım miktarına bağlı olarak paylaşımını sağlayan sistemler kullanılır.
- Toplam inşaat alanı yönetmelikte belirlenen mesken amaçlı kullanılan binalarda, ticari binalarda ve hizmet binalarında uygulanmak üzere mimari tasarım, ısıtma, soğutma, ısı yalıtımı, sıcak su, elektrik tesisatı ve aydınlatma konularındaki normları, standartları, asgari performans kriterlerini, bilgi toplama ve kontrol prosedürlerini kapsayan binalarda enerji performansına ilişkin usûl ve esaslar, Türk Standartları Enstitüsü ve Genel Müdürlük ile müstareken hazırlanarak Bayındırlık ve İskan Bakanlığı tarafından yürürlüğe konulacak bir yönetmelikle düzenlenir” [4].

Kanunda bina sektörü konutlar ve ticari binalar olarak ayrı ayrı ele alınmıştır. Ticari binalar için inşaat alanı veya enerji tüketimleri temelinde sınıflandırma yapılırken, konutlar için sınıflandırma, ilgili yönetmeliğe bırakılmıştır. Kanun kapsamında bina sektörü için ilgili yönetmeliklerin ilgili kurum ve kuruluşlar tarafından hazırlanması planlanmıştır. Bunlardan bazıları;

- Enerji yöneticileri ve enerji yönetimi birimleri ile ilgili yönetmelik,
- Binalarda enerji performansı ile ilgili uygulamaları içeren yönetmelik ve
- Enerji kimlik belgesi uygulamasını kapsayan yönetmelik olarak ele alınmıştır.

Enerji verimliliğini artırmaya yönelik olarak binalarda, ulaştırma, sanayi ve elektrik ve enerji üretimi sektörlerinde çalışmalar yapılmaktadır. Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) üyesi ülkelerde nihai enerjinin yaklaşık olarak üçte biri (1/3) konut ve ticari

binalarda tüketilmektedir [5]. Enerji talebinin % 70'ini ithalatla karşılayan Türkiye'de sadece enerjiyi verimli kullanarak yıllık nihai enerji tüketiminin %30'u kadar tasarruf sağlanacağı ifade edilmektedir [6].

Binalarda enerji verimliliğinin sağlanmasında mimari açıdan en etkili yol, başlangıç aşamasında binaların enerji etkin pasif sistemler olarak tasarlanmasıdır. Binaların yüklendiği başlıca işlevler arasında pasif iklimlendirme işlevine değinmek olanaklıdır. Bu tür işlevi yüklenmelerinden ötürü binalar pasif iklimlendirme sistemleri olma niteliklerini de kazanmaktadırlar. Sözü edilen işlevi optimal düzeyde yerine getiren binalar iklim kontrolünde optimal performans gösterirler. Dolayısıyla, istenen iç iklimsel koşulları, yapma ısıtma ve soğutma sistemlerine minimum düzeyde takviye edici görev yüklenmesiyle gerçekleştirirler. Yapma ısıtma ve soğutma sistemlerine minimum düzeyde görev yüklenmesiyle, enerji kaynaklarının kullanımının ve enerji harcamalarının minimuma indirgeneceği açıktır. Bu tür enerji tüketimini minimum düzeye indirmek, binaları iklim kontrolünde optimal performans gösteren enerji etkin sistemler olarak tasarlamakla olanaklıdır.

Bina dışı çevredeki iklim elemanlarının etkilerine bağlı olarak herhangi bir binanın içersinde iklimsel konforun ek yapma enerji sistemlerine en az gereksinme duyularak gerçekleştirilebilmesi için, mimarın denetiminde olan tasarım değişkenlerinin, uygun değerlere sahip olmaları gerekmektedir. Bu değişkenler aşağıda ele alınmıştır.

- Binanın bulunduğu yer
- Bina aralıkları
- Binanın yönlendiriliş durumu ve hacim organizasyonu
- Bina formu
- Bina kabuğu optik ve termofiziksel özellikleri
- Güneş kontrolü ve doğal havalandırma

Binanın bulunduğu yer; gerek hava akımlarının gerek güneş ışınlamalarının bina üzerindeki etkisi açısından önemli bir tasarım değişkenidir. Bu değişken, yerey parçasının baktığı yön, yerey parçasının eğimi, yerey parçasının konumu, yerey parçasının örtüsü gibi alt değişkenlerin bütünüdür. Bu değişkenlere ilişkin uygun değerler yörelerde geçerli olan iklimsel koşullar ve insanın iklimsel ihtiyaçlarına bağlı olarak belirlenirler ve yerleşmeler için en uygun olan bölgeleri tanımlarlar.

Bina aralıkları; binanın konumlandırılış durumu, diğer binalar ve engeller ile arasındaki mesafe, binayı etkileyen güneş ışınlamı miktarını ve bina etrafındaki hava akışı hızını ve tipini belirleyen en önemli tasarım değişkenlerinden biridir. Bu nedenle güneş ışınlamının ısıtıcı etkisinden pasif ısıtma ve iklimlendirmede yararlanma veya kaçınma, binalar arasındaki açık mekanların ölçülerinin bir fonksiyonudur. Binalar arasındaki uzaklıklar, binaların birbirlerinin güneş ışınlamı kazançlarını ve yararlı rüzgar etkilerini engellemeyecek şekilde belirlenmelidir.

Binanın yönlendiriliş durumu ve hacim organizasyonu; cephelerin doğrudan güneş ışınlamından yararlanma oranını, dolayısıyla toplam güneş enerjisinden kazancını etkileyen en önemli tasarım değişkenlerinden birisidir. Bunun yanı sıra binaların yönü rüzgâr alma durumunu, dolayısıyla doğal havalandırma olanağını ve binanın taşınım ve hava sızıntısı ile ısı kaybı miktarını da etkiler. O nedenle binanın bulunduğu iklim bölgesinin ihtiyaçlarına göre binalar güneş ve rüzgardan gerektiğinde yararlanacak, gerektiğinde ise korunacak şekilde yönlendirilmeli ve hacim organizasyonu yönlendirme kriterine göre yapılmalıdır.

Bina formu; diğer tasarım değişkenleri gibi binanın çevresel etkenlerden yararlanma veya korunma düzeyini, dolayısıyla enerji performansını belirleyen önemli bir değişkendir. O nedenle, farklı iklimsel karakterlere sahip yörelerde enerji etkin tasarımda formun önem kazandığı geleneksel mimari tasarım örneklerinde belirgin olarak görülebilir. Soğuk iklim bölgelerinde enerji kaybeden yüzeylerin alanını minimize etmek üzere kompakt formlar, sıcak kuru iklim bölgelerinde ısı kazançlarını minimize etmek, gölgeli ve serin yaşama alanları elde etmek açısından kompakt ve avlulu formlar, sıcak nemli iklim bölgesinde karşılıklı havalandırmaya maksimum düzeyde olanak sağlayan hakim rüzgar doğrultusuna uzun cephesi yönlendirilmiş ince uzun formlar ve ılımlı iklim bölgelerinde mümkün olduğunca kompakt ama soğuk iklim bölgesine göre daha esnek bina formları enerji etkin tasarımda dikkat edilmesi gereken hususlar arasındadır.

Bina kabuğunun optik ve termofiziksel özellikleri; bina kabuğu iç ve dış çevreyi ayıran bina elemanlarını kapsamaktadır. Pasif ısıtma ve iklimlendirme işlevi açısından bina kabuğunun tanımı, kabuğun güneş ışınlamına ilişkin yutuculuk (a), geçirgenlik (τ), yansıtıcılık (r) gibi optik ve toplam ısı geçirme katsayısı (U), saydamlık oranı ($S.O.$), zaman geciktirmesi ve genlik küçültme faktörü gibi termofiziksel özellikleri ile yapılmaktadır. Bina kabuğu optik ve termofiziksel

özellikleri şöyle tanımlanabilir. Kabuğun güneş ışınımına ilişkin yutuculuk (a), geçirgenlik (τ) ve yansıtıcılık (r) gibi optik özellikleri arasındaki bağıntılar,

Opak bina yüzeyleri için,

$$a_o + r_o = 1$$

Saydam bina bileşenleri için,

$$a_c + r_c + \tau_c = 1 \text{ dir.}$$

Yutuculuk, geçirgenlik ve yansıtıcılık katsayıları, sırasıyla, bileşen tarafından yutulan, geçirilen ve yansıtılan güneş ışınımı miktarlarının bileşen dış yüzeyine gelen güneş ışınımına oranlarıdır [7].

Toplam ısı geçirme katsayısı bina kabuğunun gerek opak, gerekse saydam bileşenlerine ilişkin bir termofiziksel özelliktir ve farklı iki çevreyi ayıran bir bina bileşeninin iki tarafında etkili olan hava sıcaklıkları arasındaki fark 1 °C iken, 1 m² alandan, bu alana dik doğrultuda 1 saatte geçen toplam ısı miktarı olarak tanımlanmaktadır. Saydamlık oranı ise, saydam ve opak bina bileşenlerinden oluşmuş bina elemanlarına ilişkin bir özellik olup, saydam bileşen alanının, bina elemanı alanına oranıdır.

Bina bileşeninin dış yüzeyindeki güneş ışınımı, bileşenin optik özelliklerine bağlı olarak güneş ısısı kazancına dönüşür.

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

Zaman geciktirmesi, bileşenin dış yüzeyindeki maksimum sıcaklığın oluştuğu saat ile iç yüzeyinde maksimum sıcaklığın oluştuğu saat arasındaki zaman farkı olarak tanımlanabilir.

Genlik küçültme faktörü ise, bileşenin iç yüzeyindeki sıcaklık değişimi genliğinin, dış yüzeyindeki sıcaklık değişimi genliğine olan oranıdır, şeklinde tanımlanmaktadır.

Kabuk elemanının birim alanından yitirilen ve kazanılan ısı miktarları dolayısıyla iç iklim elemanları olan iç yüzey ve iç hava sıcaklıkları sözkonusu termofiziksel

özelliklere bağılı olarak değişim gösterirler. Termofiziksel özelliklerin uygun değerlerinin belirlenmesinde, yöne göre değişim gösteren güneş ışıını yegınlıklarına dayanıldığından, sözkonusu uygun değerlerin de yönlere bağılı olarak değişkenlik göstereceği açıktır.

Bina kabuğu yukarıda sıralanan özelliklerine bağılı olarak dış çevre koşullarını değiştirerek iç çevreye aktaran ve bu şekilde iç çevre koşullarının oluşumunda rol oynayan en önemli tasarım değişkenidir.

Güneş kontrolü ve doğal havalandırma, binanın güneş ışıını ve rüzgar gibi çevresel etkenlerden gerektiğinde yararlanabilmesi, gerektiğinde korunabilmesi için yukarıda sıralanan tasarım değişkenlerinin yanı sıra bina kabuğu üzerinde güneş kontrolü ve doğal havalandırma sistemlerine gereksinim duyulabilir. Binanın enerji giderlerini en az düzeyde tutabilmek için bu sistemlerin uygun yönlerde uygun biçim ve boyutlarda tasarlanmış olması gerekir.

Mimari açıdan öncelikle, yukarıda açıklanan tasarım değişkenleri için uygun değerler kombinasyonlarının sağlanarak aktif sistemlerin görev paylarının minimize edilmesini olanaklı kılan pasif sistemler tasarlanmalıdır. Ancak yılın belirli dönemlerinde dış iklimsel elemanlarının şiddetine bağılı olarak bina içinde istenilen konfor koşullarının sağlanmasında pasif sistemler yetersiz kalabilir. Bu dönemlerde aktif sistemlerin devreye girmesi zorunlu olabilmektedir.

Aktif sistemlerin enerji tüketen sistemler olduğundan, enerji verimliliğinin sağlanmasında aktif sistemlerin tükenmeyen temiz enerji kaynaklarından yararlanması sağlanmalıdır.

Güneş enerjisi, temiz ve tükenmeyen bir enerji kaynağı olarak ülkemiz için yakın bir gelecekte temel bir enerji kaynağı olacağı açıktır, bu nedenle öncelikle güneş enerjisinden yarar sağlayan sistemlerin irdelenmesi gereklidir. Güneş ışıını elektrik enerjisine çeviren ve mimari elemanlarla entegre edilebilen PV sistemlerin irdelenmesi bu açıdan önem taşımaktadır [8].

2.2 Binalarda Enerji Verimliliğinde Güneş Enerjisinin Önemi

Türkiye’de binalarda enerji verimliliği konusundaki gelişmeler temiz ve tükenmeyen bir enerji kaynaklarının kullanımını zorunlu kılmaktadır. Bu nedenle ülkemiz

açısından önemli bir potansiyeli olduğu da düşünüldüğünde güneş enerjisine verilen önem giderek artmaktadır. Bu açıdan bu bölümde güneş enerjisi ve Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyeli konuları ele alınmıştır.

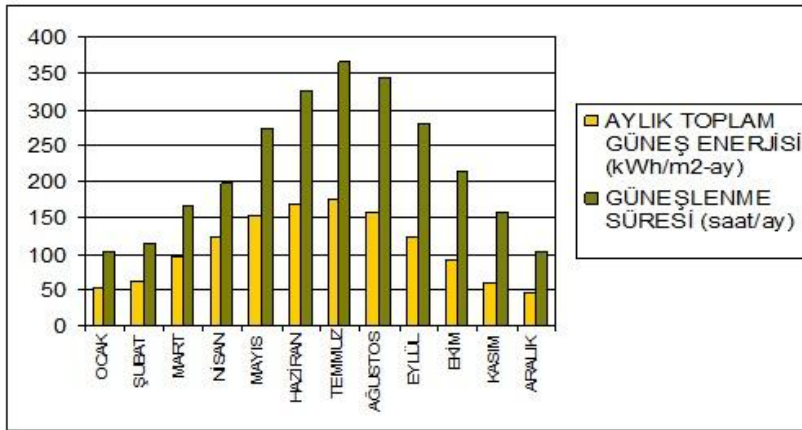
2.2.1 Güneş enerjisi

Dünyanın en önemli enerji kaynağı güneştir. Güneşin ısıtım enerjisi, yer ve atmosfer sistemindeki fiziksel oluşumları etkileyen başlıca enerji kaynağıdır [9]. Yeryüzüne her sene düşen güneş ısıtım enerjisi, yeryüzünde şimdiye kadar belirlenmiş olan fosil yakıt haznelerinin yaklaşık 160 katı kadardır [10]. Güneş enerjisi çevre açısından temiz ve tükenmeyen bir kaynak özelliği taşıdığından da fosil yakıtlara alternatif olmaktadır.

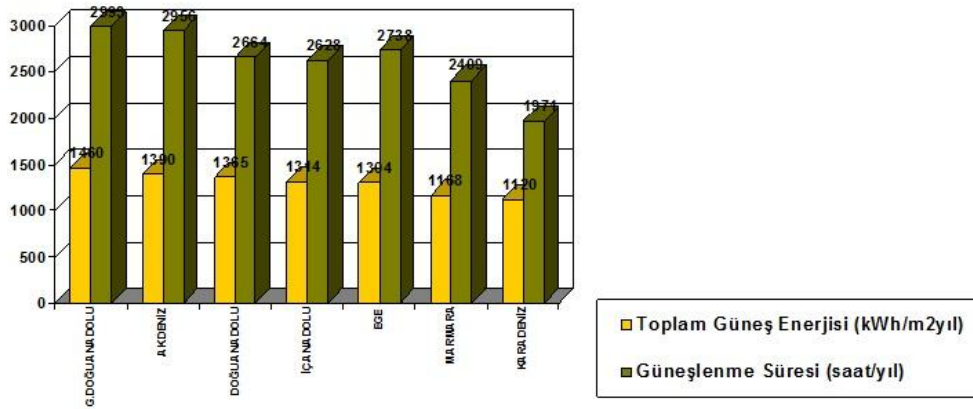
Güneş enerjisi, yenilenebilir bir enerji oluşu, çevreye zarar vermemesi, tükenmeyen bir enerji kaynağı olması, bedava olması, yerel olarak uygulanabilmesi, işletme kolaylığı sağlaması, dışa bağımlı olmaması, karmaşık bir teknoloji gerektirmemesi ve işletme masraflarının az olması gibi üstünlükleri ile son yıllarda tercih edilen bir enerji kaynağı olmuştur.

2.2.2 Türkiye' de güneş enerjisi potansiyeli

Ülkemiz, coğrafi konumu nedeniyle sahip olduğu güneş enerjisi potansiyeli açısından birçok ülkeye göre şanslı durumdadır. Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğünde, mevcut bulunan 1966-1982 yıllarında ölçülen güneşlenme süresi ve ısıtım şiddeti verilerinden yararlanarak Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü tarafından yapılan çalışmaya göre Türkiye'nin ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi 2640 saat (günlük toplam 7,2 saat), ortalama toplam ısıtım şiddeti 1.311 kWh/m²-yıl (günlük toplam 3,6 kWh/m²) olduğu tespit edilmiştir. Türkiye, 110 gün gibi yüksek bir güneş enerjisi potansiyeline sahiptir ve gerekli yatırımların yapılması halinde Türkiye yılda birim metre karesinden ortalama olarak 1.100 kWh'lık güneş enerjisi üretebilir [9]. Türkiye'nin toplam güneş enerjisi potansiyelinin aylara göre dağılımı Şekil 2.1'de verilmiştir. Türkiye'nin yıllık toplam güneş enerjisi potansiyelinin bölgelere göre dağılımı ise Şekil 2.2'de görülmektedir. Buna göre yıllık toplam güneş enerjisi ve güneşlenme süresi yönünden en zengin bölge Güneydoğu Anadolu olup, bunu sırasıyla Akdeniz, Ege, İç Anadolu, Doğu Anadolu, Marmara bölgeleri izlemekte ve en düşük değer ise Karadeniz Bölgesi'nde görülmektedir.

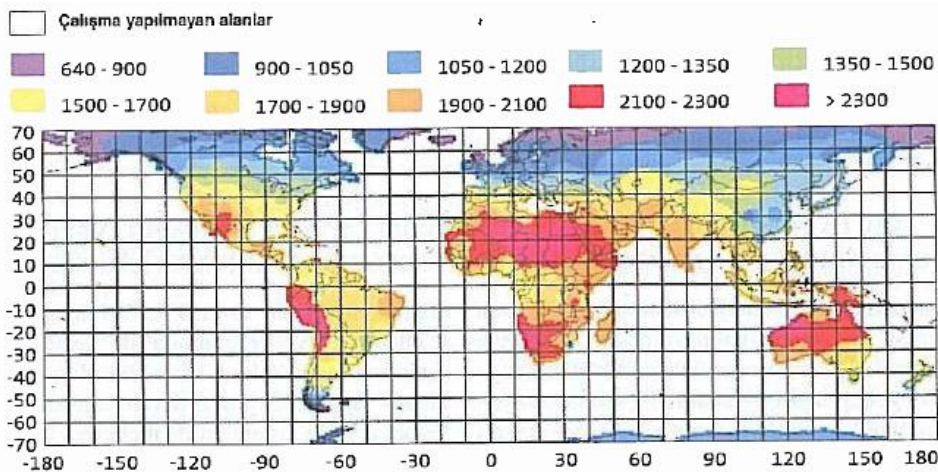


Şekil 2.1 : Türkiye'nin toplam güneş enerjisi potansiyelinin aylara göre dağılımı [11]



Şekil 2.2 : Türkiye'nin yıllık toplam güneş enerjisi potansiyelinin bölgelere göre dağılımı [11]

Şekil 2.3'de ise dünya yüzeyine düşen yıllık güneş ışıınımı miktarı bölgesel olarak gösterilmiştir. Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyelinin dünya ülkelerine kıyasla çok yüksek olduğu görülmektedir.



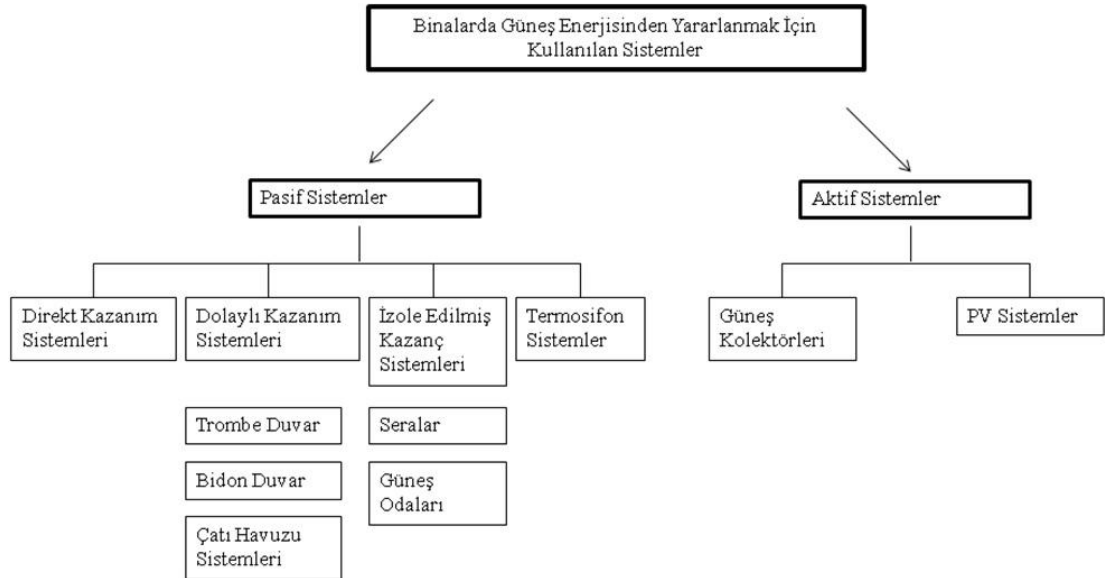
Şekil 2.3 : Dünya yıllık güneş enerjisi kazancı (kWh/m2.yıl) [12]

Temiz ve tükenmeyen bir enerji kaynağı olarak güneş enerjisinin ülkemiz için yakın bir gelecekte temel bir enerji kaynağı olacağı düşünülürse öncelikle güneş enerjisinden yarar sağlayan sistemlerin irdelenmesi gereklidir.

2.3 Binalarda Güneş Enerjisinden Yararlanmak İçin Kullanılan Sistemler

Binalarda güneş enerjisinden yararlanmak için farklı sistemler kullanılmaktadır. Bunlar; pasif sistemler, aktif sistemler ve pasif ve aktif sistemlerin birlikte kullanıldığı karma sistemlerdir. Çizelge 2.1’de binalarda güneş enerjisinden yararlanmak için kullanılan sistemlerin sınıflandırılması görülmektedir.

Çizelge 2.1 : Binalarda güneş enerjisinden yararlanmak için kullanılan sistemler



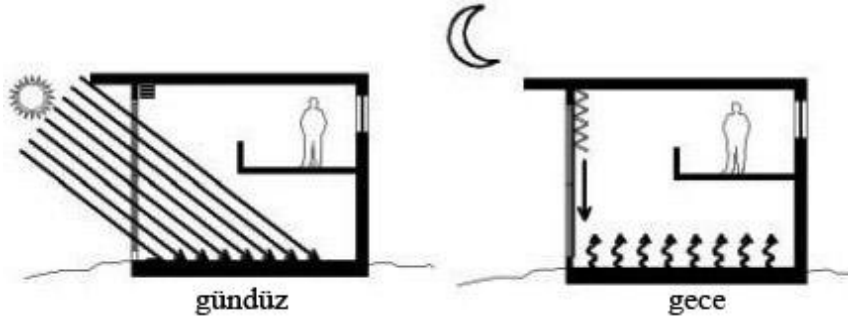
2.3.1 Pasif sistemler

Pasif sistemler, ilave mekanik araç-gereç kullanılmaksızın ve ilave bir enerji tüketimi söz konusu olmaksızın bina bileşenlerinin güneş enerjisinin toplanması, depolanması, dağıtılması ve kontrol edilmesi amacıyla kullanıldığı sistemlerdir [13]. Pasif sistemler direkt kazanım sistemleri, dolaylı kazanım sistemleri, izole edilmiş kazanç sistemleri ve termosifon sistemler olarak dört başlıkta incelenmektedir.

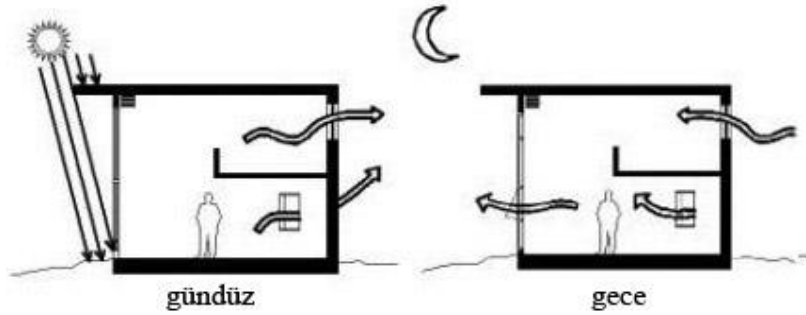
Direkt kazanım sistemleri

Güneş ışınımının doğrudan yaşam alanına alınarak ısı kazandırıldığı sistem türüdür. Şekil 2.4’de sistemin ısıtmanın istendiği dönemdeki çalışma prensibi verilmiştir. Gün boyunca saydam yüzeyden geçen güneş enerjisi döşeme ve dolu duvarlar (masif

kütle) gibi bina elemanlar tarafından emilmekte ve depolanmaktadır. Gece saatlerinde ise, gündüz depolanan güneş enerjisi iç mekanda kullanılmaktadır. Şekil 2.5’de ise sistemin ısıtmanın istenmediği dönemdeki çalışma prensibi görülmektedir. Toplayıcı bünyesinde veya bina kabuğunun uygun kısımlarından açılacak havalandırma boşluklarıyla doğal havalandırma sağlanarak, bina kabuğunun soğutulması hem gece hem gündüz beklenen pasif soğutma ihtiyacını karşılar [14].



Şekil 2.4 : Direkt kazanım sistemi ısıtmanın istendiği dönem çalışma prensibi [15]



Şekil 2.5 : Direkt kazanım sistemi ısıtmanın istenmediği dönem çalışma prensibi[15]

Oluşturulacak olan termal depolama duvarının konumu ve kullanılan malzemelerinin seçimi de büyük önem taşımaktadır. Termal kütlede beton, tuğla gibi malzemeler ile su ve diğer akışkanlar tek başına olabildiği gibi birlikte de kullanılabilir.

Direkt kazanım sisteminin yapım maliyeti oldukça düşüktür. Döşeme, dış duvarlar ve hatta iç mekandaki duvarlar bile ısı depolama görevi yapmaktadırlar. Güney cephesindeki pencerelerin büyüklüğü ve sayısı isteğe ve ihtiyaca göre ayarlanabilmekte, fakat fazla miktarda kullanılan cam, parlama, kamaşma ve mahremiyet gibi problemlere neden olabilmektedir. Güney cephesindeki pencereler, ısıtmanın istenmediği dönemde gündüz gölgeleme elemanlarına ve ısıtmanın istendiği dönem geceleri de yalıtıma ihtiyaç duymaktadır [16]. Direkt kazanım sistemlerinin avantajları şunlardır;

- Standart inşaat teknik ve malzemeleriyle uygulaması kolaydır.
- Bina görünümünde baskın bir değişiklik yaratmaz.
- Doğal aydınlatma ve görsel konforu sağlamada etkindir [17].
- Direkt kazanım sistemlerinin kullanımı, gerek pasif güneş kazanım stratejisi, gerekse daha zengin ısıl depolama elemanlarının kullanımı yoluyla olsun, enerji kullanımını azaltabilir ve aktif sistemlerin hacminde de azalma sağlar.
- Artırılabilir yalıtım seçenekleri, yüksek performanslı pencereler ve hava geçirimsiz yapı teknikleri binanın ısıl konforunu arttırmaya yardımcı olur. Havalandırma kaçakları, soğuk dış duvarlar ya da pencereler gibi ısı kayıp yolları, doğrudan pasif güneş kazanımıyla telafi edilebilir [18].

Dezavantajları ise;

- Geniş, güney cepheli doğramalar kamaşma ve mahremiyet sorunlarına yol açabilir.
- Güneş ışınlamı mobilya ve tekstil ürünlerini soldurabilir ve bozabilir. Günümüzde kullanılan camlar, güneşin zarar verici ışınlarının geçiş oranını oldukça düşürebilmektedir.
- Elle çalıştırılan hareketli yalıtım düzenli ve bilinçli kullanımı gerektirmektedir.

Dolaylı kazanım sistemleri :

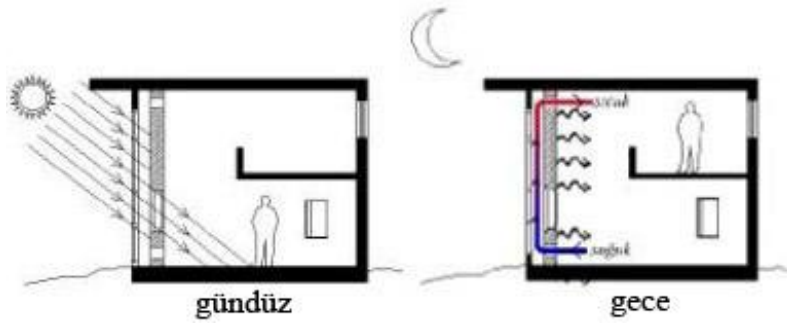
Bu sistemlerde, güneş enerjisi direkt kazanım sistemlerinin aksine binalardaki yaşam hacimlerinin dışında toplanır ve depolanır. Depolanan enerji daha sonra doğal taşınım yollarıyla yaşam hacimlerine iletilir. Dolaylı kazanım sistemlerinde de enerji depolayıcı sistemler binanın mimari özelliğini bozmayacak şekilde tasarlanmalı ve binaya herhangi bir ek yükümlülük getirmemelidir.

Dolaylı kazanım sistemlerini 3 ana başlık altında incelemek mümkündür.

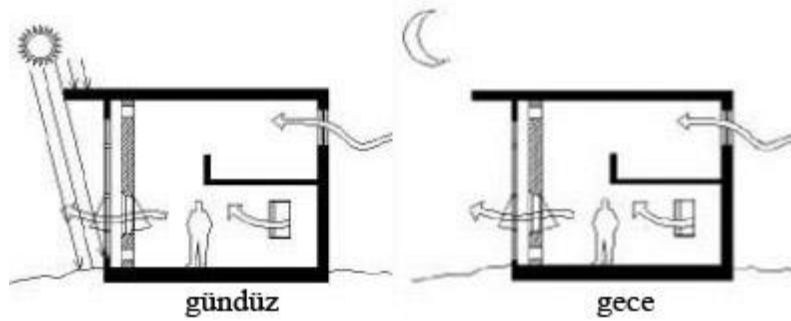
- Trombe duvar yapıların güney cephesine yerleştirilmekte ve arasında bir miktar hava boşluğu kalacak şekilde tek veya çift camla kapatılmaktadır. Isı depolayıcı duvarlar, mimarının izin verdiği ölçüde beton, tuğla, taş, kerpiç gibi malzemelerin yanında su tanklarından da imal edilmekte ve güneş ışınlamını en yüksek düzeyde yutmak amacıyla koyu bir renkle boyanmış masif duvarlardan oluşturulmaktadır [19]. Şekil 2.6, sistemin ısıtmanın istendiği dönem çalışma prensibini vermektedir. Önce, güneş cam yüzeyden geçerek ısıl kütleye gelmekte, ısı, kütle tarafından iletim

yoluyla yüzeye, sonra da ışıınım ve taşınım yoluyla iç mekana verilmektedir. Gün içerisinde, iç mekandaki soğuk hava, ısııl kütle üzerindeki açıklıklardan geçerek ısınmakta ve sürekli bir sirkülasyon gerçekleşmektedir. Gece ise ısııl kütle üzerindeki açıklıklar kapanmakta ve depolanan ısı iç mekana verilmektedir [1]. Gece, dışarıya olan ısı kaybını engelleyerek depolanan ısıının tümünün içeriye verilmesini sağlamak, yazın da kütleyle gölgeleyerek ısınmasını engellemek amacıyla kepenk veya benzeri bir yalıtım elemanıylay dış hava şartlarından korunması sistemin verimini arttırmaktadır.

Toplayıcı içerisindeki üstte ve altta konumlandırılan havalandırma pencereleri hava boşluğunda üretilen ısıının çoğunu alacaktır (Şekil 2.7). Toplayıcının üst tarafındaki havalandırma ve ısııl depo duvarının alt tarafındaki menfez açılarak, hava yaşam alanından çekilir ve yukarıdaki menfezlerden dışarı atılır. Bu metot hava boşluğundaki ısı birikimini önlemekle kalmaz, aynı zamanda yaşam alanına doğal havalandırma sağlar.



Şekil 2.6 : Trombe duvar ısıtmanın istendiği dönem çalışma prensibi [15]



Şekil 2.7 : Trombe duvar ısıtmanın istenmediği dönem çalışma prensibi [15]

▪Bidon duvar, çalışma prensibi olarak kullanılan ısı depolama malzemesi ve kullanım yöntemi dışında trombe duvarı ile benzerlik göstermektedir. Sistemi oluşturan elemanlar ise Şekil 2.8 'de görüldüğü üzere geniş cam yüzey ve buna bitişik masif ısı depolama külesidir.

Dolaylı kazanım sistemlerinin avantajları şunlardır;

- İç mekanı ekstrem şartlardan yalıtarak, duvar arkasındaki mekanın sıcaklık değişimlerinden etkilenmemesini sağlar.
- İstenmeyen veya malzemelere zarar verebilecek direkt güneş ışınlamından korur.
- Sistemin yapımı kolaydır ve hareketli yalıtımın dışında hareketli parçalar yoktur.
- Isıl kütlede depolanan ısı akşam saatlerinde de içeriye ısı vermeyi sürdürür.

Dezavantajları ise;

- İçeriye aktarılan ısı istenmediği durumlarda denetlenememektedir.
- Kullanılan termal kütleden dolayı güney cephesinin doğal aydınlatma ve manzaraya açılma gibi gerekliliklerden yararlanılamaz.
- Termal duvar ve cam arasının temizliği zordur.
- Termal duvar küçük binalar için çok fazla yer kaplayabilir [21].

İzole edilmiş kazanç sistemleri

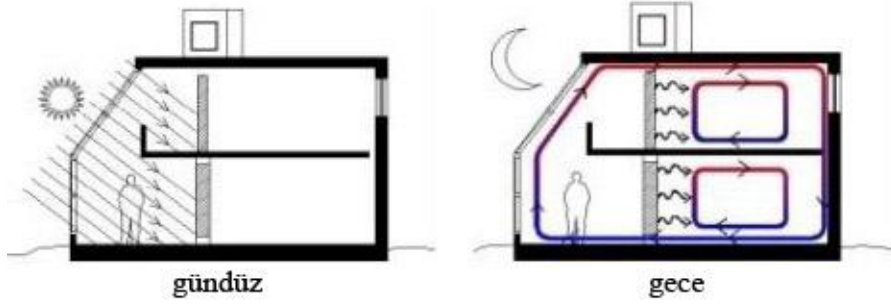
İzole edilmiş kazanç sistemlerinde, ısı toplama ve depolama mekanı ile binanın ana kullanım alanları birbirinden ayrılmaktadır. Böylece bu sistem ısı toplama ve depolama görevini binadan bağımsız olarak gerçekleştirmektedir.

Bu sistemin kullanım amacı yalnız enerji tasarrufu sağlamak değil aynı zamanda yılın büyük bir kısmında konfor koşullarının sağlandığı bir yaşama mekanı yaratmaktır. İç mekanlar ile dış ortam arasında bir geçiş alanı (tampon bölge) oluşturmaktadır. Bu sistemde yaz boyu oluşabilecek aşırı ısınma kontrol altına alınmalıdır [16].

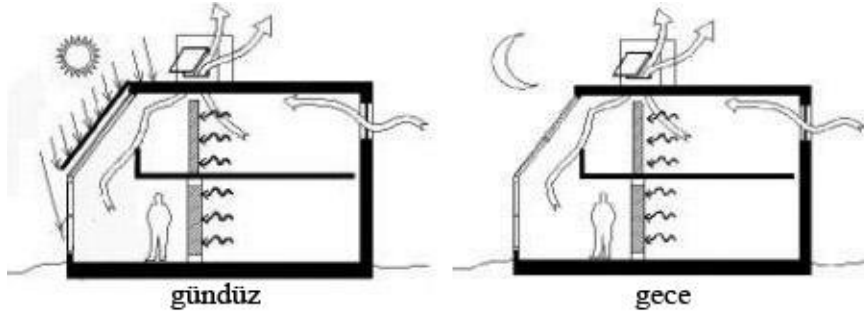
İzole edilmiş kazanç sistemlerini seralar ve güneş odaları şeklinde oluşturmak mümkündür.

Seralar; iç ve dış mekan arasında geçişi sağlayan, binaya ısı, taze hava ve nem sağlayabilen ve içinde yaşanabilen sistemlerdir. Güneşe bakan cam yüzeylerin artması kış günlerinde ısı kazancını arttırmakta, buna karşılık güneşin olmadığı saatlerde ısı kaybının, yazın da istenmeyen ısı kazancının artması gibi olumsuzlukları da beraberinde getirmektedir. Bu nedenle, ısıtmanın istendiği dönemlerde gündüz kazanılan ısıнын kaybını engellemek için yalıtım önemlidir, ısıtmanın istenmediği dönemlerde ise güneşten korunma güney pencerelerine göre daha büyük önem

taşımaktadır. Gün içinde termal kütle güneş ışıını sayesinde ısınmaktadır. İlerleyen saatlerde iç mekandaki serin hava termal kütle üzerindeki açıklıklardan izole edilmiş mekana geçmekte ve burada ısınmaktadır. Daha sonra ısınan hava üstteki açıklıktan tekrar iç mekana dönmektedir. Sürekli olan bu sirkülasyon sayesinde iç mekan da ısınmaktadır. Gece saatlerinde termal kütle üzerindeki kapaklar kapatılmakta ve hem termal kütlede depolanan ısı hem de iç mekanda ısınan hava sayesinde konfor şartları sağlanmaktadır. Eğer gerekli kontrol sistemleri kullanılmazsa, soğutma döneminde aşırı ısı kazanımı kaçınılmazdır. Bu sebeple, toplayıcının, istenmeyen ısı artışına karşı, uygun olarak gölgelendirilmesi gerekir. Yaprak döken ağaclar ve diğer bitki türleri, güneş kırıcılar, panjurlar ve perdeler güneş kontrol elemanları olarak kullanılabilir. Şekil 2.10’da ve Şekil 2.11’de sistemin ısıtmanın istendiği ve ısıtmanın istenmediği dönem çalışma prensibi görölmektedir [22].



Şekil 2.10 : Seraların ısıtmanın istendiği dönem çalışma prensibi [15]



Şekil 2.11 : Seraların ısıtmanın istenmediği dönem çalışma prensibi [15]

Gün içinde termal kütle güneş ışıını sayesinde ısınmaktadır. İlerleyen saatlerde iç mekandaki serin hava termal kütle üzerindeki açıklıklardan izole edilmiş mekana geçmekte ve burada ısınmaktadır. Daha sonra ısınan hava üstteki açıklıktan tekrar iç mekana dönmektedir. Sürekli olan bu sirkülasyon sayesinde iç mekan da ısınmaktadır. Gece saatlerinde termal kütle üzerindeki kapaklar kapatılmakta ve hem termal kütlede depolanan ısı hem de iç mekanda ısınan hava sayesinde konfor şartları

sağlanmaktadır.Eğer gerekli kontrol sistemleri kullanılmazsa, soğutma döneminde aşırı ısı kazanımı kaçınılmazdır. Bu sebeple, toplayıcının, istenmeyen ısı artışına karşı, uygun olarak gölgelendirilmesi gerekir. Yaprak döken ağaçlar ve diğer bitki türleri, güneş kırıcılar, panjurlar ve perdeler güneş kontrol elemanları olarak kullanılabilir.

▪Güneş odaları; binada iç mekan ile dış mekan arasında bulunan, dış mekandan saydam bir yüzeyle ayrılmış ve diğer mekanlardan izole edilerek oluşturulmuş olup bağlantılı olduğu mekanlardan gelen ısı kayıpları ve güney cephesindeki saydam yüzeylerden kazanılan güneş ışınları tarafından ısınmaktadır. Güneş odasının avantajı, ısı toplamasının yanı sıra binaya ek bir yaşama mekanı kazandırmasıdır.

Bu sistem, direkt kazanım ve Trombe duvarı sistemlerinin bir kombinasyonu gibi olup pencere ile güney yönündeki duvar arasında bir sera oluşturulmuş şeklidir ve uygun yönlendirilmiş bir sera ile uygun yönlendirilmiş duvarın bir araya getirilmesiyle oluşmaktadır, içteki duvar bu amaçla yalıtılarak rüzgârın soğutucu etkisinden korunmuştur.

Bu sistem hacim ısıtmada kullanılmaktadır.Binanın ana mekanlarından ayrılarak dış ortam ile iç mekanlar arasında ani ısı değişikliklerini dengeleyerek bir tampon bölge oluşturması nedeniyle direkt kazancın sağlandığı mekanlara göre daha fazla avantaj sağlamaktadır.Güneş odaları eklendikleri binaya kışın ve geçiş mevsimlerinde ek bir yaşama mekanı sağlamasının yanı sıra hareketli ve kontrollü gölgelendirme elemanları ve havalandırma üniteleriyle yıl boyu konfor değeri yüksek yaşanabilir mekanlar olarak işlev görmektedir.

İzole edilmiş kazanç sistemlerinin avantajları;

▪Bu sistemlerde, ısı toplanmasının yanı sıra binaya yıl boyu birçok saatin geçirilebileceği enerji tasarrufu sağlayan ek bir yaşama mekanı kazandırılmaktadır.

▪Binanın ana mekanlarından ayrılarak dış ortam ve iç mekanlar arasında ani ısı değişikliklerini dengeleyen bir tampon bölge oluşturmaktadır.

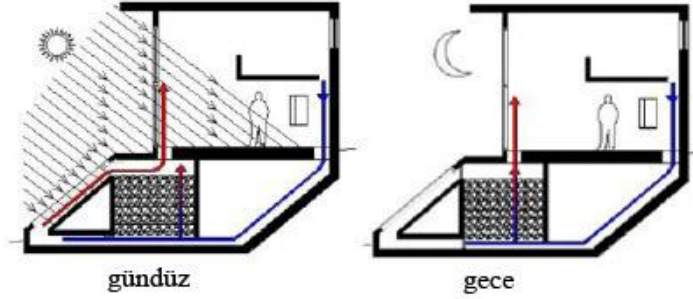
Dezavantajları ise,

▪Yaz dönemlerinde aşırı ısınmaları önlemek için gölgeleme ve doğal vantilasyon gereklidir.

▪Güneşin olmadığı saatlerde ısı kaybı artmaktadır.

Termosifon sistemler

Bu sistemde güneş enerjisini toplayıp depolayan kısım, yaşam hacimlerinden ayrı olarak ve ısı kayıplarını minimum düzeyde tutacak şekilde yalıtılarak yapılmıştır. Doğal dolaşım tekniğinde, ısınan akışkanın kendiliğinden yükselip yer değiştirmesi özelliğinden yararlanılmıştır. Toplayıcı yüzeyi ile ısı depo binanın altında olacak şekilde yerleştirildiğinde toplayıcıda ısınan hava, yükselerek depoya veya doğrudan binaya gitmekte ve burada soğuyarak tekrar toplayıcıya dönmektedir. Isı depolama malzemesi olarak çakıl taştan veya kaya bloklarından yararlanılmaktadır. Isı transfer akışkanı olarak su veya hava kullanılmaktadır [19]. Şekil 2.12’de sistemin çalışma prensibi görülmektedir.



Şekil 2.12 : Termosifon sistemlerin çalışma prensibi [15]

Termosifon sistemlerinin avantajları;

- Bütün pasif sistemler içinde sürekli dolaşım halkası ısı olarak en etkili olandır.
- Eğer depolayıcısız tasarlanırsa sürekli dolaşım halkasının maliyeti daha azdır ve uygulaması kolaydır.
- Sürekli dolaşım halkası sistemi yaşam alanından yalıtılır ve böylece sistemin ısı kaybı ve alımını engellemektedir.

Termosifon sistemlerinin dezavantajları ise;

- Doğal aydınlatma ve ek yaşama alanı sağlayan doğrudan ve izole kazanım sistemlerinin aksine sürekli dolaşım sisteminin tek bir fonksiyonu vardır, o da pasif ısıtmadır.
- Termosifon sistemler güneydeki duvara yerleştirilirse ışığı ve dış çevreyle görsel ilişkiyi engelleyebilir. Zemin altına monte edilirse zemin hafriyatında, dış alan kullanımında ve peyzaj düzenlemede zorlamalara sebep olur.

2.3.2 Aktif sistemler

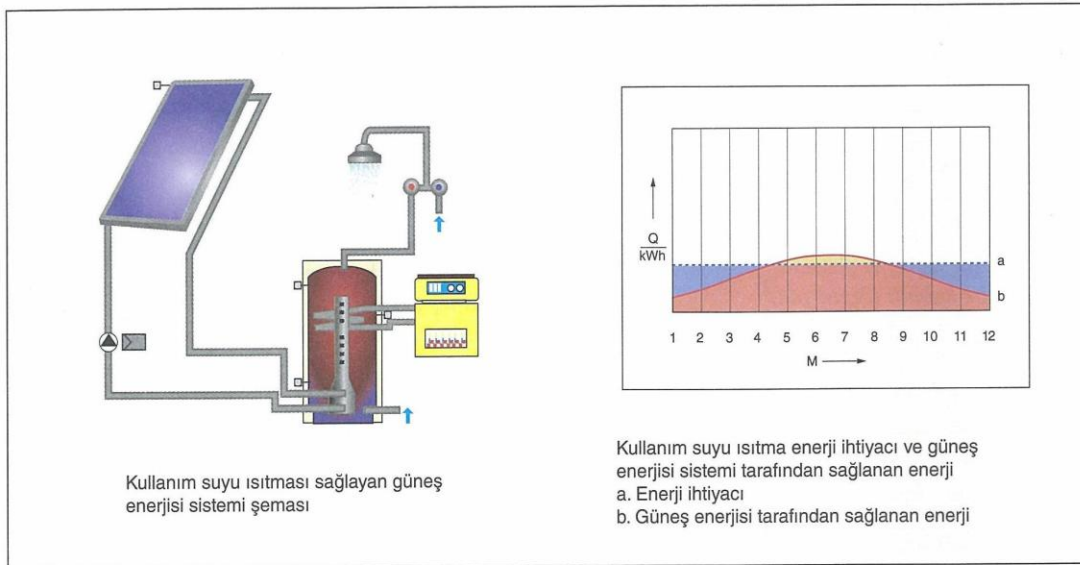
Aktif güneş sistemleri teknik donanım yoluyla güneş enerjisinin kazanıldığı sistemler olarak tanımlanmaktadır [23]. Aktif güneş enerjisi teknolojileri, yöntem, malzeme ve teknolojik düzey açısından çok çeşitlilik göstermekle birlikte iki ana gruba ayrılmaktadır.

- Güneş kolektörleri, güneş ışınımından kazanılan ısı enerjisi kolektörlerde toplanarak binanın ısıtma ve sıcak su ihtiyacını karşılamaktadır.
- PV sistemler güneş enerjisini elektrik enerjisine çevirerek binalarda kullanan sistemlerdir.

2.3.2.1 Güneş kolektörleri

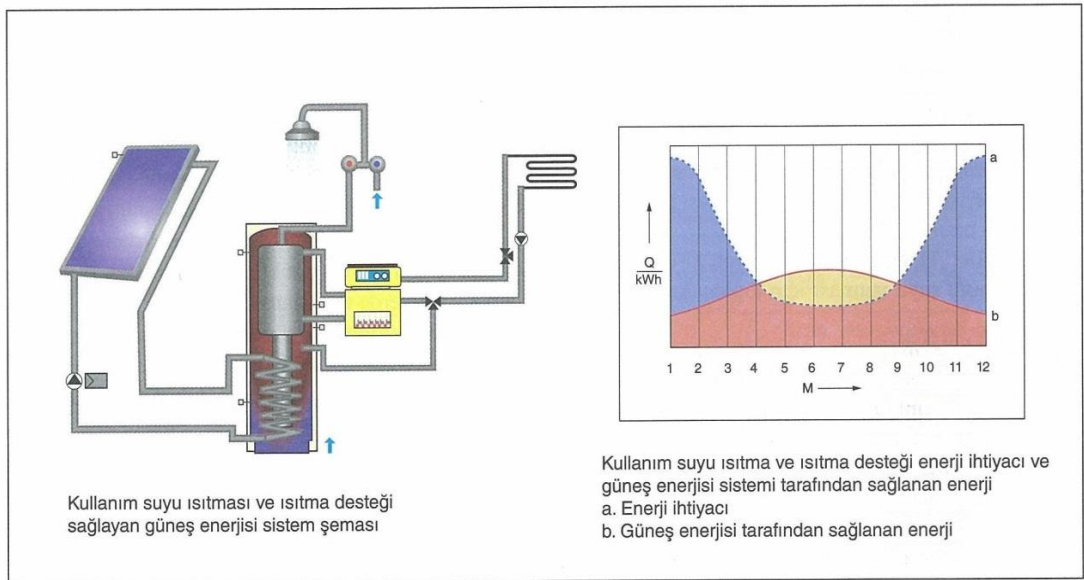
Güneş kolektörleri binalarda kullanım suyu ısıtmasında ve binanın ısıtma sisteminde kullanılabilir. Bu sistemlerin en yaygın uygulama alanı kullanım suyu ısıtmasıdır. Yıl boyunca sabit olan sıcak kullanım suyu gereksiniminin belirli bir kısmı güneş enerjisinden karşılanabilir. Yazın kullanım suyu ısıtması için gereken enerjinin hemen hemen tamamı güneş enerjisi sisteminden karşılanabilir.

Kolektörler, yörenin enlemine bağlı olarak güneşi maksimum alacak şekilde, sabit bir açıyla yerleştirilirler. Şekil 2.13’de sistemin çalışma prensibi ve kullanım suyu ısıtması sağlayan güneş enerjisi sistemi şeması verilmiştir.



Şekil 2.13 : Kullanım suyu ısıtması sağlayan güneş enerjisi sistem şeması [12]

Konutlarda gereksinim duyulan ısı enerjisinin bir bölümünü, kullanım suyu ısıtmasının yanı sıra ısıtma desteği de sağlayacak sistemler tasarlayarak, güneş enerjisi ile karşılamak mümkündür. Bu tip uygulamalarda güneş enerjisi sistemi, sadece ısıtma sistemi dönüş suyu sıcaklığı, güneş enerjisi sisteminden elde edilen su sıcaklığından daha düşük olduğunda ısıtmaya destek verebilmektedir. Bu nedenle, düşük işletme sıcaklıklarına göre tasarlanmış, büyük yüzeyli radyatör veya yerden ısıtma tesisatlarıyla güneş enerjisi sistemlerinin kombinasyonu idealdir. Uygun tasarlanmış güneş enerjisi sistemleri, kullanım suyu ısıtması ve ısıtma desteği için gereken yıllık toplam ısı gereksiniminin %30'a kadar olan kısmını karşılayabilir. Şekil 2.14'de sistemin çalışma prensibi ve kullanım suyu ısıtması ve ısıtma desteği sağlayan sistemlerde üretilen enerjinin tüketilen enerjiye olan oranı görülmektedir.



Şekil 2.14 : Kullanım suyu ısıtması ve ısıtma desteği sağlayan güneş enerjisi sistem şeması [12]

Güneş kolektörlü sıcak su sistemleri, enerjisini toplayan düzlemsel kolektörler, ısınan suyun toplandığı depo ve bu iki kısım arasında bağlantıyı sağlayan yalıtımlı borular, pompa ve kontrol edici gibi sistemi tamamlayan elemanlardan oluşmaktadır. Güneş kolektörlü sıcak su sistemleri doğal dolaşımli ve pompalı olmak üzere ikiye ayrılırlar [11].

▪Doğal dolaşımli sistemler, ısı transfer akışkanının kendiliğinden dolaştığı sistemlerdir. Kolektörlerde ısınan suyun yoğunluğunun azalması ve yükselmesi özelliğine dayanmaktadır. Bu tür sistemlerde depo kolektörün üst seviyesinden en az 30 cm yukarıda olması gerekmektedir. Deponun alt seviyesinden alınan soğuk (ağır)

su kolektörlerde ısınarak hafifler ve deponun üst seviyesine yükselir. Gün boyu devam eden bu olay sonunda depodaki su ısınmış olur.

▪Doğal dolaşımli sistemler daha çok küçük miktarda su ihtiyaçları için uygulanmaktadır. Deponun yukarıda bulunması zorunluluğu nedeniyle büyük sistemlerde uygulanamazlar. Pompa ve otomatik kontrol devresi gerektirmediği için pompalı sistemlere göre biraz daha ucuzdur.

▪Pompalı sistemler, ısı transfer akışkanının sistemde pompa ile dolaştırıldığı sistemlerdir. Deposunun yukarıda olma zorunluluğu yoktur. Büyük sistemlerde su hatlarındaki direncin artması sonucu doğal dolaşımın olmaması ve büyük bir deponun yukarıda tutulmasının zorluğu nedeniyle pompa kullanma zorunluluğu doğmaktadır. Pompalı sistemler otomatik kontrol devresi yardımı ile çalışırlar. Depo tabanına ve kolektör çıkışına yerleştirilen diferansiyel termostatin sensörleri, kolektörlerdeki suyun depodaki sudan 10 °C daha sıcak olması durumunda pompayı çalıştırarak sıcak suyu depoya alır, bu fark 3 °C olduğunda ise pompayı durdurur. Pompa ve otomatik kontrol devresinin zaman zaman arızalanması nedeniyle işletilmesi doğal dolaşımli sistemlere göre daha zor olmaktadır.

Her iki sistem de ayrıca açık ve kapalı sistem olarak tasarlanabilmektedir.

Açık sistemler, kullanım suyu ile kolektörlerde dolaşan suyun aynı olduğu sistemlerdir. Kapalı sistemlere göre verimleri yüksek ve maliyeti ucuzdur. Suyun kireçsiz ve donma problemlerinin olmadığı bölgelerde kullanılabilmektedir.

Kapalı sistemler, kullanım suyu ile ısıtma suyunun farklı olduğu sistemlerdir. Kolektörlerde ısınan su bir eşanjör vasıtasıyla ısınıı kullanım suyuna aktarır. Donma, kireçlenme ve korozyona karşı çözüm olarak kullanılmaktadırlar. Maliyeti açık sistemlere göre daha yüksek verimleri ise eşanjör nedeniyle daha düşüktür.

Binalarda güneş kolektörlerinin kullanılmasıyla güneş enerjisi ısı enerjisine dönüştürölür ve bu enerji sıcak su elde etmek için kullanılır. Bu sıcak sudan, kullanım suyu olarak faydalanılabileceği gibi radyatörler aracılığı ile binanın ısınması için de kullanılabilir. Günümüzde güneş kolektörleri; mekan ısıtmasında ve kullanım suyu ısıtmasında vazgeçilmez bir teknolojidir. Modern güneş kolektörleri teknik özelliklerinin yanı sıra çatılarda ve bina cephelerinde birer mimari eleman olarak kullanılmaktadırlar. Binalarda güneş kolektörlerinin kullanılmasının;

▪Konstrüksiyonlarının oldukça basit olması,

- Yayılı ışıınımdan da faydalanabilmesi,
- Tesisatın yerleşme zemininin hazırlığının kolay olması,
- Tesisat elemanlarının az ve basit olması,
- Dayanıklı ve kullanışlı olması,
- Nakledilmelerinin ve montajlarının kolay olması,
- Yatırım ve işletme maliyetlerinin az olması

gibi avantajları bulunmaktadır.

2.3.2.2 PV sistemler (Fotovoltaik sistemler)

PV sistemler; güneş hücrelerin biraraya gelmesiyle oluşturulan PV paneller ve buna yardımcı elamanların birleştirilmesi ile güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren sistemlerdir.

Binalarda kullanılan PV sistemlerle, direkt olarak tükenmeyen ve temiz bir enerji kaynağı olan güneşten faydalanarak enerji ihtiyacının bir bölümünü karşılayabiliriz, bu nedenle binalarda enerji verimliliği açısından PV sistemlerin kullanımı önemlidir.

3. PV SİSTEMLER VE ÖZELLİKLERİ

Bu bölümde PV sistemlerin tanımlanması, özellikle güneş hücreleri, güneş hücresi türleri, PV sistem türleri gibi konular hakkında bilgi verilecektir.

3.1 PV Sistemler ve Güneş Hücreleri

Güneş ışınımından paneller aracılığı ile elektrik enerjisi üretilir, bu enerjinin kullanımına olanak sağlayan bileşenlerin tümüne PV Sistemler denir.

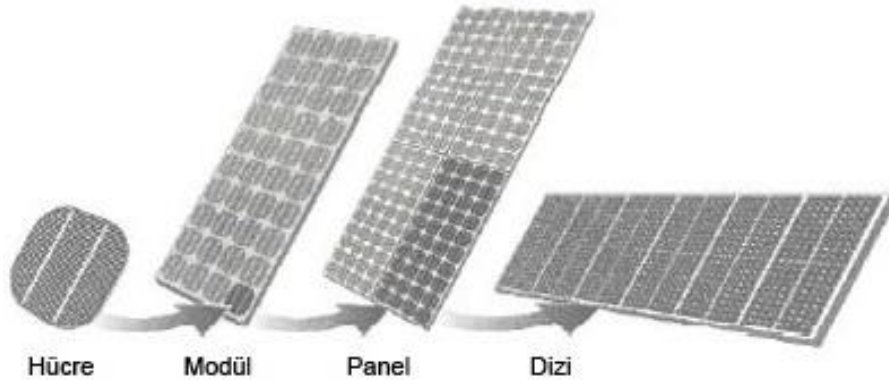
“PV” photovoltaic kelimesinin kısaltmasıdır. “Photo” ışık ve “Voltaic” elektrik anlamına gelir. Fotovoltaik terimi ; güneş ışığının güneş hücreleri tarafından elektrik enerjisine dönüştürülme süreci için kullanılır. Uygun tasarlanmış bir fotovoltaik sistem az bir ışıkla megawattlarca elektrik üretebilir. Herhangi bir işletme ücreti gerektirmez ve hava kirliliğine sebep olmadan sadece güneş ışığı ile elektrik üretir [24].

Fotovoltaikler, doğru akım (DC) üretirler. Bu elektrik;

- Direkt DC gücü ile çalışan aygıtlarda,
- Depolanarak,
- Alternatif akıma (AC) dönüştürülerek AC gücü ile çalışan aygıtlarda kullanılır.

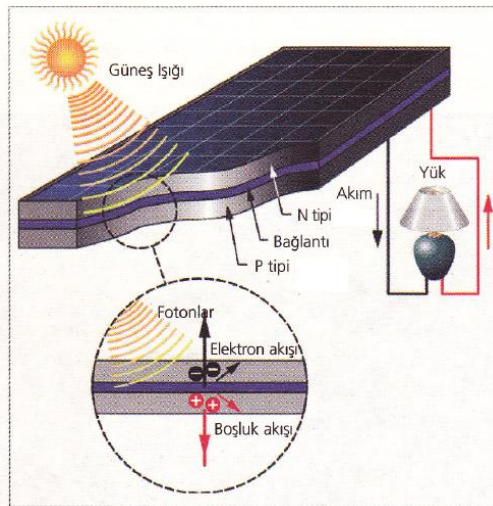
Güneş hücreleri güneş ışığını direkt olarak elektriğe dönüştüren elektronik aygıtlardır. Güneş enerjisini etkin şekilde elektrik enerjisine dönüştürmek için, kaliteli yarı geçirgen katmanlar ve kristalde kusursuz bir yapıya gereksinim duyar. Kristal yüzeydeki kusurlar yüksek kalitedeki kaplama katmanları ile yok edilir [25].

Güneş hücreleri, elektrik enerjisinin gerekli olduğu her uygulamada kullanılabilir. Güneş hücrelerinden oluşan modüller uygulamaya bağlı olarak, akümülatörler, invertörler, akü şarj denetim aygıtları ve çeşitli elektronik destek devreleri ile birlikte kullanılarak bir sistem oluşturur. Bu sistem PV sistem olarak tanımlanır [11]. Güneş hücreleri PV sistemlerin en temel birimidir. Bu hücreler seri ve paralel bağlanarak PV modüllerini, modüller birleşerek panelleri, paneller birleşerek dizileri oluşturur [26]. Şekil 3.1.'de şematik olarak PV hücre, modül, panel ve dizi görülmektedir.



Şekil 3.1 : PV sistemlerde kullanılan hücre, modül, panel ve dizi [27]

Bu sistemlerde yeterli sayıda güneş hücresi , enerji kaynağı olarak kullanılır. Güneşin yetersiz olduğu zamanlarda ya da özellikle gece süresince kullanılmak üzere genellikle sistemde akümülatör bulundurulur. Güneş hücresi modülleri gün boyunca elektrik enerjisi üreterek bunu akümülatörde depolar, yüke gerekli olan enerji akümülatörden alınır. Şebeke uyumlu alternatif akım elektriğinin gerekli olduğu uygulamalarda, sisteme bir invertör eklenerek akümülatördeki DC gerilim, 220 V, 50 Hz.lik sinüs dalgasına dönüştürülür. Benzer şekilde, uygulamanın şekline göre destek elektronik devreler sisteme destek olarak katılabilir. Bazı sistemlerde, güneş pillerinin maksimum güç noktasında çalışmasını sağlayan maksimum güç noktası izleyici cihazı bulunur [11]. Şekil 3.2’de güneş hücresi kesiti verilmistir.



Şekil 3.2 : Güneş hücresi kesiti [28]

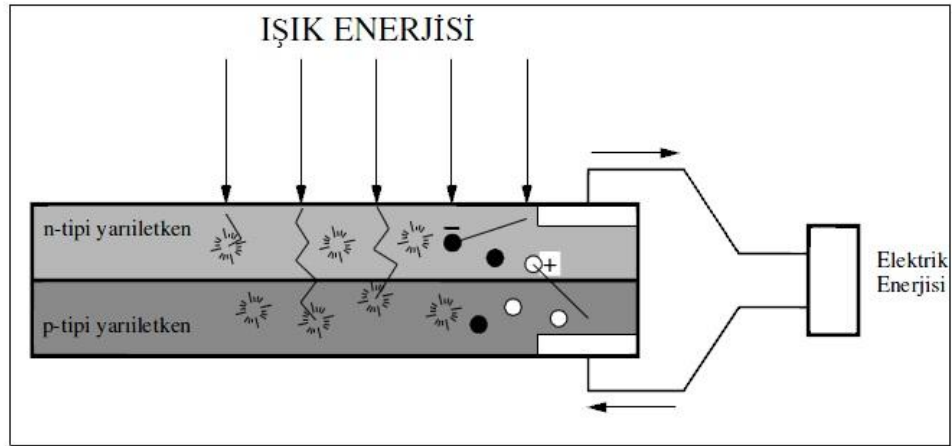
PV’ler yarıiletkenlerdeki fotoelektrik etkiyi kullanarak çalışırlar. PV’ler en az iki kat elektrik enerjisini ileten maddeden oluşur. Bir kat pozitif yüklü (p tipi yarıiletken) diğer kat negatif yüklüdür (n tipi yarıiletken). Işık pile geldiği zaman, ışıktan gelen

bazı fotonlar yarı iletken malzeme tarafında emilir, serbest elektronlar ise pilin negatif katmanından dış devreye ve pozitif katmana geçer. Elektronların bu geçişi ile elektrik akımı oluşur.

PV hücre

PV hücreler fotovoltatik ilkeye dayalı olarak, üzerine ışık düştüğü zaman uçlarında elektrik gerilimi oluşan, silisyum, galyum arsenit, kadmiyum tellür gibi yarı iletken malzemelerden üretilen birimlerdir.

Güneş ışığı, tayfsal yapısına bağlı olarak değişik oranda enerji içeren fotonlardan oluşur. Fotonlar PV hücrelerinin üzerine geldiğinde yansır, ya da yutulur. Yüzeye gelen fotonlar yutulduğunda enerjisi, yarı iletken malzemenin atomik yapısında bulunan elektronlardan birini bulunduğu konumundan ayrılarak açığa çıkmasını ve elektrik akımının bir parçası olmasını sağlar. Bir iletken yardımıyla oluşan bu akımın dışarı aktarılmasıyla PV hücre aracılığı ile elektrik enerjisinin üretimi gerçekleşir. Şekil 3.3’de PV hücrenin çalışma prensibi görülmektedir.



Şekil 3.3 : PV hücrenin çalışması [29]

3.1.1 PV hücrenin yapısı

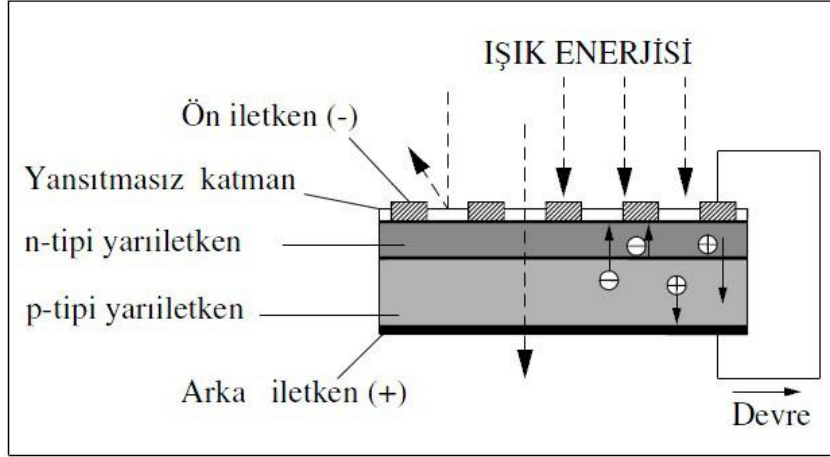
Kare, dikdörtgen, daire gibi değişik şekillerde olabilen PV hücrelerinin boyutları 1cm ile 15 cm arasında, kalınlıkları ise 0.2-0.4 mm arasında değişebilmektedir.

Tipik bir güneş hücresinin katmanları Şekil 3.4’de görüldüğü gibi,

- Saydam örtü tabakası,
- Yansıtmasız katman,
- Elektronların devreye girmesini sağlayan ön iletken,

- Elektronların harekete başladığı yarı iletken malzemeler,
- Elektrik devresinin tamamlandığı arka iletken

olarak sıralanmaktadır. PV hücrenin niteliği, gücü ve verimi bu katmanların özelliklerine bağlıdır [30].



Şekil 3.4 : PV hücrenin yapısı [29]

Saydam örtü tabakası

Yarı iletken malzemeyi ve elektrik iletkenlerini dış hava koşullarından koruyan saydam tabakadır. Bu tabakanın güneş ışınımını geçirme özellikleri toplam verimini belirler.

Yansıtmasız katman (Seçici Yüzey)

Panel üzerine gelen güneş ışınımının bir bölümü örtü tabakasında bir kısmı ise yarı iletken malzemenin yüzeyinde yansır. Hücrenin verimli çalışabilmesi ise yarıiletken malzemede yutulan ışığın niceliğine bağlı olduğundan yansımaların azaltılması gerekir. Yarı iletken malzeme üzerinde oluşan yansımaların azaltılmasında; yüzeyin yansıtıcılığı az olan silisyum monoksit gibi ince bir malzeme ile kaplanması, yarı iletken malzemenin yüzeyinin yansımaları tekrar kendi üzerine yansıtacak biçimde kimyasal aşındırma yöntemi ile pürüzlendirilmesi yaygın olarak kullanılan yöntemlerdir.

Elektrik iletkenleri

PV hücreleri üzerinde bulunan ön ve arka iletkenler, üretilen enerjinin dışarıya alınmasında köprü görevi gördüğünden hücrenin niteliğini belirleyen önemli etkenlerden biridir. Arka iletken, hücrenin altında levha biçiminde oluşturulur.

Hücrenin üst kısmında ise ön iletken olarak, güneş ışınımının yarı iletken malzemeye erişiminin sağlanması için metal ızgaralar kullanılır. Izgara tellerinin, iyi bir iletim sağlayacak ve çok direnç oluşturmayacak kadar kalın, ışığın yarıiletken malzemeye gelmesini engellemeyecek kadar ince olması gerekir [31].

Güneş hücreleri silisyum başta olmak üzere çok değişik yarı iletken malzemelerden üretilmektedir. Yarı iletken malzemenin;

- atomik yapısı (kristalize oranı),
 - enerji dönüşüm verimi,
 - belli bir kalınlıkta ışığı yutma miktarı (yutuculuk oranı),
 - güneş ışığı tayfında yararlanabildiği dalga boyu aralığı,
 - kullanılma kalınlığından ve üretim biçiminden kaynaklanan maliyet artışı özellikleri
- PV hücre tasarımında ve yarı iletken seçiminde belirleyici temel etkenlerdir. Yarı iletkenler, üretildikleri malzemelere, malzemenin yapısına ya da üretim teknolojilerine göre sınıflanabilmektedir.

Günümüzde yaygın olarak kullanılan ve gelecekte kullanılacağı öngörülen yarı iletken malzemeler Çizelge 3.1’ de sıralanmıştır.

Çizelge 3.1 : PV hücre yarı iletken malzemeleri [29]

Kristalize yarı iletkenler	İnce film yarı iletkenler
Monokristal silisyum (m-Si)	Bakır İndiyum Diselenid (CIS)
Polikristal silisyum (p-Si)	Kadmiyum Tellürid (CdTe)
	Amorf Silisyum (a Si)
	Gallium Arsenide (GaAs)

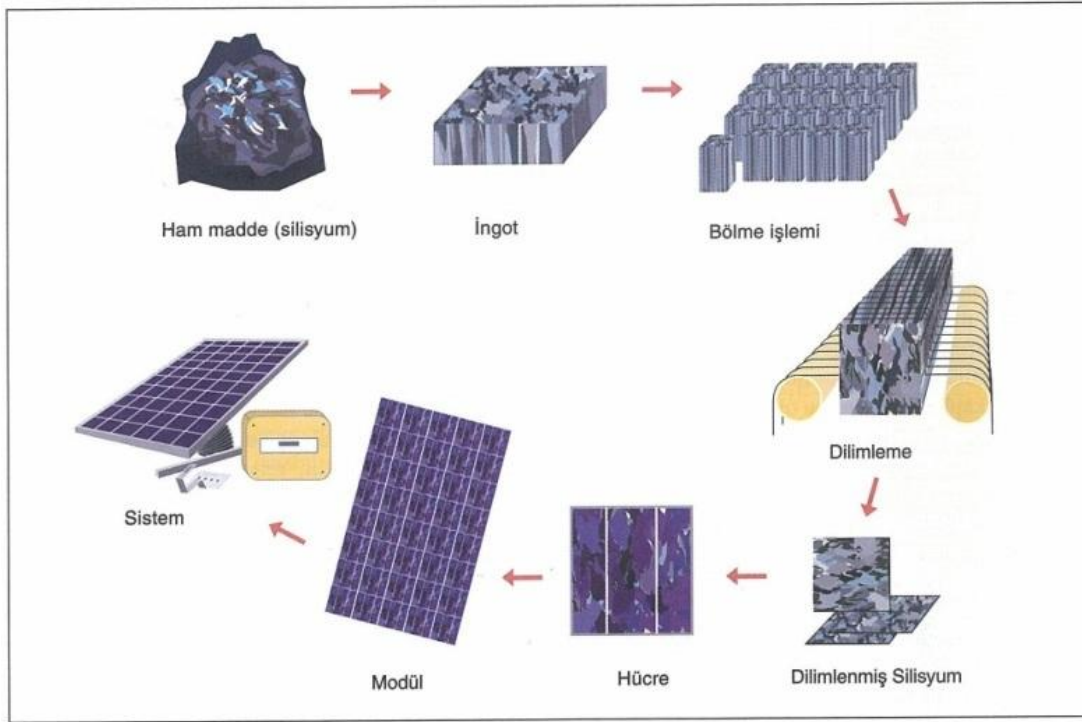
Son 25 yıldır kristalize silisyum, PV hücre üretiminde en çok kullanılan malzeme olmuştur. Ancak ince film teknolojisindeki son gelişmeler, gelecekte piyasada en çok ince film kullanılacağını ve maliyetinin azalacağını göstermektedir.

3.1.2 PV modül üretimi

Güneş hücrelerinin ham maddesi silisyumdur. Silisyum, yeryüzünde oksijenden sonra en çok bulunan elementtir. Ancak, silisyum doğada silisyum dioksit şeklinde bulunmaktadır. Bu sebeple, metalurjik kalitedeki silisyumdan, güneş pili kalitesinde silisyum elde edebilmek için bir dizi işlem uygulamak gerekmektedir. Bunlardan ilki metalurjik kalitedeki silisyumu yüksek sıcaklıkta eritip daha sonra soğumaya

bırakmaktır. Bu sayede silisyum içerisindeki yabancı maddelerin büyük bir kısmı ayrılmaktadır [12].

Soğutulmaya bırakılan silisyum, külçelere bölünmektedir. Bu oluşturulan külçeler ise daha sonra özel kesme makineleri sayesinde 0,2 mm kalınlığında silisyum dilimlerine bölünmektedirler. Bu işlemler sonucunda PV hücreler özel üretim yerlerine getirilerek son hallerini almaktadırlar. Şekil 3.5’de PV modül üretim aşamaları görülmektedir.



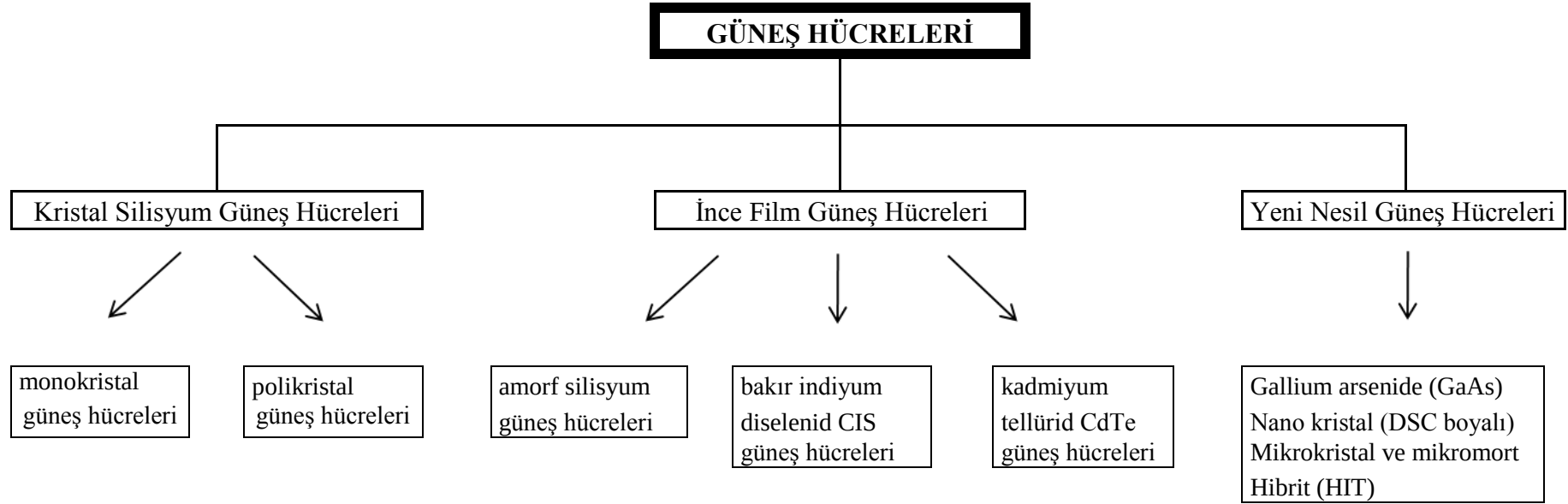
Şekil 3.5 : PV modül üretimi [12]

Bir PV modülü, birbirine bağlı hücrelerin saydam örtü ve su geçirmez alt tabakayla kapsüllenmesiyle oluşur. Modüllerin montajı için genelde alüminyum çerçeveler kullanılır [25].

3.2 Güneş Hücreleri Türleri

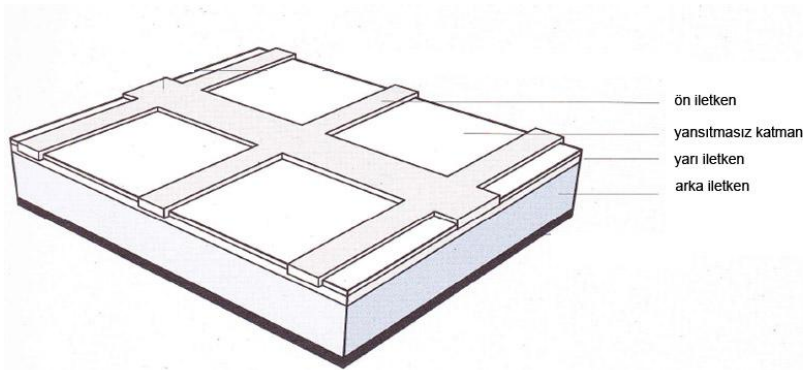
Güneş hücrelerini kristal yapılı güneş hücreleri ve bir tabaka üzerine gaz çöktürülerek elde edilen ince film güneş hücreleri olmak üzere ikiye ayırmak mümkündür. Bununla beraber halen üzerinde laboratuvar çalışmaları yapılan yeni nesil hücreleri de bulunmaktadır. Bunların verimliliği yüksek olmakla beraber üretim maliyetinin yüksek olması nedeniyle kullanımda geniş yer bulamamaktadır. Çizelge 3.2’de güneş hücreleri türleri görülmektedir.

Çizelge 3.2 : Güneş hücreleri türleri



3.2.1 Kristal silisyum güneş hücreleri

Kristal silisyum hücreler günümüzde en gelişmiş ve en güvenilir teknolojidir. Bu hücrelerin en önemli ana maddesi silisyumdur. Silisyum, saf kimyasal madde formunda bulunmaz ve silisyumun silisyumdioksit bileşiğinden yüksek sıcaklıklar gerektiren yöntemlerle ayrılması gerekir. Oluşan metalürjik silisyumun saflığı, elektronik uygulamalar için yine yeterli olmadığından kimyasal bir yöntemle saflığı artırılır ve istenen saflığa ulaşıldığında bu yüksek kalitedeki silisyum, güneş hücreleri üretiminde kullanılır. Şekil 3.6'da kristal silisyum yapıları hücre katmanları görülmektedir [28].



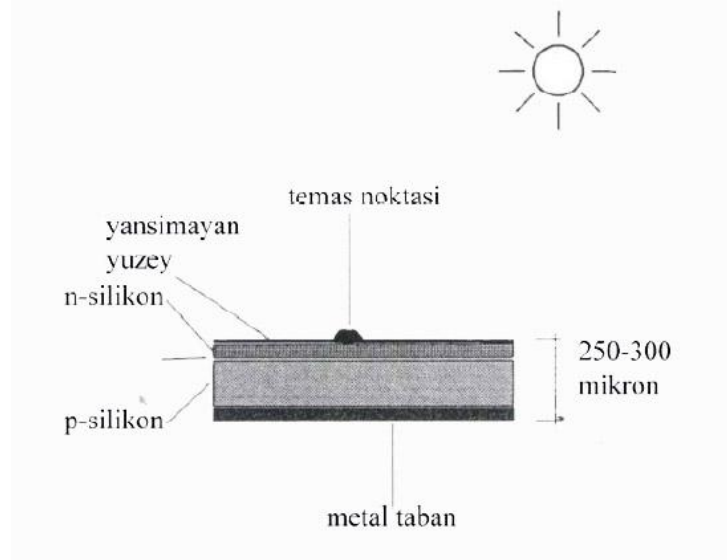
Şekil 3.6 : Kristal silisyum yapıları hücre katmanları [33]

Silisyum güneş hücrelerini monokristal ve polikristal olarak iki şekilde inceleyebiliriz. Monokristal silisyum hücreler teoride %30 etkiye sahiptirler. Gerçek etkinlikleri ise teorik etkinliğin altında %15 civarındadır. Polikristal güneş hücrelerinin etkinliği ise monokristal hücreden daha da azdır. Fakat ucuzluğu ve üretim kolaylığı nedeniyle tercih edilmektedir [24].

3.2.1.1 Monokristal yapıları güneş hücreleri

Monokristal yapıları silisyum güneş hücreleri, güneş-elektrik dönüşümünü yüksek verimlilikte gerçekleştirdikleri için çok tercih edilmektedirler. Monokristal yapıları güneş hücrelerinin yapısına baktığımızda, pilin ön yüzeyi, normal olarak yansıyan ışığın bir kısmını daha yakalayabilmek amacıyla, piramitler ve konikler şeklinde tasarlanmıştır. Pilin üst yüzeyinde 150mm kalınlığında, yansıtıcı özelliği olmayan bir kaplama tabakası bulunmaktadır. Bu tabaka, pil yüzeyinde olan yansımaları önler. Yansıtıcı olmayan kaplamanın altında, pilin elektrik akımının ortaya çıktığı iki farklı katmandan oluşan bir yapı bulunur. N-katmanı (n-tipi yarıiletken), fosfor atomları

eklenmiş silisyumdan oluşan ve pilin negatif tarafını oluşturan katmandır. P-katmanı ise (p-tipi yarıiletken), bor atomları eklenmiş silisyumdan oluşmuş, pilin pozitif tarafıdır. İki katman arasında, p-n kavşağı denilen, pozitif ve negatif yüklü elektronların karşılaştığı bir bölge bulunur. Pilin arka yüzeyinde, elektronların girdiği pozitif kontak görevi gören arka kontak yer alır [32]. Şekil 3.7’de. monokristal silisyum kristal güneş pili yapısı verilmiştir.



Şekil 3.7 : Monokristal silisyum güneş pili yapısı [33]

Bu hücreler saf monokristal silisyumdan yapılır. Monokristalin temel özelliği yüksek verimliliğidir, bu hücrelerin laboratuvar şartlarında verimliliği %24,7, ticari modüllerinde ise %18-14 civarındadır. Bununla beraber üretim süreci karmaşık ve diğer teknolojilerden pahalıdır. Yapıları homojendir ve renkleri karakteristik olarak koyu maviden siyaha doğru değişir. Pahlama miktarına bağlı olarak yuvarlak, karemsi ya da kare şeklinde olabilirler (Şekil 3.8). Daire olan hücreler üretimlerinde az kayıp söz konusu olduğundan ucuz olmalarına karşın kullanım alanında yarattıkları kayıp yüzünden standart panellerde tercih edilmezler [28].



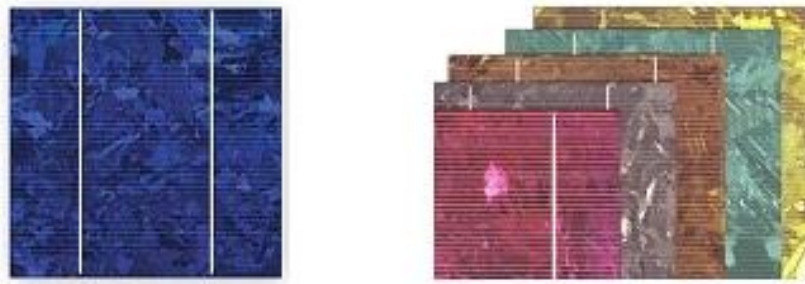
Şekil 3.8 : Monokristal silisyum güneş hücresi [34]

3.2.1.2 Polikristal yapılı güneş hücreleri

Polikristal malzemede damarların kristal yapılarının birbirlerine göre yönelmeleri dışında elektriksel, optiksel ve yapısal özellikleri özdeştir. Damarların büyüklükleri kristalin kalitesi ile doğru orantılıdır. Damarlar arasındaki süreksizlik özellikle elektriksel güç taşıyıcılarının aktarılmasında önemli ölçüde engelleyici rol oynamaktadır. Polikristal malzemenin elektriksel özelliklerinin küçülen damar büyüklüğü ile orantılı olarak bozulması, elde edilebilecek verimliliğin monokristalle karşılaştırıldığında küçük olmasına neden olur.

Polikristal hücreler polikristal silisyum külçelerinin kullanımıyla üretilir. Üretim sürecinde, eriyik silisyum külçeler halinde kare veya üçgen formlarda dökülür. Daha sonra soğumaya bırakılır. Bu külçeler çok ince silisyum pulları şeklinde kesilerek montajlanır. Yeni üretim metotlarında düşük maliyetli polikristal zar alt tabaka kullanılır. Bu alt tabakada metalurjik (madensel) derecesi çok iyi, silisyum tabaka, paslanmaz çelik, seramik, kuartz cam veya silisyum zarını tabaka olarak çöktürecek gelişmiş teknoloji kullanılır [2].

Polikristal hücreler daha basit üretim sürecinden dolayı monokristal hücre üretiminden daha ucuzdur. Bu hücrelerin laboratuvar şartlarındaki verimliliği %19,8, ticari modüllerinde ise %16-13 mertebesinde. Polikristal hücrelerin yapıları çok kristallidir ve ışığın yansımada bu kristaller rahatlıkla görülebilir. Renkleri antirefleksif kaplamayla mavi iken kaplamasız gri tonlarındadır. Şekil 3.9'da polikristal silisyum güneş hücresi ve renkleri verilmiştir.



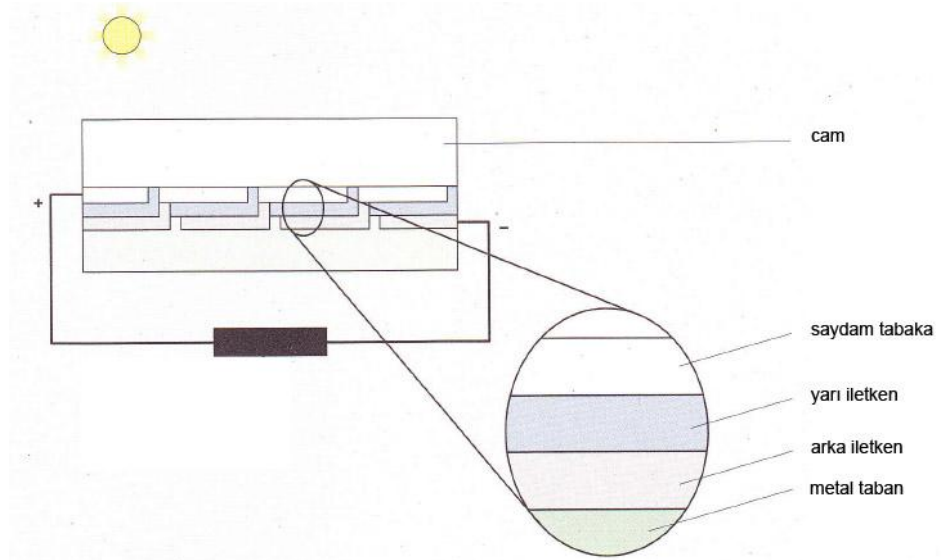
Şekil 3.9 : Polikristal silisyum güneş hücresi ve renkleri [34]

3.2.2 İnce film güneş hücreleri

Güneş pillerinde kullanılan malzemenin ve işçiliğin azaltılması, teknolojinin basitleştirilerek maliyetlerinin düşürülmesi yönünde yapılan araştırma ve geliştirme çalışmaları, yarı-iletken malzemenin geniş yüzeyler üzerine ince film şeklinde

kaplanması yöntemini ortaya çıkarmıştır. İnce film hücreler, plaka boyutlarıyla sınırlanmaz, istenilen boyutta kesilip yarı iletken malzemeye kaplanabilir. Bu alanda yapılan araştırma ve geliştirme çalışmaları güneş pilleri üretiminde kullanılabilecek birçok yarı-iletken malzemenin düşük maliyetlerde cam, metal ya da plastik folyo gibi tabakalar üzerinde geniş yüzeylere kaplanabileceğini göstermiştir.

İnce film güneş hücrelerinin yapısına baktığımızda,. ışığı gören ön yüzeyde, saydam iletken oksit tabaka denen ve adından da anlaşıldığı üzere oldukça saydam ve iletken bir metal oksit tabaka bulunmaktadır. Saydam iletken tabakanın altında yarı iletken tabaka vardır. Yarı iletken malzemeler olarak genelde amorf silisyum(a-Si), bakır indiyum diselenid (CIS) ve kadmiyum tellürid (CdTe) kullanılır Elektrik bağlantıları, arka yüzeyde opak bir metal kaplamayla sağlanır (Şekil 3.10).



Şekil 3.10 : İnce film güneş hücresi yapısı [34]

İnce film hücrelerin düşük verimliliklerine rağmen enerji randımanı bazı koşullarda kesinlikle dikkate değerdir. Yayınık ve az ışık koşullarında, ayrıca yüksek sıcaklıklarda performansları diğer hücrelere kıyasla daha iyidir. Bulutlu ve kapalı havalarda da enerji üretimine devam ederler. Hücre şekilleri yüzünden gölgelenmeye karşı daha az hassasiyet gösterirler. Kristal silisyum teknolojisiyle kıyaslandığında, daha az hammadde ve enerjiyle üretilmektedir [28].

İnce film güneş pilleri; selenyum elementlerinin bir aralığı olan bakır indiyum-diselenid (CIS), bakır, iridyum, kadmiyum ve tellür elementlerinden meydana gelen birleşik yarı-iletken kadmiyum tellür (CdTe) ve amorf silisyum (a-Si) güneş pilleri olmak üzere 3'e ayrılmaktadır.

3.2.2.1 Bakır indiyum diselenid güneş hücreleri

Bu hücrelerin aktif yarı iletken malzemesi adından da anlaşıldığı sürece bakır indiyum diseleniddir. Elektronik özelliklerinin verimliliği kritik şekilde bakır/indium oranına ve stokiometrisine (elementlerin birbiri ile ne nispette birleştiklerinin belirtisi) bağlıdır [35].

CIS hücreler, amorf hücrelerde olduğu gibi ışığa bağlı verim kaybına uğramaz. Bununla beraber, sıcak ve nemli koşullarda kararlılık sorunları baş gösterir. Bu nedenle, nemli ortamlarda yalıtıma çok önem verilmelidir. CIS hücreler, şu anda en verimli ince film teknolojisidir. Seri üretimle birlikte, üretim maliyetlerinin kristal silisyum hücrelere oranla düşük olması beklenmektedir.

Bakır indiyum diselenid güneş pillerinden laboratuvar şartlarında %18,8 ve enerji üretimi amaçlı geliştirilmiş olan prototip bir modülde ise %14-10 verim elde edilmiştir [11]. Şekilleri istendiği gibi olabilir. Hücreler maksimum 1,20mm x 0,60 m² boyutundadır. 3mm altlık (sertleştirilmemiş cam) ile 0,003 mm kaplama kalınlığına sahiptir. Homojen bir yapıları vardır ve renkleri siyahtır [28].

3.2.2.2 Kadmiyum tellürid güneş hücreleri

Periyodik tablonun ikinci grubunda bulunan kadmiyum elementinin ve altıncı grubunda bulunan tellür elementinin bir araya gelmesi ile oluşan kadmiyum tellürid oda sıcaklığında enerji aralığı maksimum güneş-elektrik dönüşümü elde etmek için idealdir. Yüksek soğurma katsayısı yanında, ince film büyütme teknolojilerinin bir çoğu ile kolayca üretime olanak sağlaması, CdTe'ün güneş pili yapımında tercih edilme sebebidir [36].

Kadmiyum tellürid güneş pillerinden laboratuvar şartlarında %16,4 ve enerji üretimi amaçlı geliştirilmiş olan prototip bir modülde ise %10 verim elde edilmiştir. Üretim süreci pahalı değildir. Hücrelerin şekilleri yine istendiği gibi olabilir. Hücreler, 3mm substrat kalınlığına ek olarak 0,008 mm kaplama kalınlığına sahiptir. Maksimum boyut 1,20mm x 0,60 m²'dir. Yapıları homojendir, renkleri de reflektif koyu yeşilden siyaha doğru değişir [28].

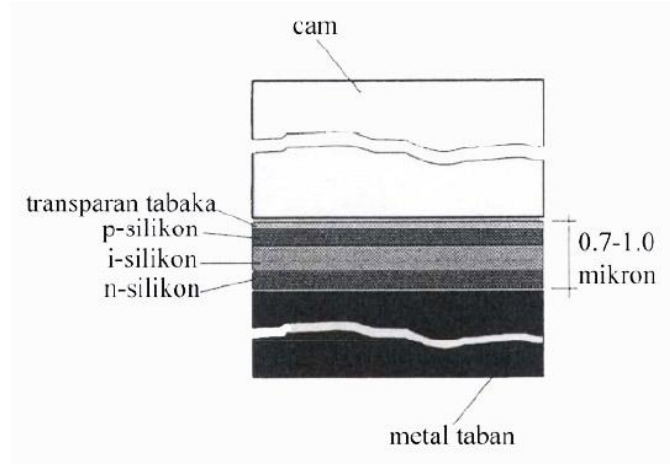
3.2.2.3 Amorf silisyum güneş hücreleri

Amorf silisyum hücreleri, kristal yapıdan ziyade ince homojen katmandaki silisyum atomlarından oluşur. Amorf silisyum, silisyum pulu kesmek yerine alt tabaka üzerine

çökmeyele oluşturulduğundan hücreler daha incedir. Bu sebeple amorf silisyum “ince film” PV teknolojisi olarak bilinir. Amorf silisyum geniş bir alt tabakanın üzerine kavisli ve bükümlü olarak uygulanabilir.

Amorf silisyumun yapısı, monokristal ve polikristal hücrelerdeki gibi düzgünlük göstermemektedir, bundan dolayı amorf hücrelerin etkinliği kristal hücrelere kıyasla daha azdır [2]. Malzeme içindeki yapı taşlarının gelişi güzel dizilimi, amorf silisyumun elektriksel iletim kapasitesini düşürmektedir [37]. Kristal yapı özelliği göstermeyen bu pillerden elde edilen verim labaratuvar şartlarında %13, ticari modüllerde ise %10,5-7,5 mertebesindedir.

Şekil 3.11.'de şematik amorf silisyum güneş pili yapısı verilmektedir.



Şekil 3.11 : Amorf silisyum güneş hücresi yapısı [38]

Bununla beraber az malzeme içerdiği için üretimi ucuzdur. Düşük maliyet gerektiren ve yüksek verimlilik gerektirmeyen uygulamalarda kullanılabilir. Hem ince katmanlar halinde kullanıldıkları hem de uygulamada sağladıkları kolaylıklar nedeniyle tercih edilmektedirler. Renkleri kızılımsı kahverengiden siyaha doğru değişir [28].

3.2.3 Yeni nesil güneş hücreleri

Yeni nesil güneş hücreleri, ilk nesil silisyum hücrelere göre hem düşük maliyetli hem de düşük verimli olan ince film teknolojisine alternatif olarak yapılan çalışmaları kapsamaktadır. Nanoteknolojiler gibi ince film teknolojisinden de ileri metotları içerir. Geleneksel silisyum hücrelerden daha verimli ve ucuz alternatiflere odaklanan araştırmalar kapsamında, yeni hücre tipleri ve PV teknolojileri yakın zamanlarda keşfedilmiş ve önerilmiştir.

Bu hücrelerin yapımında, polimer ve organik hücrelerde olduğu gibi yarı iletken teknolojisi içermeyen ya da kuantum dot, tandem ve çok bağlantılı hücreler, termofotonikler gibi farklı teknolojiler kullanılmaktadır. Silisyum nanoyapılar, gelen ışık spektrumunun değiştirilmesine, UV kaynaklı fazla ısının gerilimi artırmak için kullanımı, kızıl ötesi spektrumun gece ışığında da elektrik üretmesi gibi teknikler de çalışılan konular arasındadır. Bütün bu çalışmalar sonucunda nanoteknoloji ile ilgilenen bilim adamları ucuz, esnek, hafif ve az yer kaplayan üstelik de kesintisiz verim sağlayan çözümler geliştirmektedir.

Yeni nesil güneş hücrelerinin, gallium arsenide (GaAs), nanokristal güneş hücresi (DSC Boyalı Hücreler), mikrokristal ve mikromort güneş hücreleri ve hibrit hücreler olarak 4 grupta incelenenilir.

Gallium arsenide (GaAs)

Kristal silisyumdan sonra ikinci derecede önemli yarı iletken materyaldir. Led ve lazerlerde kullanılıyor. Güneş enerjisini dönüştürmede optimum elektrik alan boşluğuna sahiptir. Periyodik tablonun 3.ve 5. grup elementleri (örneğin: Al,In,N,P) ile kombinasyonu yapılabilir. Güneş hücre etkinliği %25 civarındadır ve üretimi çok pahalıdır [25].

Nanokristal güneş hücresi (DSC Boyalı hücreler)

1991 yılında İsviçreli profesör Michael Graetzel'in bulduğu bu hücreler silisyum teknolojisine alternatif olarak daha da geliştirilebilir. Graetzel hücresinin temel malzemesi, bir yarı iletken olan titanyum dioksittir (TiO₂). Bu yarı iletken, p-n bağlantısı prensibiyle çalışmaz. Bunun yerine, bitkilerin fotosentezi sırasında klorofilin güneş ışığını kullanması gibi, güneş ışığını bir organik boya sayesinde soğurur.

Bu teknolojiye kullanılan malzemeler zehirsizdir. Üstelik üretimleri ucuz ve kolaydır. Platin ve stabil boyalar gibi pahalı olan malzemelerden çok az miktarda kullanılır. Yine de, endüstriyel üretim için uzun dönem kararlılığı gibi çözülmesi gereken konular vardır' Laboratuvar ortamında küçük hücrelerle % 12 verime ulaşılmıştır. Avustralyalı STA firması tarafından yapılan ilk sınırlı seri üretimde verim % 5 olmuştur. Bu hücreler, gölgeye ve verimsiz düşme açılarına karşı iyi tolerans gösterir. Kristal hücrelerin tersine, yüksek sıcaklıklarda verimleri artar. Bu yüzden, iç mekanlarda kullanılan küçük aletler ve binalara entegre edilen sistemler

için çok uygundurlar.Şekil 3.12’de Gratzel titanyum dioksit güneş hücresi verilmiştir.



Şekil 3.12 : Gratzel titanyum dioksit güneş hücresi [39]

Mikrokristal ve mikromorf güneş hücreleri

Silisyum, tamamen zehirsiz ve neredeyse hiç tükenmeyecek kadar çoktur. Gelecek vaat eden bir teknoloji de, hücrelerin kristal silisyumdan ince film şeklinde üretimidir. Bu teknolojiye, silisyumun malzeme olarak avantajının yanı sıra, ince film üretim teknolojisinin nimetlerinden de yararlanılır. Araştırmalar iki yönde ilerlemektedir. Daha önce bahsi geçen Apex hücrelerdeki üretim metodu ilk yondür. Burada yüksek sıcaklıklarda elde edilen yüksek kaliteli silisyum film, ucuz altlık yüzeye kaplanır ve polikristal hücrelerdeki gibi büyük granüllü yapılar elde edilir. İkinci tipte ise daha düşük sıcaklıktaki işlemler söz konusudur. Bu düşük sıcaklıklar sayesinde, cam, metal ya da plastik malzemeden ucuz substratlar kullanılabilir. Bu işlemin sonucunda üretilen silisyum filmler, mikrokristal yapılıdır ve amorf silisyum teknolojilerine benzer işlemlerle üretilir.

Mikrokristal hücrelerin ulaştığı maksimum tutarlı verimlilik %8,5'tur. Daha iyi sonuçlara ise mikrokristal yapılı ve amorf silisyumun birleşik kullanılmasıyla oluşan tandem hücrelerle ulaşılır. Bu tandem hücrelere, mikrokristal ve amorf kelimelerinin bileşiminden oluşan mikromorf hücreler denir. Bu hücrelerde ulaşılan maksimum kararlı verimlilik ise %12'dir. İlk ticari modül, Japon Kaneka firması tarafından piyasaya sürülmüştür.

Hibrit (HIT) güneş hücreleri

HIT güneş hücreleri konvansiyonel kristal ve ince film güneş hücrelerinin kombinasyonundan oluşur. HIT (Hetero-junction with Intrinsic Thin Layer) terimi, bu melez hücrelerin yapısını tanımlar. HIT'leri oluşturan yapı, katkısız ek bir ince film tabakayla bağ yapan kristal ve amorf silisyum içermektedir. Amorf ince film

hücrelerinde olduğu gibi, ışığa bağlı olarak verimlilikte azalma yoktur. Kristal hücrelerle kıyaslandığında HIT hücreleri yüksek sıcaklıklarda daha verimlidir.

Hücre şekilleri, 104 mm x 104 mm boyutunda pahlanmış karedir ve verimlilikleri % 17,3'tür. Hücre yapısı, homojen ve hücreler koyu mavi, hatta neredeyse siyah renktedir.

3.2.4 Güneş hücrelerinin karşılaştırılması

Kristal yapılı güneş hücreleri verimi en yüksek güneş hücreleridir. Polikristal hücrelerin verimi monokristal hücrelere kıyasla daha düşük olmasına rağmen, üretim maliyetlerinden kaynaklı fiyatı daha düşük olduğundan dengelenmektedir. İnce film hücreler kristal yapılı hücrelere kıyasla verimi daha düşüktür, 1 kWp PV gücünde bir sistem oluşturmak için daha çok alana ihtiyaç duyulmaktadır fakat fiyatları kristal hücrelere göre daha düşük olduğundan tercih edilmektedir. İnce film hücrelerde verimi en yüksek olan hücre bakır indiyum diselenid (CIS)'dir, bunu kadmiyum tellürid (CdTe) ve amorf silisyum (a-Si) takip eder. Güneş hücrelerinin verimlilikleri ve 1kWp için gerekli alanlar karşılaştırmalı olarak Çizelge 3.3'de verilmiştir.

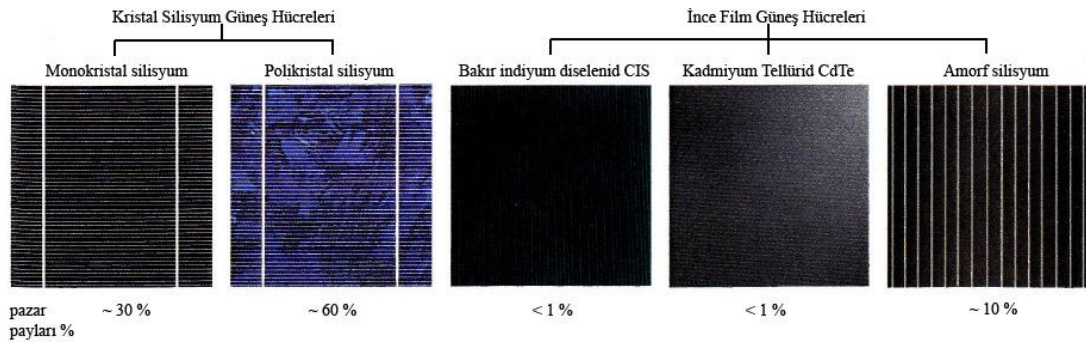
Çizelge 3.3 : PV hücrelerin verimlilikleri ve 1 kWp için gerektirdiği alan [28]

Güneş hücresi malzemesi	Hücre malzemesi (laboratuvarda)	Hücre verimi (üretimde) %	Modül verimi (üretimde) %	1 kWp için gerekli alan m ²
Kristal Silisyum Güneş Hücreleri	Monokristal silisyum (m-Si)	24,7	18	14
	Polikristal silisyum (p-Si)	19,8	16	13
İnce film Güneş Hücreleri	Bakır indiyum diselenid (CIS)	18,8	14	10
	Kadmiyum tellürid (CdTe)	16,4	10	9
	Amorf silisyum (a-Si)	13	10,5	7,5

Tasarım sürecinde, PV panellerin montajı ve mimari çözümler önemli rol oynar. PV modüllerin ömürlerini değerlendirdiğimizde, çok uzun süreler boyunca verimli olduklarını söyleyebiliriz. Genelde 25 sene garanti süresi biçilse de, 45 yıldır kullanılan ve hala da güçlü bir şekilde çalışan paneller de vardır. Onlarca yıl süren testler sonrası olgun bir ürün olan kristal silisyum yapıli hücrelerde yılda % 0,25 ile % 0,50 arasında bir verim kaybı görölmektedir. İlk nesil amorf modüllerde bu kayıp fazla olmuşsa da, günümüzde sürekli gelişen teknolojilerle beraber neredeyse kristal yapıli hücrelerle aynı değerler yakalanmaktadır.

PV teknolojileri temelde transistör teknolojisine benzer ve transistörlerin sürekli kullanım sonrası 20 yıl rahatlıkla verimli çalıştıkları düşünöldüğünde üreticilerin panellere 25 yıl garanti süresi vermesi kolayca anlaşılır. Üstelik panellerin gün boyunca yalnızca 6-8 saatlik bir aktif çalışma süresi olduğu göz önünde tutulursa, PVler için 60-80 yıla kadar uzayan yaşam süreleri hayal etmek doğaldır. 1960'ların sonunda, uzayın zorlu koşullarına bırakılan hücreler hala gayet iyi çalışmaktadır.

PV güneş hücrelerinin pazar paylarına bakıldığında, pazarın %60'ını polikristal güneş hücreleri oluştururken, monokristal güneş hücreleri %30'unu, amorf silisyum güneş hücreleri ise %10'unu oluşturmaktadır. Kadmiyum tellürid ve bakır indiyum güneş hücrelerinin pazar payı %1'den azdır (Şekil 3.13).



Şekil 3.13 : PV güneş hücreleri ve pazar payı oranları [40]

Çizelge 3.4'de güneş hücrelerini üretebilmek için gerekli oluşum enerjileri karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmaya göre monokristal güneş hücreleri en fazla oluşum enerjisine sahip güneş hücreleri olduğundan maliyetleri oldukça yüksektir. Polikristal güneş hücreleri ise monokristal güneş hücrelerinden daha az oluşum enerjisine ihtiyaç duyar. İnce film güneş hücrelerinin oluşum enerjisi kristal güneş hücrelerine kıyasla oldukça düşüktür.

Çizelge 3.4 : PV güneş hücrelerinin oluşum enerjileri [41]

Güneş hücresi	Enerji MJ/m ²	Karbon kg CO ² /m ²
Monokristal silisyum	4750	242
Polikristal silisyum	4070	208
İnce Film	1305	67

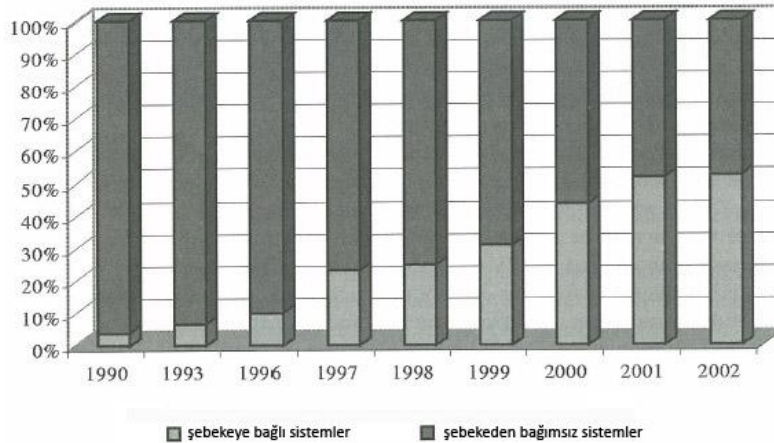
3.3 PV Sistem Türleri

Günümüzde, değişik gereksinimlere, ekonomik koşullara, yapı işlevine, çevresel zorlamalara bağlı olarak PV sistemler;

- Şebekeden bağımsız sistemler,
- Şebekeye bağlı sistemler,
- Karma (hibrit) sistemler,

olmak üzere 3 ayrı biçimde yapılandırılabilir [38].

Şu an dünyada bazı ülkelerde uygulanan güneş elektriği satış tarifeleri ve satın alma garantileri nedeniyle şebeke bağlantılı sistem uygulamaları şebeke dışı akülü sistemlere göre ciddi bir ağırlık ve hız kazanmış olsa da, güneş enerjisinden elektrik üretimi ile ilgili ilk uygulamalar akülü sistemlerle ve şebekenin olmadığı alanlarda, şebekeden bağımsız olarak başlamıştır.Şekil 3.14’de şebekeye bağlı ve şebekeden bağımsız sistemlerin yıllara göre kullanım yüzdeleri verilmiştir.

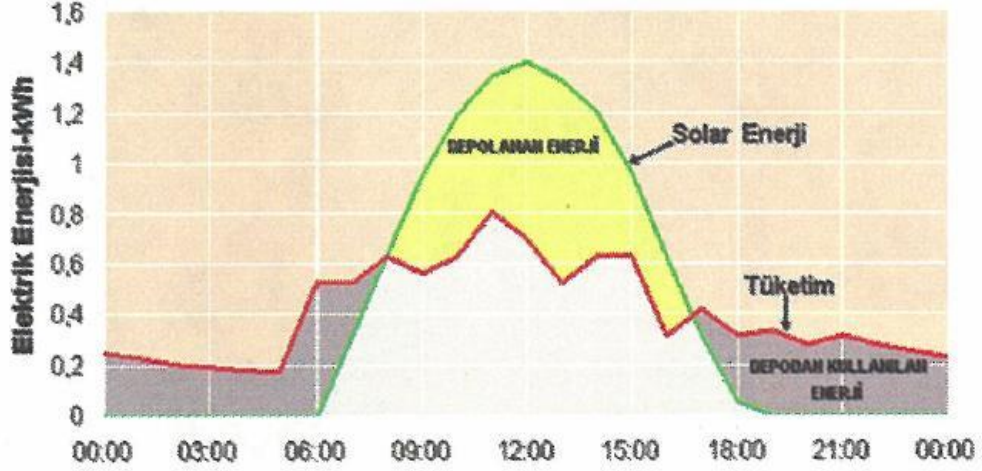


Şekil 3.14 : Şebekeye bağlı ve şebekeden bağımsız sistemlerin yıllara göre uygulanma yüzdeleri [42]

3.3.1 : Şebekeden bağımsız sistemler

PV dizileri ve depolama sisteminden oluşan bu sistemlerde destekleyici bir ek kaynak yoktur. PV panellerin ürettiği elektrik, yükün tamamının karşılanmasında

kullanılır. Bu tür PV sistemlerde güneş ışığının yeterli olmadığı sürelerde yükün karşılanmasının sürekliliği için saklama sisteminin mutlaka olması gerekir. Basit bir kendine yeter PV sistemde, güneşli saatlerde üretilen elektrik enerjisi pillerde depolandıktan sonra doğrudan kullanım alanlarına aktarılır [29]. Şekil 3.15’de şebekeden bağımsız bir konutun tipik PV enerji üretim tüketim grafiği verilmiştir.



Şekil 3.15 : Şebekeden bağımsız bir konutun enerji üretim tüketim grafiği [28]

Bu sistemlerin planlanmasında dikkate alınan ana kriter, enerji tüketiminin üretilen enerjiyle dengelenmesidir. Güneş enerjisinin sınırlı ve de zaman zaman kesintili olduğu hesaba katılırsa bu sistemlerin tasarlanmasında günlük elektrik tüketimi, ısıtım seviyesi ve akü kapasitesi gibi değişkenlerin gerçek değerlerinin bilinmesi çok önemlidir. Üstelik bu durum yıl boyunca elektrik üretimi talep edildiğinde daha da karmaşık bir hal alır. Türkiye’yi ele aldığımızda, yaz ile kış arasındaki ısıtım farkı bölgeye göre 3 ile 4 kat arasında değişmektedir, kış ayındaki ısıtım değerlerine göre tasarlanan sistemlerde, yılın geri kalan zamanlarında enerji fazlalığı oluşacaktır. Bu da hiç de ekonomik ve ekolojik olmayan durumların ortaya çıkmasına yol açar.

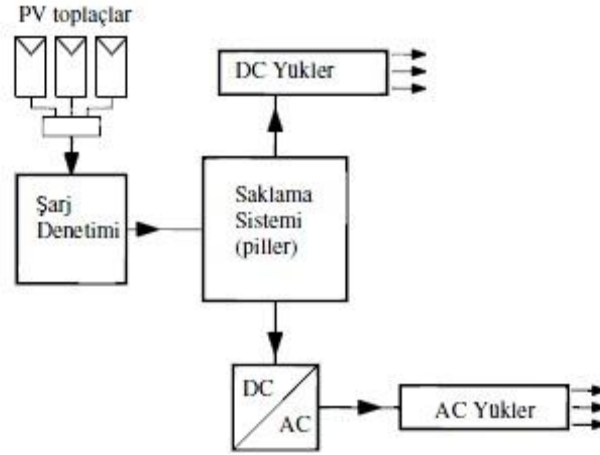
Yaşam ömrünün çok kısa bir oranında kullanılan bir PV sistemin üretiminde kullanılan enerjinin geri ödemesi de çok uzun zaman alacaktır. Böyle koşullarda jeneratör ya da rüzgar türbini gibi başka enerji kaynaklarını da içeren çözümleri düşünmek daha faydalıdır [28].

Şebekeden bağımsız olan sistemlerin çok fazla enerji gerektirmeyen, enerji kaynaklarına ulaşımın pahalı olduğu yerlerde kullanılması uygundur. İstenilen yerde ve gerek duyulduğunda üretildiği, karışık kablolamaya gerek kalmadığı için faydalı bir sistemdir. Bu sistemlerin kurulacağı yerin, iletim hattından en az 800m uzaklıkta

olması gerekir. Bu durumda; trafo, direk, kablo maliyetinin güneş enerjisi maliyetinden daha yüksek olduğu alanlarda kurmak mantıklı bir çözümdür [43].

Şebekeden bağımsız sistemlerde, pillerin niteliği, sayısı, bakım onarımı, DC – AC çevrimci niteliği sayısı, sistemin yapılandırılması, kablolama ve bağlantı özellikleri sistem verimi üzerinde etkilidir.

Şekil 3.16’da. şebekeden bağımsız sistemlerin PV şeması verilmiştir.



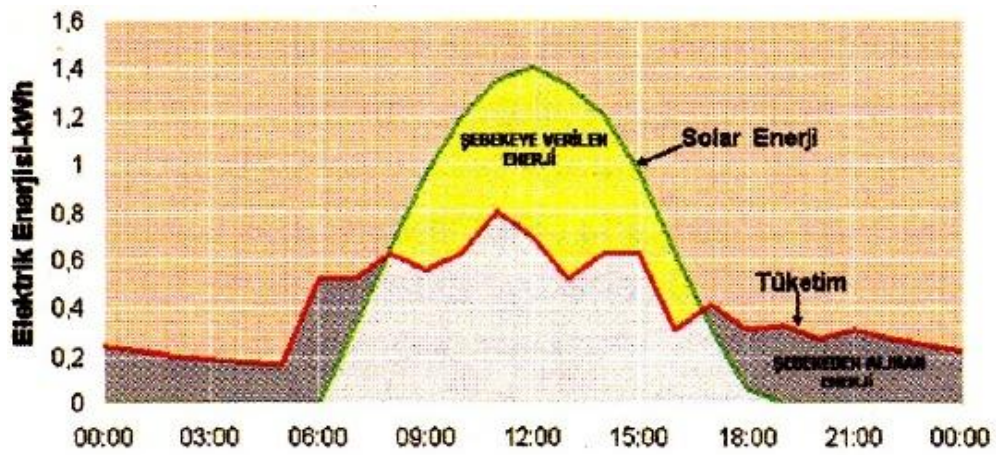
Şekil 3.16 : Şebekeden bağımsız PV sistem şeması [29]

Şebekeden bağımsız PV sistem tasarımı için aşağıdaki adımlar izlenir;

- Günlük tüketimin, mevcut elektrikli aletlerin tüketim değerlerinin Watt (W) ve kullanılan sürelerinin saat birimleri göz önüne alınarak Wh biriminde hesaplanması
- Sistemin kurulacağı konumdaki yıllık efektif güneşlenme süresinin ve güneş paneli kapasitesinin belirlenmesi
- Sistemin montaj yerinin ve buna uygun montaj konstrüksiyonunun seçilmesi
- Montaj alanının etrafında gün içerisinde gölge yapması muhtemel yapıların ve günün ilgili saatlerindeki gölge miktarının belirlenmesi ve hesaplanması
- Sistemin kurulacağı konumda başka yenilenebilir kaynaklar varsa ve hibrit bir sistem tasarlanması düşünülüyorsa , bu sistemlerin belirlenmesi
- Evirici (invertör) kapasitesinin hesaplanması
- Kablolama alt yapısının oluşturulması
- Tasarlanacak sistemde daha sonra kullanılmak üzere enerjinin depolanacağı akü grubunun tipinin ve kapasitesinin belirlenmesi.

3.3.2 Şebekeye bağlı sistemler

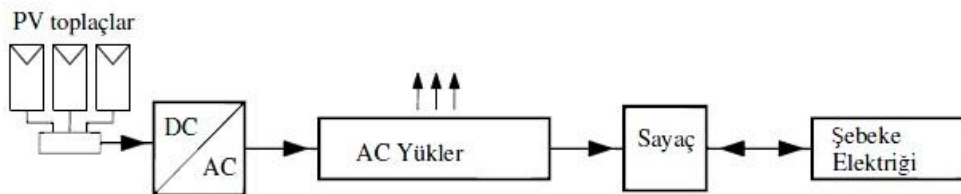
Ortak üretim sistemler olarak da adlandırılan bu sistemlerde yükün gerektirdiği elektrik enerjisi, PV sistemin ve genel şebekenin ortaklaşa çalışmasıyla karşılanır. Bu sistemde; tüketilen enerji miktarı PV sistemin ürettiği enerji miktarından fazla ise kalan miktar şebeke tarafından karşılanır. Eğer; PV sistemin ürettiği enerji o anda tüketilen enerjiden fazla ise, bu fazla miktar şebekeye belli bir bedel karşılığı satılır. Bu sistemlerde akü kullanılmamaktadır. PVlerden üretilen elektrik ayrı bir sayaç üzerinden ayrı bir tarifieden şebekeye satılır. Şekil 3.17’de şebekeye bağlı bir konutun tipik PV enerji üretim tüketim grafiği verilmiştir.



Şekil 3.17 : Şebekeye bağlı bir konutun tipik enerji üretim tüketim grafiği [28]

Şebekeye bağlı sistemlerde en önemli konu, şebeke ile sistem arasında enerji niteliği uyumunun ve güç dengesinin kurulmasıdır. Sistemde kullanılan DC – AC çevrimcilerin nitelik ve sayıları, sistemin planlama özellikleri, kablolama, bağlantı özellikleri, şebeke özellikleri gibi konular sistem verimini belirlediğinden bu tür sistemlerde aygıt seçimi ve denge sisteminin yapılandırılması, sistem verimi açısından büyük önem taşır.

Şebekeye bağlı PV sistemin 24 saatlik enerji üretim profili Şekil 3.18’de görüldüğü gibi süreksiz bir karakterdedir.



Şekil 3.18 : Şebekeye bağlı PV sistem şeması [29]

Güneş enerjisi depolanarak sürekli bir hale getirilebilse de, elektrik şebekesinin bulunduğu yerlerde enerji depolama sisteminin yatırım ve kullanım maliyetlerinden kaçınılarak daha ucuz ve güvenilir olan şebekeye bağlı PV sistemler kullanılmaktadır.

Şebekeye bağlı PV sistem tasarımı için aşağıda listelenen adımlar izlenir;

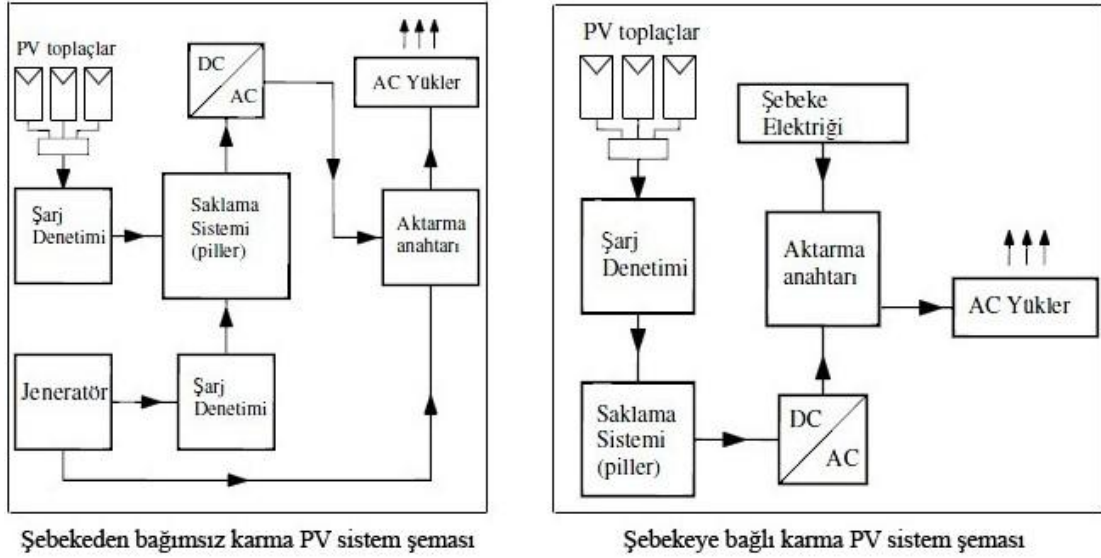
- Sistemin gücü ihtiyaca değil, PV panellerin kurulabileceği alan büyüklüğü ile ya da bu sistemin kurulması için ayrılmış bütçe ile sınırlıdır. Üretilen elektrik yüksek fiyatlı bir tarife ile satılacağı için mümkün merteye büyük bir sistem kurulmaya çalışılır.
- PV modül teknolojisinin seçilmesi: Farklı PV teknolojilerinin verimleri, sıcaklık kayıpları ve düşük ışınım şartlarındaki verimleri farklıdır. Tüm değişkenlerin değerlendirilmesi gereklidir.
- Sistemin montaj yerinin ve buna uygun montaj konstrüksiyonunun seçilmesi
- Montaj alanının etrafında gün içerisinde gölge yapması muhtemel binaların ve günün ilgili saatlerindeki gölge miktarının belirlenmesi ve hesaplanması
- Evirici (invertör) konseptinin belirlenmesi
- Evirici (invertör) gücünün hesaplanması
- Evirici geriliminin hesaplanması
- Paralel PV dizi gruplarının sayısının belirlenmesi
- Kablolama altyapısının oluşturulması.

3.3.3 Karma (hibrit) sistemler

Güneş pili sistemlerinin diğer enerji kaynakları ile birlikte kullanıldıkları bileşik sistemlere karma sistemler adı verilir. Elektrik üreticileri ve depolama aygıtları beraber çalışır.

Karma sistemlerde saklama sisteminin yanı sıra, fazladan güç gereksinimi olması durumunda sisteme enerji sağlayacak ve saklama aygıtlarını (piller) dolduracak, katı yakıtlı ya da doğalgazlı geleneksel elektrik üretim sistemleri de bulunur. Karma sistemler daha karmaşık denetleme sistemlerine gereksinim duymasına karşın diğer sistemlere göre daha güvenilirdir. Bu tür sistemlerde gerekli enerjinin sağlanmasında geleneksel sistemlerden ya da şebeke elektriğinden de yararlanıldığından daha az PV

panel alanları yeterli olabilmektedir. Jeneratör gibi ek kaynakların kullanıldığı karma sistemler genelde, uzak yerleşim alanları gibi elektrik şebekesinin erişiminin zor olduğu ya da küçük sağlık birimleri gibi kesintisiz enerjiye gereksinim duyulan uygulamalarda kullanılmaktadır. Şekil 3.19'da şebekeden bağımsız ve şebekeye bağlı karma PV sistem şemaları verilmiştir.



Şekil 3.19 : Karma PV sistem şemaları [29]

3.4 PV Sistemlerin Binalarda Kullanımı

Yenilenebilir enerji kaynaklarının mimaride kullanımı sürdürülebilir bir çevre ve sürdürülebilir bir gelecek için önem taşımaktadır. Fosil yakıtların önemli ölçüde binalar tarafından tüketiliyor olması binalara ve tasarımcılarına ciddi bir sorumluluk getirmektedir. En çok gelecek vaat eden yenilenebilir enerji kaynağı olarak güneş enerjisinden yararlanan PV sistemler, temiz bir gelecek için birçok fırsat sunmaktadır. PV'ler tasarımın başında bina fonksiyonu ve bina enerji konseptinin ayrılmaz bir parçası olarak ele alınmalıdır. PV'lerin bina elemanları ile entegrasyonunun sağlanması gerekmektedir. PV'lerin halen pahalı bir teknoloji oluşu optimal kullanımı beraberinde getirmektedir [2].

Binalarda kullanılan PV sistemlerin çevreye, şebekeye, binaya ve kullanıcılara birçok faydası vardır. Bunlardan bazıları;

- Elektrik iletimi ve dağıtımındaki enerji kayıplarını ortadan kaldırması,
- Çeşitli ve esnek enerji sistemleri oluşturulabilmesi,
- Hızlı ve kolay monte edilebilmesi [44],

- Herhangi bir ekstra alan gerektirmeden binanın kabuğuna entegre edilebilmesi,
- Binanın elektrik tüketimini azaltmada katkıda bulunması,
- Sessiz bir sistem olması,
- Binaya entegre fotovoltaik bileşenler, geleneksel yapı malzemelerinin yerini alarak ilk yatırım maliyetinde malzeme ve işçilik bedelini düşürmesi,
- Sera gazı emisyonunu azaltarak kullanıcılara daha temiz bir yaşam çevresi oluşturması,
- Çok yönlü bir malzeme olması, sadece elektrik üretmekle kalmayıp aynı zamanda binanın termal ve aydınlatma performansını arttırmasıdır. Bu yüzden, binaya entegre PV sistem tasarlarırken binanın ısıtma, soğutma ve aydınlatma yükleri göz önünde bulundurulmalıdır. Örneğin, atriumda yarı saydam PV modülleri kullandığımızda hem gölgeleme sağlayarak binanın soğutma yükünü azaltır, hem de gündüzleri doğal aydınlatma sağlayarak binanın enerji yükünü hafifletir [45].

3.4.1 Binalarda kullanılan PV sistemlerin tasarımı

PV sistemler sadece yeni projelerde değil, yenilenme projelerinde de kullanılarak binaya entegre edilebilir. PV sistemlerin tasarım aşamasında ele alınması hem verimlilik açısından hem de estetik açıdan daha iyi bir çözüm olmaktadır. Tasarım aşamasında ilk olarak PV modüllerini maksimum enerji üretimi yapacak şekilde tasarlanması konusu ele alınmalıdır [24]. Binaya entegre edilmiş PV'lerin verimi, PV serilerinin sistemdeki kayıplarıyla orantılıdır. Serilerin enerji üretimi;

- Coğrafi konum,
- Bina konumu,
- Yön ve yüzey eğim açısı,
- Gölgeleme ve
- Sıcaklık

faktörlerine bağlı olarak değişiklik gösterir.

Coğrafi konum

PV sistem, güneşten yararlanma esasına dayandığı için güneş verileri çok önemlidir. Güneşlenme miktarı binanın bulunduğu enlem ve bölgesel iklime bağlıdır. PV

uygulamanın yapılacağı yerin, yıllık güneş alma süresi ve şiddetinin etüt edilmesi gerekmektedir. Bulunan değerlere göre tasarım hesaplamaları yapılmalıdır [33].

Yüksek sıcaklık sonucu PV panellerin arkasında oluşan ısı, sistemin verimini düşürmektedir. Bundan dolayı sıcak olan bölgelerde panellerin arkasında oluşan ısının dağıtılması ve kısmi bir soğumanın gerçekleşmesi için rüzgar istenilen bir durumdur. Soğuk iklimlerde ise karın paneller üzerinde birikmesi, güneş ışıının güneş hücresine gelmesini engellediğinden verimde düşüşler görülür [2]. Bu nedenle panellerin temizliğinin düzenli yapılması gerekir.

Bina konumu

Binanın konumu, çevredeki binalar ile arasındaki mesafe binayı etkileyen güneş ışıını miktarını belirleyen önemli bir tasarım parametrelerinden biridir. Kentsel alanlarda diğer binalar tarafından gölgelenmek daha genel bir durum olduğundan binaların birbirlerinin güneş ışıını kazançlarını engellemeyecek şekilde konumlandırılması gerekmektedir.

Yön ve yüzey eğim açısı

PV'lerin bulunduğu yön, sabit bir alanda bulunan binalara ve bina yoğunluğuna rağmen maksimum güneş ışıını alan yöndür. PV'lerin maksimum güneşlenmesi yöne ve modüllerin yüzey açısıyla orantılıdır.

Eğer kar yağışının olduğu bir yerde uyguluyorsak PV panelleri daha dik yerleştirmek gelen karın kaymasını kolaylaştırır [24].

Gölgeleme

Gölgeleme, arazinin bulunduğu coğrafi yapıya, komşu binalara ve mimari formların kendini gölgelemesiyle oluşur. PV sistemin kurulacağı alanda bina yoğunluğu önemlidir, şehir ve kent merkezlerinde binalar arası mesafeler çok az olduğundan senenin belli zamanlarında gölge oluşumları meydana gelecektir. Bu durumda cephe sistemleri gölgelenmeye karşı çatılara oranla daha hassas olacaktır [44].

Mimari tasarım esnasında gölgelemeye sebep verecek her türlü engellemeden kaçınmak gerekir. Bunlar telefon direkleri, bacalar, ağaçlar, diğer binalar ve PV serilerinin birbirine yapacağı gölgelemelerdir. Tasarım esnasında aşağıdaki maddeler göz önünde bulundurulmalıdır.

- Baca, havalandırma bacası gibi elemanlar kuzeye yerleştirilmeli

- Asansör odası, su tankı ve makine odaları kuzeye yerleştirilmeli
- Merdivenlerin PV'leri gölgelemediğinden emin olunmalı
- Gölgeleme yapacak ağaç varsa cephe yerine çatı tercih edilmeli
- Komşu binaların gölgeleme mesafeleri göz önünde bulundurulmalı, yeterli mesafe yoksa PV'lerin konumu analiz edilmelidir.

PV'ler dizi halinde birbirlerine bağlandıkları zaman gölgeleme çok daha fazla önem kazanmaktadır. Kısmi olarak gölgelenmiş tek bir modül tahminin aksine çok daha fazla kayba sebep olur. Çünkü bu gölgelenmeden tüm seri etkilenecektir. Ufak objelerin yarattığı gölgeler daha az önemlidir. Gölge gün boyu değişeceğinden indirek güneş ısığı önemlidir. Bazı modüller üzeri kaplandığı ya da gölge düştüğü zaman kısa devre yapar. Alternatif akım (AC) modülleri gölgelemenin bu etkisini izole eder. Her modül doğru akım (DC) gücü üretimini alternatif akıma dönüştürür ve tekil çalışır. Diğer PV teknolojileri, amorf silisyum ve titanyum dioksit hücreleri gibi, düzenli olmayan gölgelemelerden değişik elektriksel bağlantıları ve düşük ışıқта gösterdikleri daha iyi performanstan dolayı daha az etkilenirler. Mümkün olduğunca gölgelemeden kaçınmak gereklidir [44].

Sıcaklık

PV sistemlerin verimi sıcaklık arttıkça düşer. Bu düşüş amorf silisyuma oranla kristal silisyumlarda daha fazladır. Bu durum PV sistemin binaya entegrasyonunun en başında düşünülerek modülleri, arka taraflarından hava geçirecek şekilde tasarlamak gerekmektedir (Şekil 3.20). Bu aynı zamanda modüllerde oluşan istenmeyen sıcaklığın iç mekana geçmesini de önlemiş olur. Böylece konfor koşulları sürdürülür ve soğutma yükü arttırılmamış olur.

BIPV (building integrated photovoltaic - bina ile bütünleştirilmiş PV) modülleri yüksek ışıнімda 20-40°C nin üzerine çıkabilir. Hücrede oluşan her 1°C artış 25°C'nin üzerinde %0.4-0.5 enerji azalmasına sebep olur [38].

Aşağıda kristal yapıllı modüllerin çatı uygulamalarında sıcaklık artışına ve havalandırma durumuna göre verimlerdeki %'lik düşüş miktarları verilmiştir.

İyi havalandırma ile - 2.1 % (29°C sıcaklık)

Zayıf havalandırma ile - 2.6 % (32°C sıcaklık)

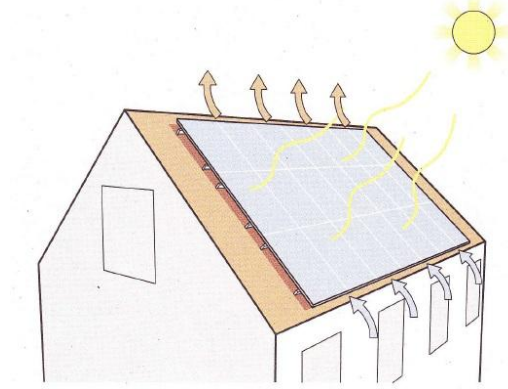
Havalandırmasız - 5.4 % (43°C sıcaklık)

Düşey cephelere entegre PV sistemler çatılara oranla havalandırılması daha zor sistemlerdir. Aşağıda bu sistemlerin sıcaklık artışına hava havalandırma durumuna göre sistem performansının verim düşüş miktarları verilmiştir [34].

İyi havalandırma ile -3.9 %(35°C sıcaklık)

Zayıf havalandırma ile - 4.8 %(39°C sıcaklık)

Havalandırmasız - 8.9% (55°C sıcaklık)



Şekil 3.20 : Çatıya entegre PV sistemlerin havalandırılması [34]

3.4.2 PV sistemlerin binalarda kullanım şekilleri

PV sistemlerin binalarda kullanımı 3 ana başlık altında incelenmiştir (Çizelge 3.5).

- Çatılarda kullanımı
- Cepheelerde kullanımı
- Farklı bina bölümlerinde kullanımı

Çizelge 3.5 : PV sistemlerin binalarda kullanımı

Pv Sistemlerin Binalarda Kullanım Şekilleri		
Çatılarda Kullanımı	Cepheelerde Kullanımı	Farklı Bina Bölümlerinde Kullanımı
Düz çatı	Perde duvar	Veranda
Eğimli çatı	Giydirme cephe	Güneş kepengi
Şet çatı	Gölgeleme elemanı	Giriş saçağı
Eğrisel çatı		Balkon korkuluğu
Atrium		

3.4.2.1 PV'lerin çatılarda kullanımı

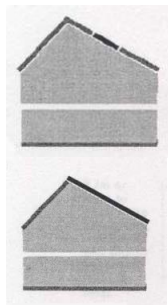
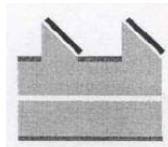
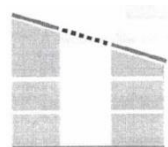
Çatılar, binalarda PV modülleri yerleştirmek için en uygun yerlerden biridir. Gerekli olan eğim ve yönelme çatıda daha kolay sağlanabilmektedir. Ayrıca uygulama esnasında gerekli olan strüktürler cephede kullanımından daha ucuzdur. Bununla

beraber genelde gölgelenmemesi istenilen eğimin kolay verilmesi açısından entegrasyonun kolay olması ve estetik görüntüsü avantaj sağlamaktadır.

Çizelge 3.6’da PV çatı sistemleri verilmiştir. PV’lerin çatıda kullanımı çatının türüne bağlı olarak 5’e ayrılabilir [44].

- Düz çatıda kullanımı
- Eğimli çatıda kullanımı
- Şet çatıda kullanımı
- Eğrisel çatıda kullanımı
- Atriumda kullanımı

Çizelge 3.6 : PV’lerin çatılarda kullanımı [2]

PV’lerin Çatılarda Kullanımı			
PV’lerin pozisyonu		Sistem	Özellikler
Düz Çatı		PV panel	Alt strüktür gerektirir.
Eğimli çatı		PV çatı panelleri	PV sistemi ile çatı strüktürü birleşir.
		PV kiremit	Kiremit veya singıl olarak kullanılır.
Şet çatı		PV paneller	Gün ışığına izin veren sistem.
Eğrisel çatı		Opak PV (alt çerçeve ve ya rijit modüllerle kavis verilir.)	Esnek tasarım imkanları sağlar.
Atrium		PV çatı panelleri	Opak ve yarı saydam PV lerle günışığı sağlanır.

PV'lerin düz çatıda kullanımı

Düz çatı PV tesisatı, optimal pozisyonda, destek yapılarla istenilen eğim açısıyla ve istenilen yere uygulanabilir çatı strüktürüne mekanik olarak sabitlenmiş teçhizat, vida ve civata ile PV'lerin aplikasyonunu sağlar. 10° 60° arasında modül ayarı yapılabilir ve 200km/h rüzgar yüküne dayanabilir. Her zaman estetik gözükmemekle beraber çatıyada ekstra yük bindirmektedir. Bu sistemler daha ucuz ve yüzlerce kilowatt elde edilmek istendiğinde tercih edilmektedir. Şekil 3.21'de düz çatıda PV uygulama örnekleri görülmektedir.



Şekil 3.21 : PV'lerin düz çatıda kullanımı [46]

PV'lerin eğimli çatıda kullanımı

Eğimli çatı konstruksiyonları, genelde konut yapılarında PV'lerin kullanımı için çok uygundur. PV paneller doğrudan çatı üzerine konulabildiği gibi çatı malzemesi olarak hava şartlarından korunmayı sağlayacak şekilde çatı yerine de kullanılabilir. Böylece çatı elektrik üretirken aynı zamanda kaplama fonksiyonunu da yerine getireceğinden uzun vadede daha ekonomik olmaktadır. Eğimli çatılarda PV kullanımını;

- Çatı örtüsü üzerine ek bir strüktür ile
- Çatı örtüsü ile bütünleştirilmiş

olarak 2 grupta inceleyebiliriz.

Çatı örtüsü üzerine ek bir strüktür ile PV kullanımı en ucuz sistemlerden biridir, çatı örtüsü üzerine profillerin montajı ile sağlanır. Yaygın tesisat yaklaşımı, özel çatı parçalarını takozların üzerine sabitlemektir. Dikey parçalar temeli oluştururken yatay alüminyum parçaları üzerine konur. PV'ler bunların üzerine vida veya contalarla

sabitlenir (Şekil 3.22). Bu montaj sistemlerindeki en önemli avantaj mevcut çatı ile panel arasında oluşan boşluğun ek bir ödeme yapmadan ve çaba göstermeden gerekli soğutmanın sağlanması için hava boşluğu bırakmasıdır [44].



Şekil 3.22 : Çatı örtüsü üzerine ek bir strüktür ile PV kullanımı [47]

Çatı örtüsü ile bütünleştirilmiş PV kullanımında ise, PV’ler normal çatı örtüsünün yerini alırlar. Böylece PV’ler iki görevi birden yerine getirmiş olurlar. Hem çatı malzemesi olarak kullanılırlar hem de elektrik üreterek binaların enerji giderlerini azaltırlar [41].

Bütünleştirilmiş sistemler çatı üzerine ek bir strüktür ile uygulanan montaj sistemlerinden daha estetikdir. Fakat modüllerin arkasını havalandırmak konusunda dezavantajları vardır. Şekil 3.23’de çatı örtüsü ile bütünleştirilmiş PV kullanımı görülmektedir.



Şekil 3.23 : Çatı örtüsü ile bütünleştirilmiş PV kullanımı [47]

Bütünleştirilmiş sistemlerde, çatı üzerinde özel güneş karoları (kiremit veya şingil) da kullanılabilir. Bu modüller sadece birkaç Wp’lik düzenli çatı karoları şeklindedir. Bu karoların kullanımı; PV’lerin klasik çatı ile bütünleştirilmesinden daha

problemsizdir. Aynı zamanda uygulamaları kolaydır ve kısa zamanda montajı yapılır. Şekil 3.24’de çatıda şingil PV kullanımı görülmektedir.



Şekil 3.24 : Çatıda şingil PV kullanımı [48]

PV’lerin şet çatıda kullanımı

Şet çatılar, yapı içine daha fazla gün ışığı almak amacıyla yapılan çatılardır. Kuzeye bakan ışıklıklarında yarı saydam, güneye bakan eğimli yüzeylerinde de opak PV kullanılması mümkündür. Şekil 3.25’de şet çatılarda PV kullanımı örneği görülmektedir.

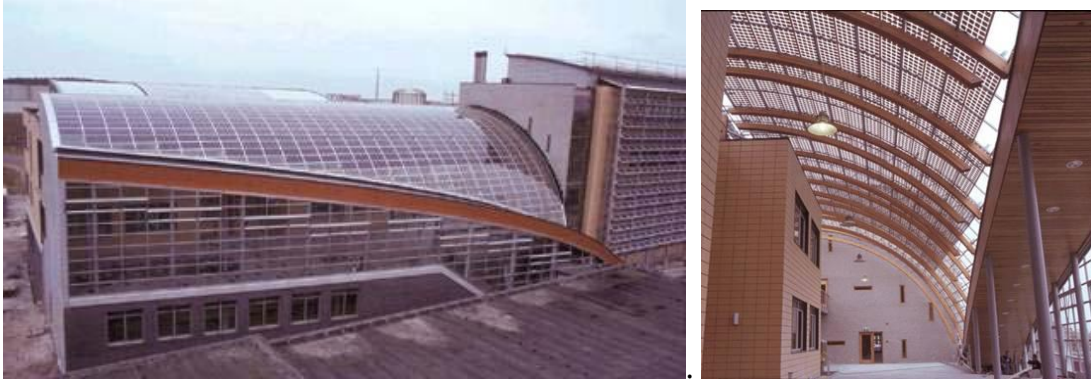


Şekil 3.25 : Şet çatıda PV kullanımı [49]

PV’lerin eğrisel çatıda kullanımı

PV’lerin eğrisel çatılarda metal sac veya sentetik esnek malzemeye uygulanmış amorf silisyum, ince film ya da eğrisel düzenlenmiş opak veya yarı saydam güneş pili modülleri kullanılmaktadır [50].

PV’lerin uygulanacağı çatılar alüminyum çerçevelerden oluşturularak, monüller çerçevelerin aralarına yerleştirilerek vidalanır. Şekil 3.26’da Hollanda’da monokristal esaslı PV’lerin ofis ve araştırma-laboratuar binasının eğrisel çatısında kullanımı görülmektedir.



Şekil 3.26 : Eğrisel çatıda PV kullanımı [33]

PV'lerin atriumda kullanımı

PV'lerin atriumda, çatı aydınlatması olarak kullanılması mimariyi canlandırıcı ve en detaylı kullanım şeklidir. Bu alanlar tasarım açısından PV kullanımı için referans noktaları oluşturur. Cam ile kaplı bu alanlarda ısıtmanın istenmediği dönemlerde güneşten korunma gereklidir. Saydam PV modüller standart modüllerden daha pahalıdır. Fakat entegrasyon olasılıkları, çoklu kullanım (gün ışığını geçirme, gölgeleme, pasif soğutma) ve mekanik soğutma sistem giderlerini azaltma gibi özellikleri toplam bina maliyetini düşürür. Güneş hücreleri arasındaki mesafe 5-20mm'dir ve içeriye alınmak istenilen ışık değerine göre bu mesafe ayarlanabilir [44]. Şekil 3.27'de Nottingham Üniversitesi'nde PV atrium örneği görülmektedir.



Şekil 3.27 : Atriumda PV kullanımı, İngiltere [50]

3.4.2.2 PV'lerin cephelerde kullanımı

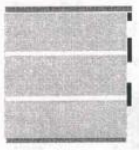
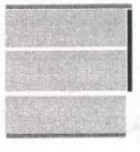
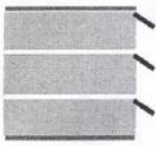
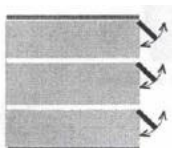
Cepheler binaların en büyük dış yüzeyini oluşturur. Binaya dıştan bakıldığında ilk etkiyi veren cephedir. Mimarlar isteklerini ve kullanıcıların beklentilerini cephenin

form ve renk alternatifleri ile dışa vururlar. PV'ler bina cepheleri için estetik kaygıların yaşandığı bölümdür. Geniş cephe alanlarında kullanılan PV'ler çoğunlukla dikey olarak kullanılır. Bununla birlikte cephelerin gölgeleneceği düşünülürse vaziyet planı ve gölgeleme modellerinin yapımı sırasında güneş ışınımı girdi olarak tanımlanmalıdır. PV'lerin cephelerde kullanımını

- Perde duvar
- Giydirme cephe ve
- Gölgeleme elemanı

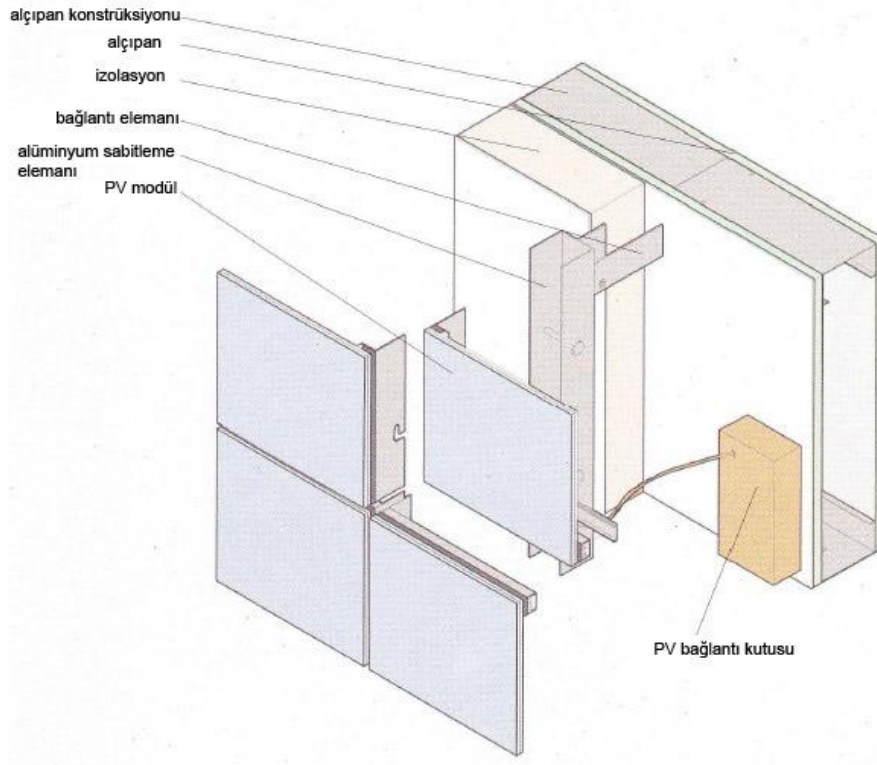
olarak 3'e ayırmak mümkündür (Çizelge 3.7).

Çizelge 3.7 : PV'lerin cephelerde kullanımı

PV'lerin Cephelerde Kullanımı			
PV'lerin pozisyonu		Sistem	Özellikler
Perde Duvar		PV cephe elemanı	Standart, ekonomik. Opak ve yarı-saydam PV'ler kullanılabilir.
Giydirme cephe		PV cephe elemanı	Bina ile PV arasındaki boşluktan hem havalandırma, hem de kabloların geçişleri sağlanır.
Gölgeleme elemanı		Sabit gölgeleme elemanı	Mimari estetik sağlıyor. Gün ışığı girişi az.
		Hareketli gölgeleme elemanı	Tüm sistemlerle beraber kullanmak mümkün. Gün ışığı girişi sabit gölgeleme elemanlarına göre daha fazla.

PV'lerin perde duvar olarak kullanımı

PV'lerin perde duvar olarak kullanılması, PV'lerin bina cephesinin bir parçası olması anlamına gelir. Binalarda perde duvar tüm cepheyi kapladığında çoğunlukla altında yalıtım bulunur. Yoğuşmayı engellemek için bu katmanın neredeyse hava geçirmez olması gerektiğinden PV serileri havalandırılmaz [44]. Şekil 3.28'de PV perde duvar sistem detayı verilmiştir.



Şekil 3.28 : PV perde duvar sistem detayı [34]

Perde duvar çerçeveleme sistemini basınç plakaları sistemi ve strüktürel silikon sistemi olarak 2'ye ayırabiliriz. Basınç plakaları sisteminde cam ünitesi kaplanmış bir plaka ile ön tarafından mekanik olarak tutulur. Basınç plakaları sisteminde, çerçeve sistemi dikey ve yatay bölmelerin bir araya gelmesiyle oluşur. Bölmelerin derinliklerinin PV modüle gölge yaratmayacak boyutlarda olması gerekir. Strüktürel silikon camlama sisteminde ise camın kenarları çerçeve sistemine yapıştırılır. Bu sistemlerde gölge oluşması gibi bir problem yoktur fakat hava sızdırmazlık sorunları ortaya çıkmaktadır.

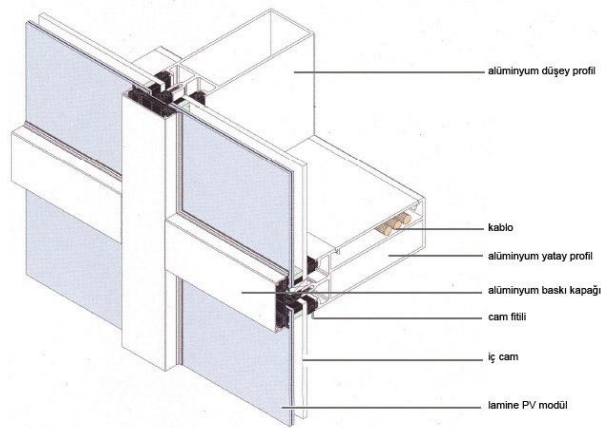
Şekil 3.29'da İngiltere'de kooperatif sigortacılık binasının servis kulesinin betonarme olan güney cephesine kaplanmış PV sistemini görmekteyiz. Bu sistemden senelik 180MWh/y enerji üretilmektedir.



Şekil 3.29 : PV'lerin perde duvarda kullanımı, İngiltere [34]

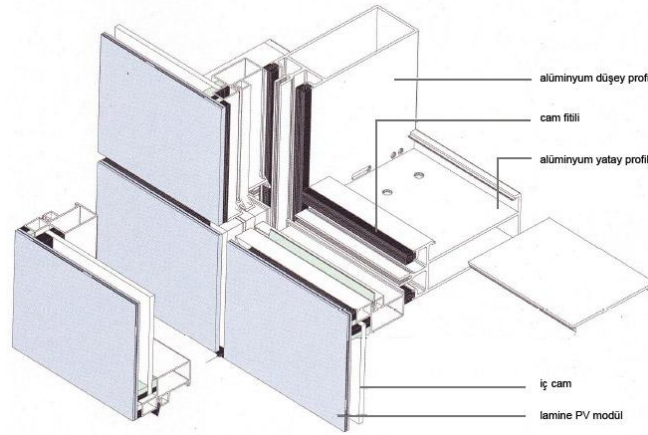
PV'lerin giydirme cephe olarak kullanımı

PV'ler doğrudan bina kabuğunu oluşturan bir eleman (giydirmce cephe elemanı) olarak uygulanabilirler. Bu kullanım fotovoltaiik bileşenlerin binanın cephesini oluşturduğu kullanımdır. Gıydirmce cephe uygulaması vardır: klasik (kapaklı) giydirmce cepheler ve strüktürel silikonlu giydirmce cephele olmak üzere iki çeşittir. Kapaklı giydirmce cephelerde cam bileşen, önden kapakla mekanik olarak taşınmaktadır. Bu sistemlerde düşey taşıyıcı profiller ve bunları bağlayan yatay profiller vardır. Kapakların yüksekliğı, fotovoltaiik bileşenlere gölge yapıp verimlerini düşürmemesi için mümkün olduğu kadar az tutulmalıdır. Çünkü gölge, fotovoltaiik bileşenin aldığı güneş ışınımını azaltarak verimini azaltır. Şekil 3.30'da kapaklı PV giydirmce cephe sistem detayı verilmiştir.



Şekil 3.30 : Kapaklı PV giydirmce cephe sistem detayı [34]

Strüktürel silikonlu giydirmce cephede ise camların tümü veya bir kısmı,kenarlardan taşıyıcı çerçeveye yapıştırılmaktadır. Strüktürel giydirmce cephe sistemlerinde böyle bir gölgeleme problemi olmamasına karşılık, bunda da yalıtım problemleri karşımıza çıkmaktadır. Şekil 3.31’de strüktürel silikonlu PV giydirmce cephe sistem detayı verilmiştir. Şekil 3.32’de ise PV’lerin giydirmce cephe olarak kullanımına örnek verilmiştir.



Şekil 3.31 : Strüktürel silikonlu PV giydirmce cephe sistem detayı [34]



Şekil 3.32 : PV sistemlerin giydirmce cephe olarak kullanımı [34]

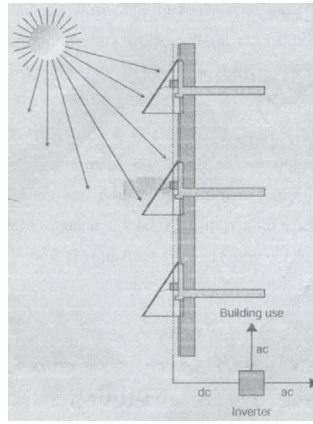
PV’lerin gölgeleme elemanı olarak kullanımı

PV’ler gölgeleme elemanı olarak kullanıldıklarında, bina içinde iklimsel konfor koşullarının sağlanması görevini de üstlenirler. Dikkatli tasarlandıklarında, direkt güneş ışınlarının istenmediği zamanda (ısıtmanın istenmediği dönem) iç mekana girmesini önlerler, istendiği zamanda (ısıtmanın istendiği dönem) ise direkt güneş ışınlarının içeriye girmesine izin verirler. Isıtmanın istendiği dönemde binayı gölgeleyerek elektrik üretmek çok mantıklı bir çözümdür. Bunun farkında olan

mimarların yaptığı birçok örnekte gölgeleme elemanlarını görmekteyiz. Güvenlik nedeniyle bu elemanların güvenli lamine camlardan ya da telli camlardan yapılması gerekmektedir. Bu sistemler ahşap, taş, alüminyum veya çelik ile kombine şekilde kullanılabilir.

Binadaki PV'lerin kullanıldığı gölgeleme elemanlarını sabit ve hareketli gölgeleme elemanı olarak 2'ye ayırabiliriz [44].

Sabit gölgeleme elemanları, cephedeki gölgeleme elemanlarının en basit halidir ve direkt olarak binaya sabitlenir. Hareket etmesi ya da yönünün değiştirilmesi söz konusu değildir. Şekil 3.33'de sabit güneş kırıcı detayı görülmektedir.



Şekil 3.33 : Sabit PV gölgeleme elemanı detayı [33]

'de Muğla Üniversitesi Rektörlük binasının cephesine uygulanan sabit gölgeleme elemanları görülmektedir. Bu örnekte, bina yüzeyindeki konstrüksiyonların 60° açıyla monte edilmesi ile pencerelerde oluşan gölge sayesinde soğutma giderleri azaltılmıştır.

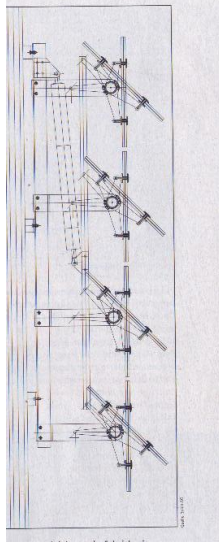


Şekil 3.34 : PV'lerin sabit gölgeleme elemanı olarak kullanımı, Muğla [52]

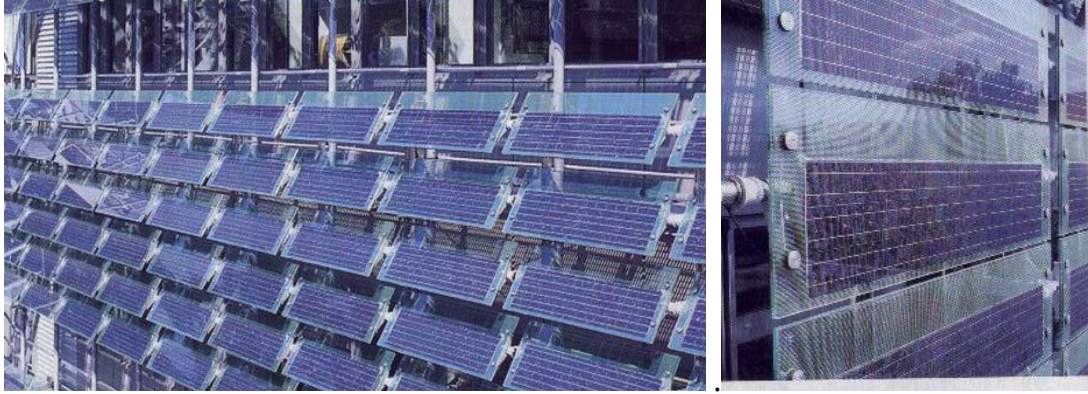
Hareketli gölgeleme elemanları, dikey ve yatay olarak gelen güneş ışığı yoğunluğuna göre ve güneş ışığı ihtiyacına göre ayarlanabilir. Genellikle dikey aksta ya da yatay aksta olmak üzere güneşin yükseliş açısına göre tek aksta yönlendirilir.

Özellikle güneş hücrelerinin hareketli gölgeleme elemanları ile birlikte kullanımı daha uygundur [53].

Hem güneş pili panellerinin performansı hem de daha verimli gölgeleme elde edilmesi açısından gölgeleme elemanlarının hareketli olması daha çok tercih edilmektedir [50]. Şekil 3.35’de hareketli PV gölgeleme elemanı detayı ve Şekil 3.36’da örnekleri görülmektedir.



Şekil 3.35 : Hareketli PV gölgeleme elemanı detayı [54]



Şekil 3.36 : PV’lerin hareketli gölgeleme elemanı olarak kullanımı [54]

3.4.2.3 PV’lerin farklı bina bölümlerinde kullanımı

PV’ler veranda, kepenk, saçak, korkuluk gibi bina bölümlerine entegre edilebilir. Bu entegrasyonlar binaya hareketlilik katarken aynı zamanda enerji üreterek binaların enerji giderlerini de azaltabilir. PV’lerin verandalarda kullanılması Şekil 3.37’de, güneş kepenklerinde kullanılması Şekil 3.38’de, saçak olarak kullanılması Şekil 3.39’da, korkuluk olarak kullanılması Şekil 3.40’da gösterilmiştir.



Şekil 3.37 : PV’lerin verandalarda kullanımı, Avustralya [33]



Şekil 3.38 : PV’lerin güneş kepenklerinde kullanımı, Almanya [54]



Şekil 3.39 : PV’lerin saçaklarda kullanımı, İspanya [55]



Şekil 3.40 : PV’lerin bina korkuluğunda kullanılması, Finlandiya [55]

4. TÜRKİYE’DE ENERJİ VERİMLİLİĞİ AÇISINDAN PV SİSTEMLERİN PERFORMANSININ DEĞERLENDİRMESİNDE KULLANILABİLECEK BİR YAKLAŞIM

Türkiye, coğrafi konumu nedeniyle sahip olduğu güneş enerjisi potansiyeli açısından birçok ülkeye göre şanslı durumdadır. Ülkemizin bu potansiyelinden optimum faydalanmak için kullanılacak sistemlerden biri olan PV sistemlerin bu bağlamda incelenmesi önemlidir.

Bu tez çalışmasında, güneş enerjisini elektrik enerjisine çeviren PV sistemlerin Türkiye koşullarında performansı incelenerek, bu performansın değerlendirilmesinde kullanılabilecek bir yaklaşım geliştirmek hedeflenmiştir.

Binalarda enerji verimliliği açısından PV sistemlerin performansının değerlendirilmesinde kullanılmak üzere geliştirilen yaklaşımın adımları Çizelge 4.1’de açıklanmaktadır.

4.1 Pilot İllerin Belirlenmesi

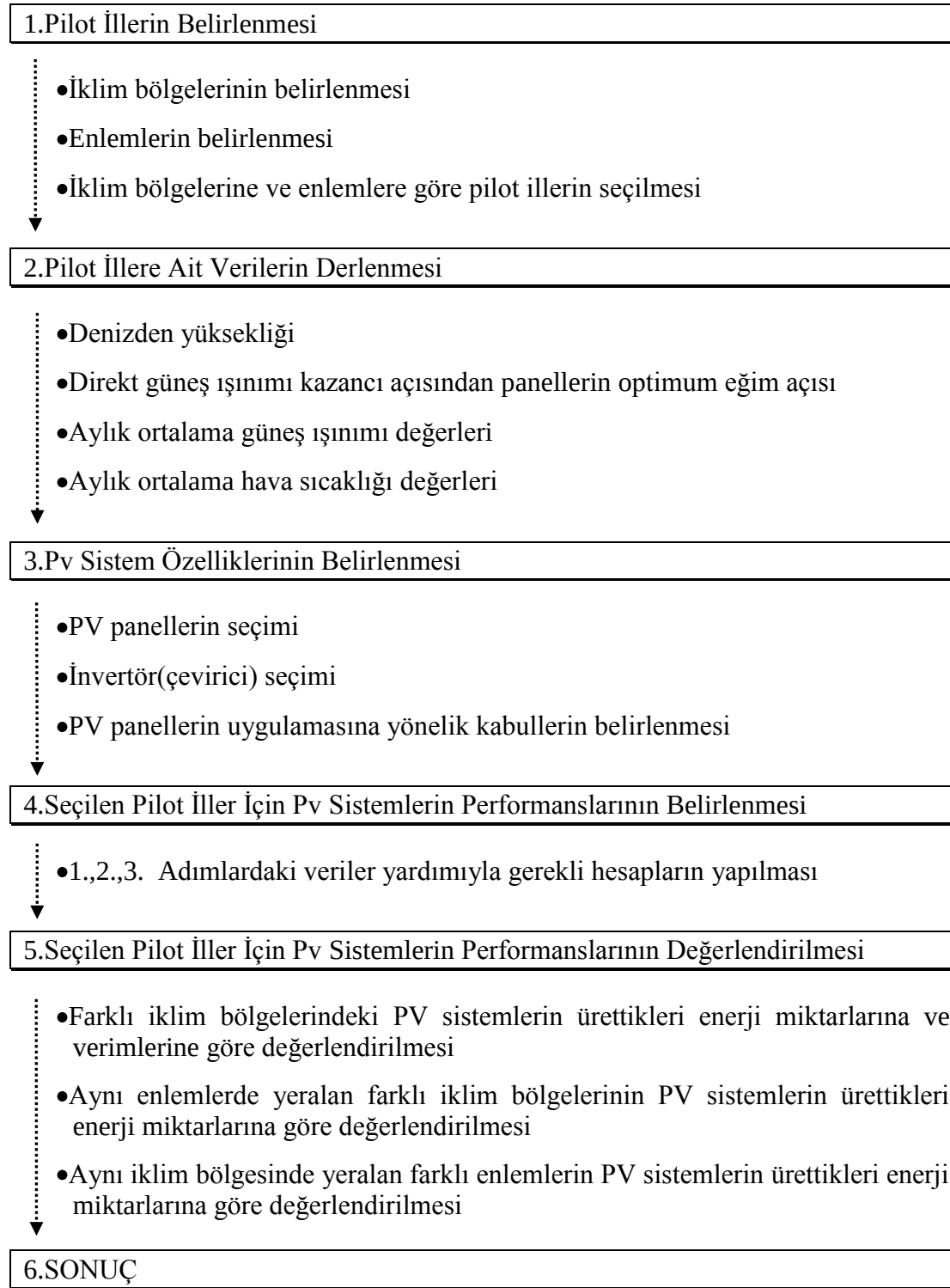
PV sistemlerin Türkiye koşullarında performansını değerlendirebilmek için pilot illerin belirlenmesi gerekmektedir. Pilot iller belirlenirken öncelikle PV sistemlerin verimliliği ve enerji üretimi açısından performanslarını etkileyen iklim bölgelerinin ve enlemlerin dikkate alınarak pilot illerin seçilmesi gerekmektedir.

4.1.1 İklim bölgelerinin belirlenmesi

İklimi oluşturan sıcaklık, yağış, nem, güneşlenme süresi ve şiddeti, basınç, rüzgâr hızı ve yönü, buharlaşma gibi değişkenlerden birinin veya birkaçının farklılaşması, değişik iklim türlerini oluşturmaktadır. Aynı veya benzer iklimsel özelliklerin görüldüğü alanlar sınırlandırıldığında ortaya farklı iklim bölgeleri çıkmaktadır.

Meteorolojik verilerin derlenmesi ve değerlendirilmesi sonucunda Türkiye 5 iklim bölgesine ayrılmaktadır. Bu bölgeler soğuk, ılımlı nemli, ılımlı kuru, sıcak nemli ve sıcak kuru iklim bölgeleridir [56]. İklim bölgelerinin genel özellikleri aşağıda verildiği gibidir.

Çizelge 4.1 : Yaklaşımın adımları



Soğuk iklim bölgesi

Uzun ve şiddetli kışların görüldüğü soğuk iklim bölgesinde yılın neredeyse yarısında sıcaklık 0°C'nin altındadır. Bölge için en düşük ortalama sıcaklık -20°C civarındadır. Yağışlar yaz aylarında yağmur, kış aylarında kar niteliğindedir. Kar yağışları

genellikle Ekim’de başlar ve Mayıs ayının ortalarına dek sürer. Buna karşılık yazlar kısa ve serin karakterdedir. Yağmur miktarı az ve bağıl nemlilik düşüktür. Zorlu iklim şartları rüzgâr etkisiyle daha da sertleşmektedir [57].

Ilımlı-nemli iklim bölgesi

Yazları ılımlı, kışları az soğuk karakterlidir. Şiddetli kışlar ve çok sıcak yazlar görülmemektedir. Genelde yaz ve kış aylarındaki sıcaklık farkının az olduğu, insan konforuna en yakın özellikler gösteren iklimdir. Ancak yükseklik ve deniz kenarında olma durumlarına göre yaz ve kış aylarında, az veya çok sıcaklık farkları oluşabilmektedir.

Yağışlar mevsimlere dağılmıştır ve genellikle Ocak, Şubat, Haziran aylarında görülmektedir. En sıcak aylar Temmuz, Ağustos ve Eylül aylarıdır. Bu iklimin en önemli özelliği yağış miktarının ve nemin yüksek oluşudur [57].

Ilımlı kuru iklim bölgesi

Ilımlı kuru iklim bölgelerinde gece ile gündüz arasındaki sıcaklık farkı çoktur. Ortalama dış sıcaklık +30°C ile -5°C arasında değişmektedir. Bu durum yükseklikten çok, denizin yazın serinletici kışın ise ılıklaştırıcı etkisini engelleyen dağların bulunmasına bağlıdır.

Yaz geceleri serin karakterli olup, sıcaklık ortalaması 27-37°C dir. Kış sıcaklık ortalaması 8-15°C arasında değişmektedir [57].

Sıcak nemli iklim bölgesi

Sıcak nemli iklim bölgesinin en önemli özelliği, yoğun yağış, yüksek nem oranı ve sıcaklıktır. Yaz ve kış aylarındaki sıcaklık farkı azdır. Kış ayları yağışlıdır. Hâkim rüzgâr veya dağ-ova, deniz-kara arasındaki hava akımları istenen özelliklerdedir [57].

Sıcak-kuru iklim bölgesi

Sıcak-kuru iklim bölgesinde yazlar aşırı sıcak ve kuru karakterdedir. Bölgede yüksek sıcaklık ortalaması 40 °C civarındadır. Kışlar soğuktur. Yıllık ortalama sıcaklık 16.4 °C ve nispi nem % 53.6 civarındadır. Yaz-kış ısıtım oranı ve gece-gündüz sıcaklık farkı yüksektir. Yazları yağışın pek görülmediği bölgede bulutluluk oranı az, nem oranı düşüktür. Bölgede yılın bazı zamanlarında kuru ve şiddetli rüzgârlar görülmektedir [57].

4.1.2 Enlemlerin belirlenmesi

Herhangi bir noktanın ekvatora olan uzaklığının açı cinsinden değerine enlem adı verilir. Türkiye, coğrafi olarak 36°N-42°N enlemleri arasında yer almaktadır PV sistemlerin Türkiye şartlarında performanslarını değerlendirmek için illerin aylık ortalama güneş ışınlamı değerleri ile aylık ortalama hava sıcaklığı değerlerini etkileyen enlemlerin bilinmesi gerekmektedir.

4.1.3 İklim bölgelerine ve enlemlere göre pilot illerin belirlenmesi

Türkiye'nin iklim bölgeleri ve enlemleri belirlendikten sonra bir sonraki adım olan iklim bölgelerine ve enlemlere göre pilot iller seçilmelidir. Pilot illerin seçilmesinde; Türkiye genelinde bir sonuç çıkarabilmek ve kendi aralarında karşılaştırma yapabilmek için her iklim bölgesinden farklı enlemler üzerinde yer alan illerin seçilmesi gerekmektedir.

4.2 Pilot İllere Ait Verilerin Belirlenmesi

Belirlenen pilot illerin PV sistem performanslarının belirlenmesinde etkili olan bölgeye ait coğrafi ve iklimsel özelliklerden;

- Denizden yüksekliği (rakım),
- Direkt güneş ışınlamı kazancı açısından panellerin optimum eğim açısı,
- Aylık ortalama güneş ışınlamı,
- Aylık ortalama hava sıcaklığı

değerlerinin bilinmesi gerekmektedir.

4.3 PV Sistem Özelliklerinin Belirlenmesi

Pilot illerin PV sistemlerinde kullanılacak panellerin ve invertörlerin seçilmesi gerekmektedir. Pilot illerin performanslarını karşılaştırabilmek için oluşturulacak olan PV sistemlerde birtakım kabullerin yapılması gerekmektedir.

4.3.1 PV panellerin belirlenmesi

Güneş hücreleri bölüm 3.2'de anlatıldığı gibi kristal yapılı güneş hücreleri ve ince film güneş hücreleri olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Bu yaklaşımda

inceleyeceğimiz güneş hücreleri kristal yapıli güneş hücrelerinde monokristal ve polikristal, ince film güneş hücrelerinde ise bakır indiyum diselenid, kadmiyum tellürid ve amorf silisyumdur. Bu çalışmada kullanılmak üzere bu hücrelerin oluşturduğu PV panellerden her bir hücre tipi için birer model seçilmesi gereklidir.

4.3.2 İnvörtörlerin (çevirici) belirlenmesi

Yapılacak olan sistemde alternatif akımı doğru akıma çeviren invörtörlerin de seçimi sistem verimi açısından önem taşımaktadır.

4.3.3 PV sistemlerin uygulamasına yönelik kabullerin belirlenmesi

Ele alınan PV sistemlerin karşılaştırılabilmesi için PV panel alanı, panel yönü ve panel eğimi gibi değerler için birtakım kabuller belirlenerek uygulama yapılması gerekmektedir.

4.4 Seçilen Pilot İller İçin PV Sistemlerin Performanslarının Belirlenmesi

Seçilen pilot illerde PV sistemlerin performanslarını belirleyebilmek için PV sistemlerin ürettikleri enerji miktarları ve verimlerinin hesaplanması gereklidir. Bu hesaplamada kullanılacak olan veriler bölüm 4.1, 4.2 ve 4.3’de de anlatıldığı gibi;

- Pilot illerin belirlenmesi
- Pilot illere ait verilerin belirlenmesi
- PV sistem özelliklerinin belirlenmesi

dir. Sonuç olarak ise;

- PV sistemlerin yıllık ürettikleri enerji miktarları
- PV sistemlerin verimleri

hesaplanmalıdır.

4.5 Seçilen Pilot İller İçin PV Sistemlerin Performanslarının Değerlendirilmesi

Seçilen pilot iller için PV sistemlerin performansları aşağıda belirtildiği gibi karşılaştırılarak değerlendirilmelidir.

- Farklı iklim bölgelerinin pilot illerindeki PV sistemlerin ürettikleri enerji miktarlarına ve verimlerine göre

▪ Aynı enlemlerde yeralan farklı iklim bölgelerinin PV sistemlerin ürettikleri enerji miktarlarına göre

▪ Aynı iklim bölgesinde yeralan farklı enlemlerin PV sistemlerin ürettikleri enerji miktarlarına göre

.

5. YAKLAŞIMIN UYGULANMASI

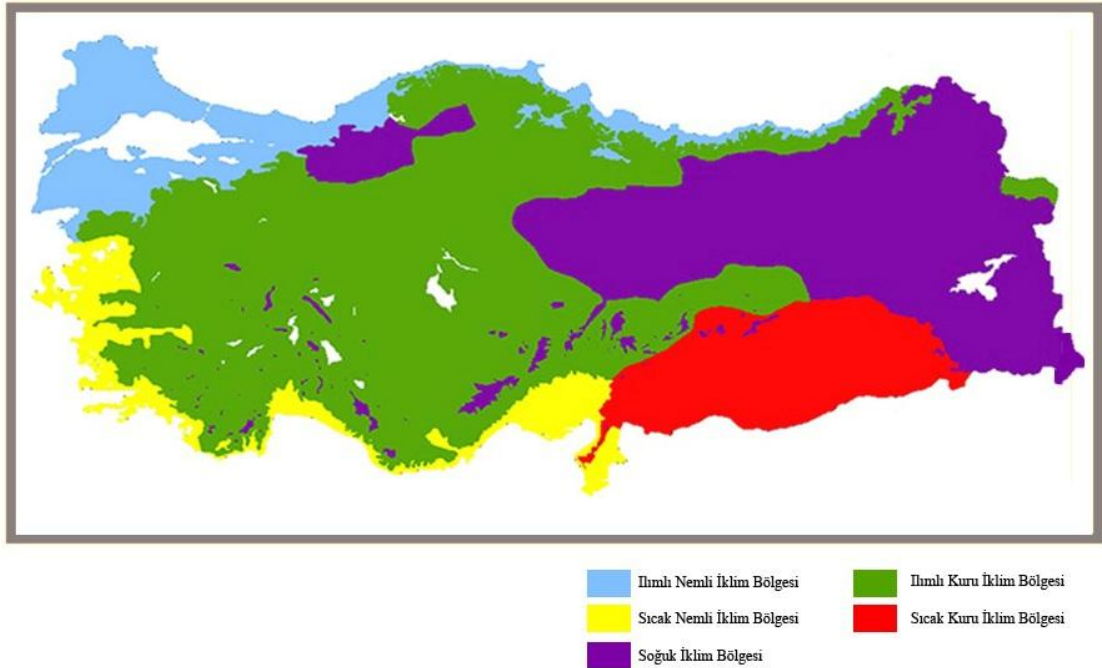
Bu çalışma kapsamında geliştirilen yaklaşımda Türkiye'nin iklim koşullarında, PV sistemlerin performansları PVSYST 5.21 simulasyon programı aracılığıyla hesaplanarak Türkiye'nin PV potansiyelinin belirlenmesi amaçlanmıştır. 4. bölümde anlatılan yaklaşımın uygulama adımları aşağıdaki gibidir.

5.1 Pilot İllerin Belirlenmesi

Bu bölümde, PV sistemlerin Türkiye koşullarındaki performansını değerlendirebilmek için seçilen pilot illerin belirlenmesinde uygulanan adımlar anlatılmaktadır.

5.1.1 İklim bölgelerinin belirlenmesi

Türkiye'nin 5 iklim bölgesi olan soğuk iklim bölgesi, ılımlı nemli iklim bölgesi, ılımlı kuru iklim bölgesi, sıcak nemli iklim bölgesi ve sıcak kuru iklim bölgesi Şekil 5.1 'de verilmiştir.



Şekil 5.1 : Türkiye iklim bölgeleri haritası [15]

Soğuk iklim bölgesi

Coğrafi olarak Doğu Anadolu bölgesi, İç Anadolu bölgesinin doğu kısmı ve Doğu Karadeniz bölgesinin güneyinde yer alan bu illerin rakımları 700-2000 m. arasında değişmektedir. Genel olarak dağlık bölge içindedirler ve arazi yapıları engebeleridir.

Ağrı, Ardahan, Bayburt, Bingöl, Bitlis, Bolu, Erzincan, Erzurum, Gümüşhane, Hakkâri, Kastamonu, Kars, Muş, Sivas, Tunceli, Van ve Yozgat illeri soğuk iklim bölgesinde yer almaktadır.

Ilımlı-nemli iklim bölgesi

Coğrafi olarak Marmara bölgesi ile Doğu ve Batı Karadeniz bölgesinin kıyı kesimlerinde yer alan bu illerin rakımları 3-600 m arasında değişmektedir.

Amasya, Artvin, Balıkesir, Bartın, Bursa, Çanakkale, Düzce, Edirne, Giresun, İstanbul, Karabük, Kırklareli, Kocaeli, Ordu, Rize, Sakarya, Samsun, Sinop, Tekirdağ, Trabzon, Yalova ve Zonguldak illeri ılımlı-nemli iklim bölgesinde yer almaktadır.

Ilımlı-kuru iklim bölgesi

Coğrafi olarak İç Anadolu Bölgesi'nde, Ege Bölgesi'nin doğu kısımlarında, Akdeniz Bölgesi'nin kuzey kısımlarında ve Karadeniz Bölgesi'nin güney kısımlarında yer alan bu illerin rakımları 700-1200 m. arasında değişmektedir.

Afyon, Aksaray, Ankara, Bilecik, Burdur, Çankırı, Çorum, Denizli, Elazığ, Eskişehir, Iğdır, Isparta, Karaman, Kayseri, Kırıkkale, Kırşehir, Konya, Kütahya, Nevşehir, Niğde, Tokat ve Uşak illeri ılımlı-kuru iklim bölgesinde yer almaktadır.

Sıcak nemli iklim bölgesi

Coğrafi olarak Akdeniz Bölgesi'nin kıyı kısımları ile Ege Bölgesi'nin kıyı kısımlarında yer alan bu illerin rakımları 2-150 m. arasında değişmektedir.

Adana, Antalya, Aydın, Hatay, İzmir, Manisa, Mersin, Muğla ve Osmaniye illeri sıcak-nemli iklim bölgesi içinde yer almaktadır.

Sıcak-kuru iklim bölgesi

Coğrafi olarak Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde yer alan bu illerin rakımları 500-1000 m. arasında değişmektedir. Topografya genelde düz ve az engebeli karakter göstermektedir.

Adıyaman, Batman, Diyarbakır, Gaziantep, Kahramanmaraş, Kilis, Malatya, Mardin, Siirt, Şırnak ve Urfa illeri sıcak-kuru iklim bölgesinde yer almaktadır.

5.1.2 Enlemlerin belirlenmesi

Türkiye 36°N-42°N enlemleri arasında Şekil 5.2’de görüldüğü gibidir.



Şekil 5.2 : Türkiye enlem haritası

İllerin enlemlere göre dağılımı aşağıdaki gibidir.

42°N enlem; Sinop

41°N enlem; Artvin, Ardahan, Bolu, Bartın, Çankırı, Edirne, Giresun, İstanbul, Karabük, Kastamonu, Kırklareli, Ordu, Rize, Samsun, Sinop, Tekirdağ, Trabzon, Zonguldak

40°N enlem; Amasya, Ankara, Bayburt, Bilecik, Bursa, Çanakkale, Çorum, Düzce, Erzurum, Gümüşhane, Iğdır, Kars, Kırıkkale, Kocaeli, Sakarya, Tokat, Yalova

39°N enlem; Ağrı, Balıkesir, Bingöl, Erzincan, Eskişehir, Kayseri, Kırşehir, Kütahya, Manisa, Sivas, Tunceli, Yozgat

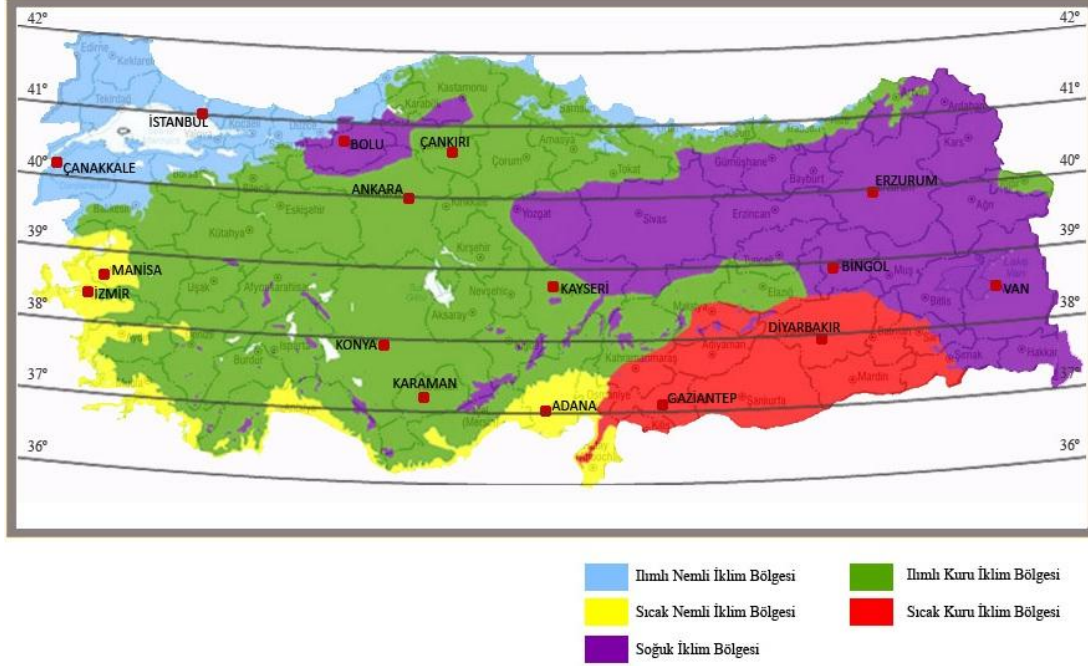
38°N enlem; Afyon, Aksaray, Batman, Bitlis, Diyarbakır, Elazığ, İzmir, Konya, Malatya, Mersin, Muş, Nevşehir, Niğde, Siirt, Uşak, Van

37°N enlem; Adana, Adıyaman, Antalya, Aydın, Burdur, Denizli, Gaziantep, Hakkari, Isparta, Kahramanmaraş, Karaman, Mardin, Muğla, Osmaniye, Şırnak, Urfa

36°N enlem; Hatay

5.1.3 İklim bölgelerine ve enlemlere göre pilot illerin belirlenmesi

Pilot illerin belirlenmesinde 5 iklim bölgesinden 41, 40, 39, 38 ve 37°N. enlemlerinde yer alan iller seçilmiştir. Bu seçim yapılırken il merkezlerinin enlem çizgilerine olan mesafeleri dikkate alınmıştır. Türkiye iklim bölgelerine ve enlemlerine göre belirlenen pilot iller Şekil 5.3’de görüldüğü gibidir.



Şekil 5.3 : Seçilen pilot illerin haritası

İklim bölgelerine ve enlemlere göre belirlenen pilot iller aşağıdaki gibidir.

Soğuk iklim bölgesi

Bu çalışmada; 41°N enlemi için Bolu, 40°N enlem için Erzurum, 39°N enlem için Bingöl, 38°N enlem için Van ili seçilmiştir. 37°N enleminde soğuk iklim bölgesinde yeralan herhangi bir il olmadığı için bu enlem dikkate alınmamıştır.

Ilımlı-nemli iklim bölgesi

Bu çalışmada; 41°N enlem için İstanbul ve 40°N enlem için Çanakkale ili seçilmiştir. Ilımlı nemli iklim bölgesi 39, 38 ve 37°N enlemlerinde bulunmadığı için sadece 41 ve 40°N enlemlerinde yer alan iller dikkate alınmıştır.

Ilımlı-kuru iklim bölgesi

Bu çalışmada; 41°N enlem için Çankırı, 40°N enlem için Ankara, 39°N enlem için Kayseri, 38°N enlem için Konya, 37°N enlem için Karaman ili seçilmiştir.

Sıcak nemli iklim bölgesi

Bu çalışmada; 39°N enlem için Manisa, 38°N enlem için İzmir, 37°N enlem için Adana ili seçilmiştir. 41°N ve 40°N enlemlerinde sıcak nemli iklim bölgesi bulunmadığı için bu enlemler dikkate alınmamıştır.

Sıcak-kuru iklim bölgesi

Bu çalışmada; 38°N enlem için Diyarbakır, 37°N enlem için Gaziantep ili seçilmiştir. Sıcak kuru iklim bölgesi 41,40 ve 39°N enlemlerinde bulunmadığı için sadece 38 ve 37°N enlemlerinde yer alan iller dikkate alınmıştır.

5.2 Pilot İllere Ait Verilerin Belirlenmesi

Bölüm 4.2’de de anlatıldığı gibi yapılacak olan bu uygulamada seçilen simulasyon programına girmek için illerin; denizden yüksekliği (rakım), yıllık güneş ışınlamı kazancı açısından panellerin optimum eğim açısı, aylık ortalama güneş ışınlamı, aylık ortalama hava sıcaklığı değerlerinin bilinmesi gerekmektedir.

Çizelge 5.1’de pilot illerin enlemleri, ölçümün yapıldığı rakım, yıllık güneş ışınlamı kazancı açısından panellerin optimum eğim açısı değerleri verilmiştir.

Çizelge 5.1 : Pilot illerin enlemleri, ölçümün yapıldığı rakım ve optimum eğim açısı değerleri [58]

İklim Bölgesi	İl	Konum (enlem)	Ölçümün yapıldığı rakım (m)	Panellerin optimum eğim açısı
Soğuk iklim bölgesi	Bolu	41°N	719	32°
	Erzurum	40°N	1981	32°
	Bingöl	39°N	1249	31°
	Van	38°N	1648	31°
Ilımlı nemli iklim bölgesi	İstanbul	41°N	27	31°
	Çanakkale	40°N	10	31°
Ilımlı kuru iklim bölgesi	Çankırı	41°N	740	32°
	Ankara	40°N	940	31°
	Kayseri	39°N	1052	32°
	Konya	38°N	1020	33°
	Karaman	37°N	1048	33°
Sıcak nemli iklim bölgesi	Manisa	39°N	64	32°
	İzmir	38°N	236	32°
	Adana	37°N	17	31°
Sıcak kuru iklim bölgesi	Diyarbakır	38°N	675	31°
	Gaziantep	37°N	833	31°

Bunun dışında yayılı ışıınım değeri ve rüzgâr hızı verileri ölçülmüş ise sisteme ilave edilip daha hassas bir ölçüm gerçekleştirilebilmektedir. Çizelge 5.2 ve Çizelge 5.3’de ise pilot illerin aylık ortalama güneş ışıınımı değeri ve aylık ortalama hava sıcaklığı değeri verilmiştir.

5.3 PV Sistem Özelliklerinin Belirlenmesi

Bu bölümde uygulamada kullanılacak olan PV sistem öğelerinden PV paneller ve invertörler hakkında bilgilere değinilerek bu sistemlerin kurulumunda alınan kabuller verilmiştir.

5.3.1 PV panellerin belirlenmesi

Tez çalışması kapsamında kullanılacak olan PV panel seçiminde piyasada en çok kullanılan marka ve ürünler tercih edilmiştir. Bu ürünler kristal yapıli PVpanellerde;

- Monokristal (m-Si): Sharp NU-185 E1,
- Polikristal (p-Si): Sharp ND-175 E1F’ dir.

ince film PV panellerinde ise;

- Bakır İndiyum Diselenid (CIS): Avancis Powermax 130W,
- Kadmiyum Tellürid (CdTe): First Solar FS277
- Amorf silisyum (a-Si): Sharp NA-F135(G5)

PV paneller tercih edilmiştir. Çizelge 5.4’de seçilen panellerin özellikleri görölmektedir.

5.3.2İnvertörlerin belirlenmesi

Sistemin ürettiğı doğru akımı binalarda kullanılan alternatif akıma çeviren invertörlerin seçimi de sistem verimliliğı açısından önemlidir. Uygulamada piyasada en çok kullanılan 2 tip invertör kullanılmıştır ; Stecagrid 500 (10m² PV panel alanı için) ve Stecagrid 2000 (20-100m² PV panel alanı için). Sistemin büyüklüğüne göre invertör sayısı PVSYST 5.21 programı tarafından belirlenmektedir.

Seçilen invertörlerin özellikleri; esnek olmaları ve istendiğinde invertör eklenerek sistemin genişletilebilmesi, yüksek verimlilikle çalışmaları, hafif olmaları, kurulumlarının basit olması ve duvara montajının yapılabilmesidir. Ayrıca bu invertörlerin veri kaydetme özellikleri vardır [62].

Çizelge 5.2 : Pilot illerin yatay düzleme gelen aylık ortalama güneş ışınlımı değerleri (kWh/m².gün) [59]

İKLİM BÖLGESİ	İL	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
Soğuk	Bolu	1.56	2.27	3.41	4.32	5.43	5.93	5.99	5.42	4.40	2.95	1.79	1.37
	Erzurum	1.68	2.47	3.78	5.01	5.78	6.59	6.52	6.03	5.01	3.50	2.09	1.53
	Bingöl	1.81	2.57	4.01	5.00	6.12	6.90	6.67	5.95	5.18	3.68	2.28	1.69
	Van	1.85	2.54	3.99	4.89	5.92	6.63	6.54	5.83	5.22	3.72	2.35	1.75
Ilımlı Nemli	İstanbul	1.45	2.00	3.11	4.29	5.33	5.94	5.78	5.28	4.23	2.75	1.67	1.22
	Çanakkale	1.62	2.27	3.48	4.75	5.74	6.37	6.24	5.56	4.38	3.11	1.90	1.32
Ilımlı Kuru	Çankırı	1.60	2.28	3.45	4.29	5.35	5.97	5.99	5.50	4.48	3.02	1.83	1.36
	Ankara	1.70	2.42	3.63	4.53	5.56	6.14	6.19	5.71	4.71	3.19	1.94	1.46
	Kırşehir	1.82	2.55	3.86	4.69	5.70	6.33	6.36	5.85	4.90	3.36	2.11	1.60
	Konya	2.14	2.84	4.37	5.12	6.14	6.86	6.80	6.16	5.43	3.85	2.48	1.89
Sıcak Nemli	Karaman	2.32	3.04	4.50	5.35	6.36	7.09	6.99	6.32	5.46	3.98	2.61	2.03
	Manisa	1.91	2.67	3.84	5.02	5.97	6.67	6.58	5.98	4.72	3.50	2.20	1.63
	İzmir	2.04	2.77	3.95	5.15	6.09	6.82	6.72	6.07	4.87	3.61	2.32	1.76
	Adana	2.10	2.86	4.05	4.85	5.94	6.80	6.48	5.88	4.83	3.56	2.32	1.83
Sıcak Kuru	Diyarbakır	1.90	2.70	4.09	5.07	6.23	7.04	6.82	6.02	5.24	3.71	2.39	1.80
	Gaziantep	2.12	2.89	4.25	5.09	6.18	7.03	6.82	6.09	5.30	3.85	2.51	1.92

Çizelge 5.3 : Pilot illerin uzun yıllar içinde gerçekleşen aylık ortalama hava sıcaklığı değerleri (°C) (1975 - 2008) [60]

İKLİM BÖLGESİ	İL	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
Soğuk	Bolu	1.0	1.9	4.9	9.8	13.9	17.3	19.7	19.6	16.0	11.7	6.5	2.8
	Erzurum	-9.6	-8.6	-2.9	5.4	10.3	14.8	19.3	19.3	14.3	7.5	0.2	-6.4
	Bingöl	-2.3	-1.4	3.7	10.9	16.3	22.1	26.8	26.3	21.1	13.9	6.6	0.5
	Van	-3.2	-2.7	1.4	8.0	13.0	18.2	22.5	22.0	17.4	10.8	4.4	-0.4
Ilımlı Nemli	İstanbul	6.1	5.9	7.7	12.1	16.7	21.5	23.8	23.5	20.0	15.6	11.2	8.0
	Çanakkale	6.4	6.4	8.3	12.5	17.4	22.3	25.0	24.7	20.8	16.0	11.4	8.1
Ilımlı Kuru	Çankırı	-0.6	1.1	5.5	11.0	15.6	19.7	23.0	22.3	17.6	11.8	5.2	1.3
	Ankara	0.4	1.9	6.0	11.2	15.9	19.9	23.4	22.9	18.5	12.9	6.6	2.3
	Kırşehir	-0.2	0.9	5.1	10.6	15.1	19.4	23.0	22.7	18.3	12.5	6.1	1.7
	Konya	-0.3	1.0	5.4	10.9	15.6	20.1	23.5	22.9	18.6	12.4	5.7	1.4
Sıcak Nemli	Karaman	0.3	1.4	5.7	11.4	16.1	20.3	23.5	22.8	18.6	12.7	6.4	2.2
	Manisa	6.7	7.6	10.5	15.1	20.5	25.7	28.3	27.6	23.4	17.9	11.7	8.2
	İzmir	8.9	9.1	11.7	15.9	20.8	25.7	28.1	27.4	23.6	18.9	13.7	10.3
	Adana	9.7	10.4	13.3	17.5	21.7	25.6	28.3	28.4	26.1	21.6	15.3	11.1
Sıcak Kuru	Diyarbakır	2.0	3.5	8.2	13.8	19.1	26.1	31.1	30.1	24.6	16.9	8.9	3.8
	Gaziantep	3.4	4.3	8.2	13.3	18.6	24.0	27.9	27.3	22.8	16.3	9.3	4.9

Çizelge 5.4 : Seçilen panellerin özellikleri [61]

		Pv Paneller				
		Kristal Yapılı PV Paneller		İnce Film PV Paneller		
		m-Si	p-Si	CIS	CdTe	a-Si
						
Panel gücü (Wp)		185	175	130	78	135
Modül verimi (%)		14,14	13,37	12,03	10,91	9,65
Panel boyutu LxHxW(mm)		1318x994x46	1318x994x46	1595x684x45	1200x600x7	1409x1009x46
Panel alanı (m ²)		1.310	1.310	1.091	0.72	1,42

5.3.3 PV sistemlerin uygulamasına yönelik kabullerin belirlenmesi

Sistemleri değerlendirebilmek ve karşılaştırabilmek için yapılan kabuller aşağıdaki gibidir.

- Bütün paneller güneşe yönelmektedir ve panellerin eğim açıları yıllık enerji kazanımı açısından yöreye en uygun optimum açıda yerleştirilmiştir.
- Binaların düz ve açık arazide olduğu düşünülmüştür ve çevreden gölgeleme yoktur.
- 10m², 20m², 30m², 40m², 50m² ve 100m² PV panel alanı baz alınarak uygulama yapılmıştır.

5.4 Seçilen Pilot İller İçin PV Sistemlerin Performanslarının Belirlenmesi

Seçilen pilot iller için PV sistemlerin performanslarını belirlemede PVSYST 5.21 paket programı kullanılmıştır. Programa ilişkin açıklamalar Ek 1’de görülmektedir.

PVSYST 5.21 paket programı şebekeden bağımsız ve şebekeye bağlı PV sistemlerin simülasyonunda kullanılmaktadır. Kullanılan paket program benzerleri içerisinde en detaylı hesaplama yapan, birçok farklı değişken kullanılmasına izin veren ve sonuçları gerçek değerlere çok yakın olan bir simülasyon programıdır. Bu simülasyon programına PV sistemin bulunduğu bölgenin,

- Enlem ve boylamı değerleri
- Denizden yüksekliği (rakım),
- Aylık ortalama güneş ışınımı,

- Aylık ortalama hava sıcaklığı

PV sistemin ise,

- Gölgeleme durumu
- Panellerin yönü ve yıllık güneş ışınlamı kazancı açısından optimum eğim açısı,
- PV panel alanı

verileri girilmelidir. Son olarak PV panel ve invertör modeli seçilerek simülasyon sonuçlandırılmaktadır (Şekil 5.4).

Şekil 5.4 : PVSYST 5.21 programının bilgisayar ortamındaki görünümü

Programa bölüm 5.1, 5.2, 0 'de yazılan adımlardaki veriler girilerek, program tüm pilot iller için çalıştırılmıştır. Programın çalıştırılması sonucunda

- PV sistem gücü (kWp)
- PV sistemden üretilen yıllık enerji miktarı (kWh/y)
- PV sistem verimi

elde edilmiştir.

5.5 Seçilen Pilot İller İçin PV Sistemlerin Performanslarının Değerlendirilmesi

Seçilen pilot iller için PV sistemlerin performansları;

- Farklı iklim bölgelerindeki PV sistemlerin ürettikleri enerji miktarlarına ve verimlerine göre,
 - Aynı enlemlerde yeralan farklı iklim bölgelerinin PV sistemlerin ürettikleri enerji miktarına göre,
 - Aynı iklim bölgesinde yeralan farklı enlemlerin PV sistemlerin ürettikleri enerji miktarlarına göre
- değerlendirilmiştir.

5.5.1 Farklı iklim bölgelerindeki PV sistemlerin ürettikleri enerji miktarlarına göre değerlendirilmesi

Farklı iklim bölgelerindeki PV sistemler sırasıyla enerji miktarlarına ve verimlerine göre değerlendirilecektir.

•Enerji miktarlarına göre değerlendirme

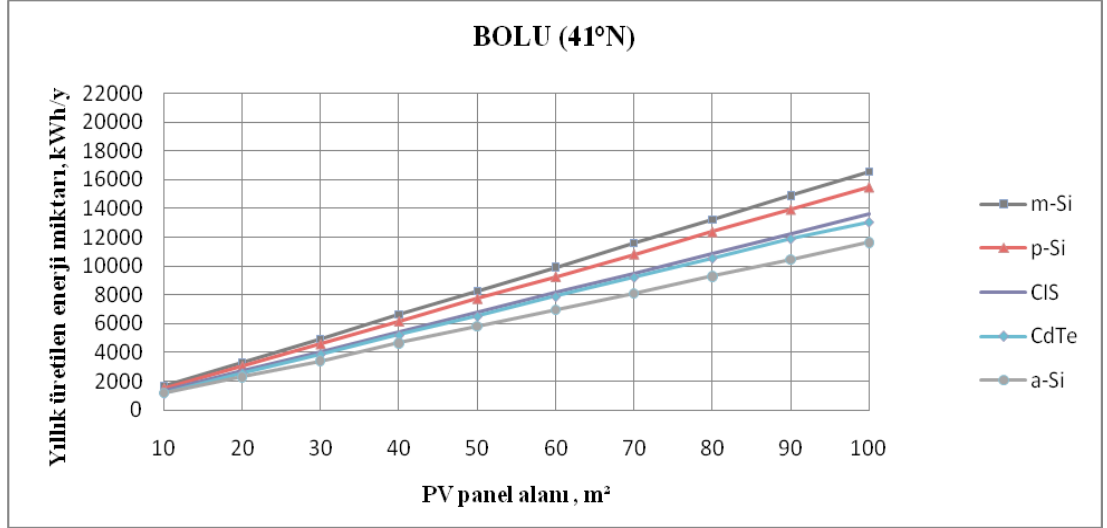
Bu bölümde farklı iklim bölgelerinin pilot illerinde uygulanan PV sistemler, 10m²-100m² PV panel alanında ürettikleri yıllık enerji miktarlarına (kWh/y) göre aşağıdaki gibi değerlendirilmiştir.

Soğuk iklim bölgesi

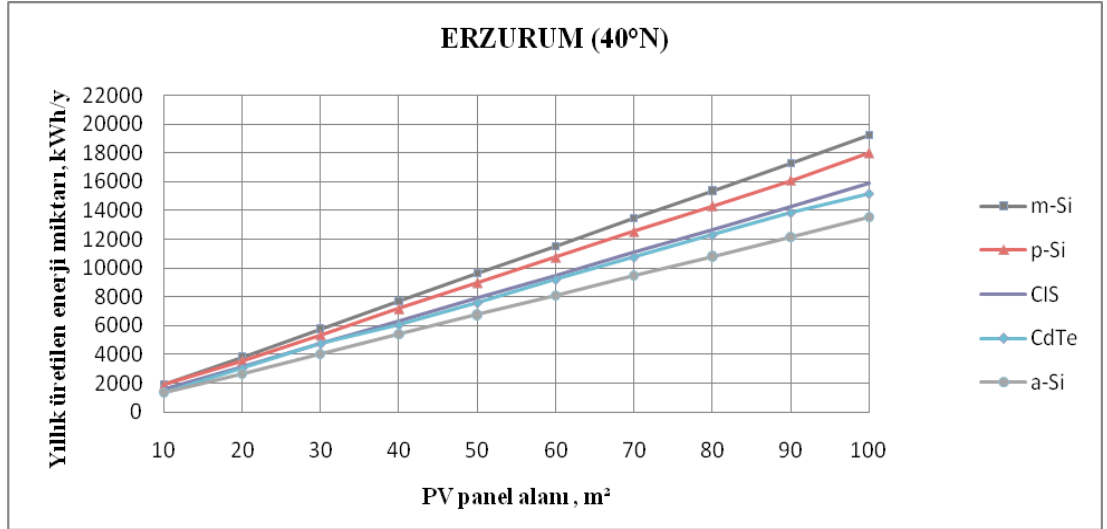
Soğuk iklim bölgesinin pilot illeri olan Bolu (41°N), Erzurum (40°N), Bingöl (39°N) ve Van (38°N) için farklı PV sistemlerden üretilen yıllık enerji miktarları Şekil 5.5, Şekil 5.6, Şekil 5.7 ve Şekil 5.8’de verilmiştir.

Soğuk iklim bölgesinde, PV sistemlerin 10m² ile 100m² PV panel alanında üretilen yıllık enerji miktarlarına bakıldığında kristal yapıli panellerden oluşan PV sistemlerin ince film yapıli panellerden oluşan PV sistemlere kıyasla daha fazla enerji ürettiği görülmektedir.

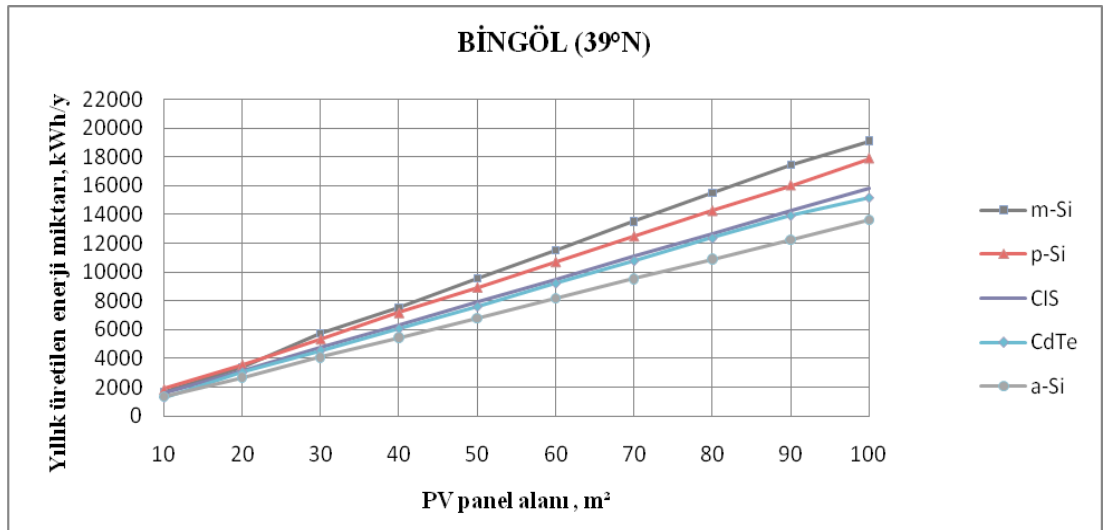
Monokristal silisyum yapıli panellerden oluşan sistemler en çok enerji üreten sistemler olurken, bu sistemleri sırası ile polikristal silisyum, bakır indiyum diselenid, kadmiyum tellürid ve amorf silisyum yapıli panellerden oluşan sistemler izlemektedir.



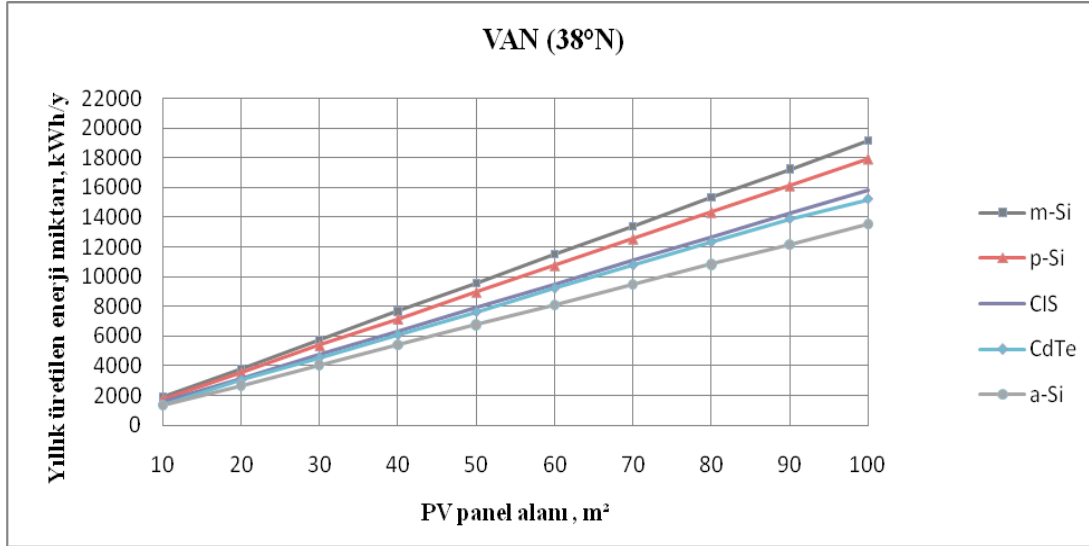
Şekil 5.5 : Bolu ilinde farklı PV sistemlerden üretilen yıllık enerji miktarı



Şekil 5.6 : Erzurum ilinde farklı PV sistemlerden üretilen yıllık enerji miktarı



Şekil 5.7 : Bingöl ilinde farklı PV sistemlerden üretilen yıllık enerji miktarı

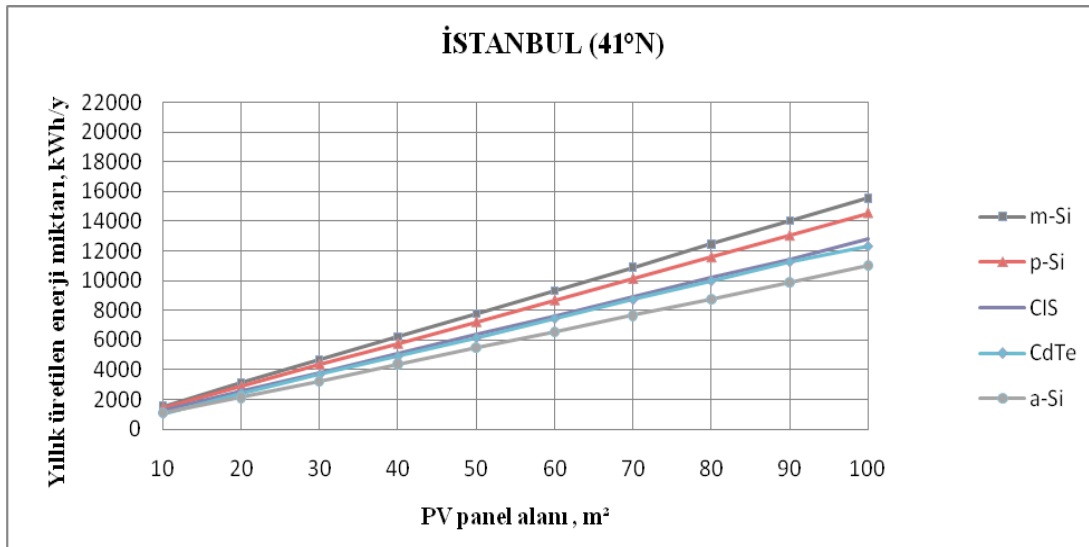


Şekil 5.8 : Van ilinde farklı PV sistemlerden üretilen yıllık enerji miktarı

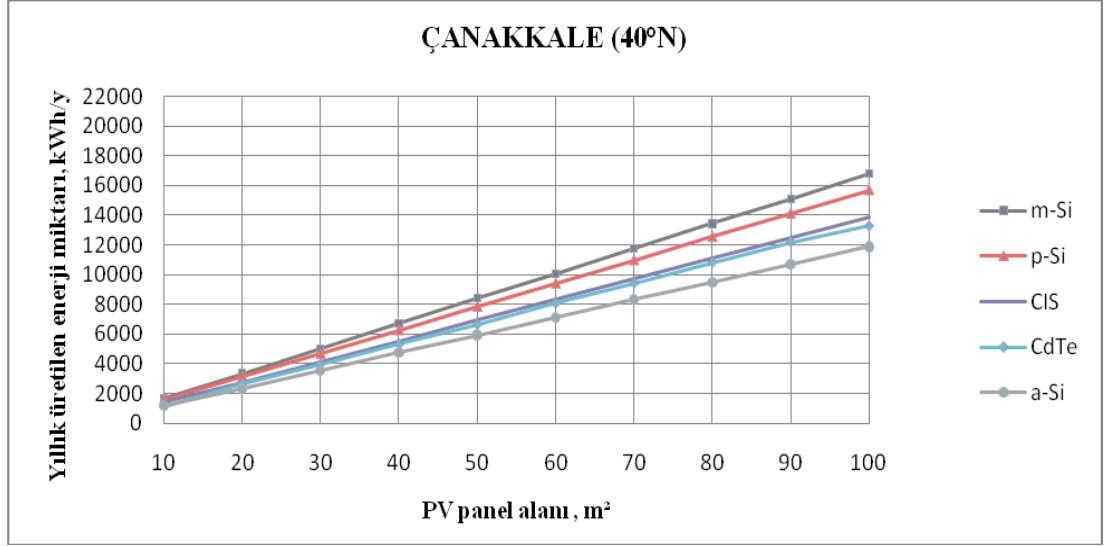
Ilımlı nemli iklim bölgesi

Ilımlı nemli iklim bölgesi pilot illeri, 41°N enlem İstanbul ve 40°N enlem Çanakkale ilinin farklı PV sistemlerden üretilen yıllık enerji miktarları Şekil 5.9 ve Şekil 5.10'da verilmiştir.

Ilımlı nemli iklim bölgesinde 10m² ile 100m² PV panel alanından üretilen enerji miktarları karşılaştırıldığında kristal yapıli panellerden oluşan PV sistemlerin, ince film yapıli panellerden oluşan PV sistemlere kıyasla daha fazla enerji ürettiği görülmektedir. En çok enerji üreten PV sistemleri sırası ile monokristal silisyum, polikristal silisyum, bakır indiyum, kadmiyum tellürid ve amorf silisyum yapıli panellerden oluşan PV sistemler olduğu görülmektedir.



Şekil 5.9 : İstanbul ilinde farklı PV sistemlerden üretilen yıllık enerji miktarı

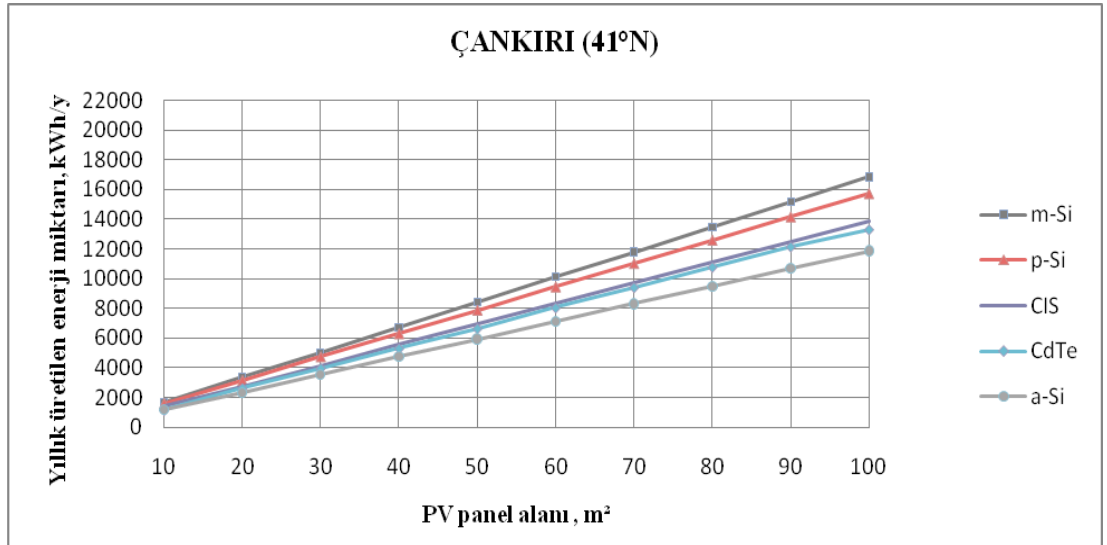


Şekil 5.10 : Çanakkale ilinde farklı PV sistemlerden üretilen yıllık enerji miktarı

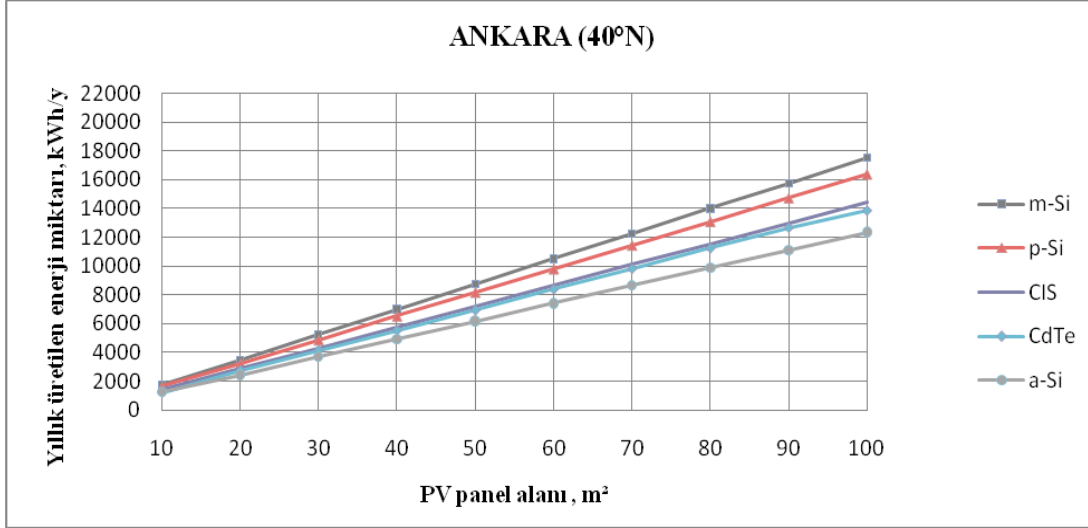
Ilımlı kuru iklim bölgesi

Ilımlı kuru iklim bölgesi pilot illeri, 41°N enlem Çankırı, 40°N enlem Ankara, 39°N enlem Kayseri, 38°N enlem Konya, 37°N enlem Karaman ilinin farklı PV sistemlerden üretilen yıllık enerji miktarları Şekil 5.11, Şekil 5.12, Şekil 5.13, Şekil 5.14 ve Şekil 5.15’de verilmiştir.

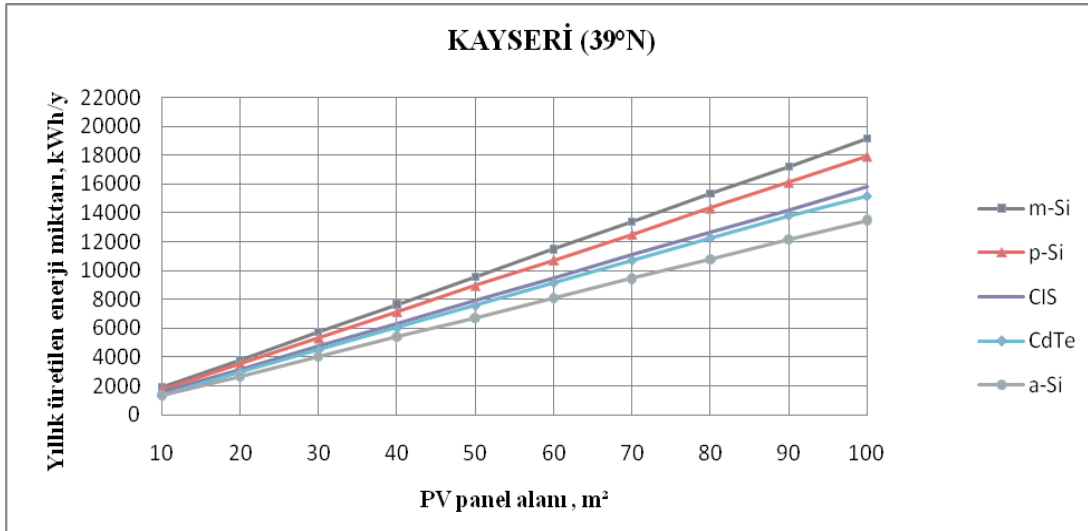
Ilımlı kuru iklim bölgesinde 10m² ile 100m² PV panel alanından üretilen enerji miktarları karşılaştırıldığında kristal yapıli PV sistemlerin, ince film yapıli PV sistemlere kıyasla daha fazla enerji ürettiği görülmektedir. PV sistemlerden monokristal silisyum yapıli sistemler en çok enerji üretirken, amorf silisyum yapıli sistemler ise en az enerji üreten sistemler olmuştur.



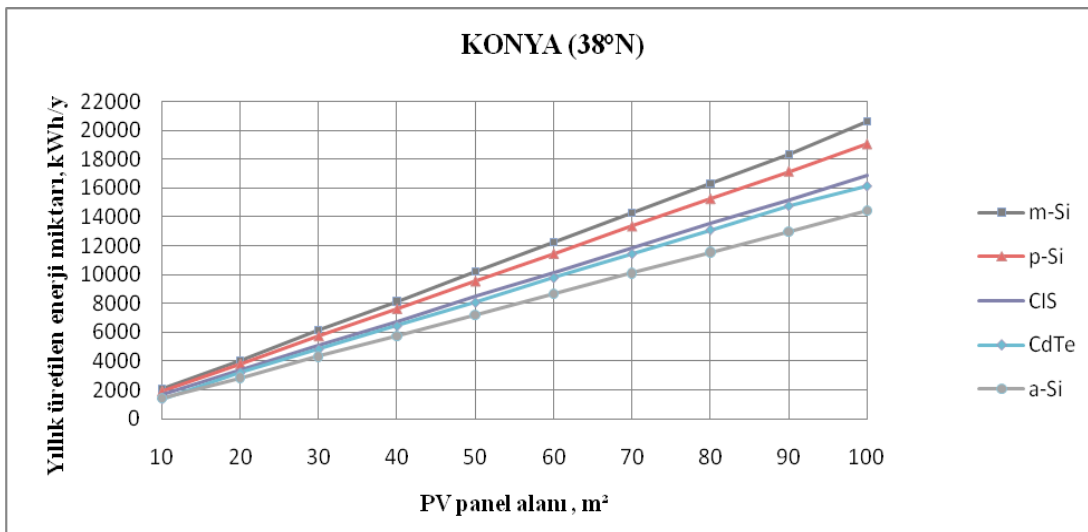
Şekil 5.11 : Çankırı ilinde farklı PV sistemlerden üretilen yıllık enerji miktarı



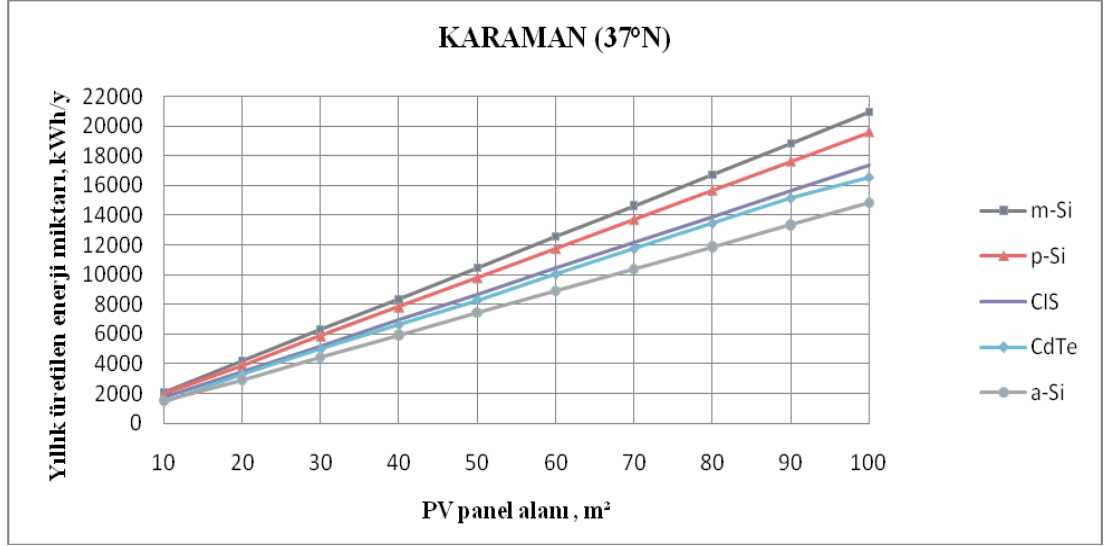
Şekil 5.12 : Ankara ilinde farklı PV sistemlerden üretilen yıllık enerji miktarı



Şekil 5.13 : Kayseri ilinde farklı PV sistemlerden üretilen yıllık enerji miktarı



Şekil 5.14 : Konya ilinde farklı PV sistemlerden üretilen yıllık enerji miktarı

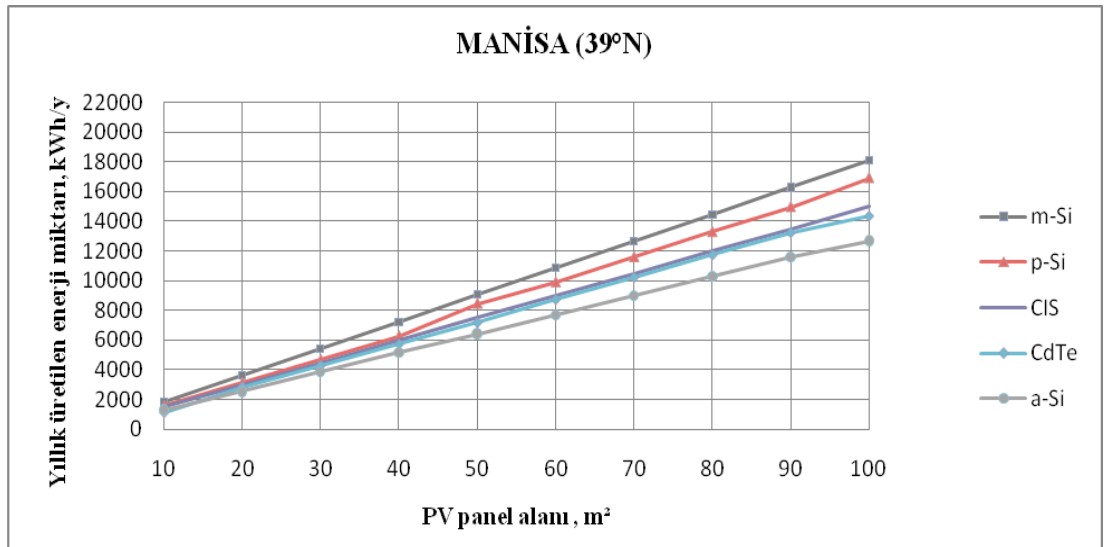


Şekil 5.15 : Karaman ilinde farklı PV sistemlerden üretilen yıllık enerji miktarı

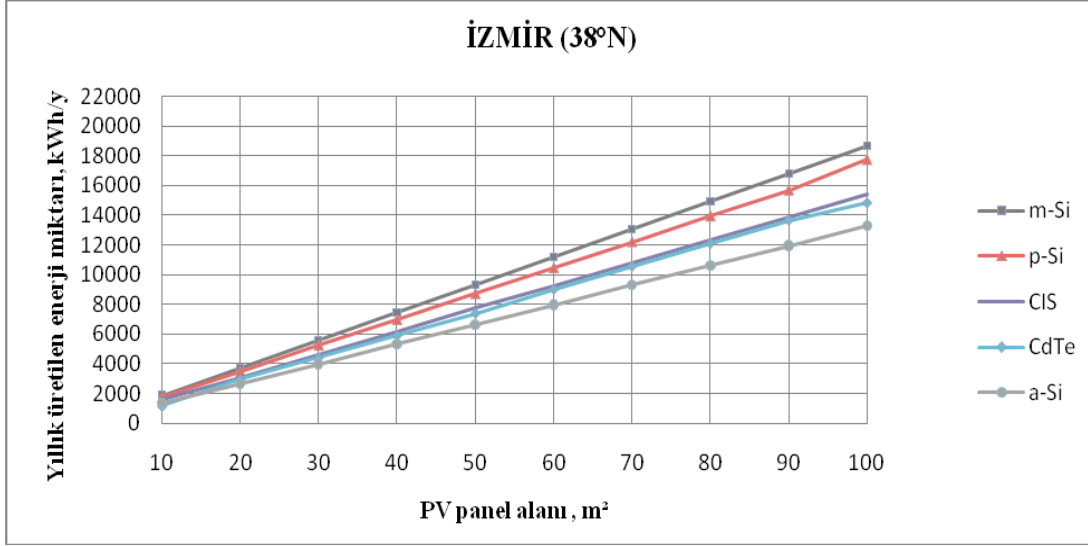
Sıcak nemli iklim bölgesi

Sıcak nemli iklim bölgesi pilot illeri, 39°N enlem Manisa, 38°N enlem İzmir, 37°N enlem Adana ilinin farklı PV sistemlerden üretilen yıllık enerji miktarları Şekil 5.16, Şekil 5.17 ve Şekil 5.18’de verilmiştir.

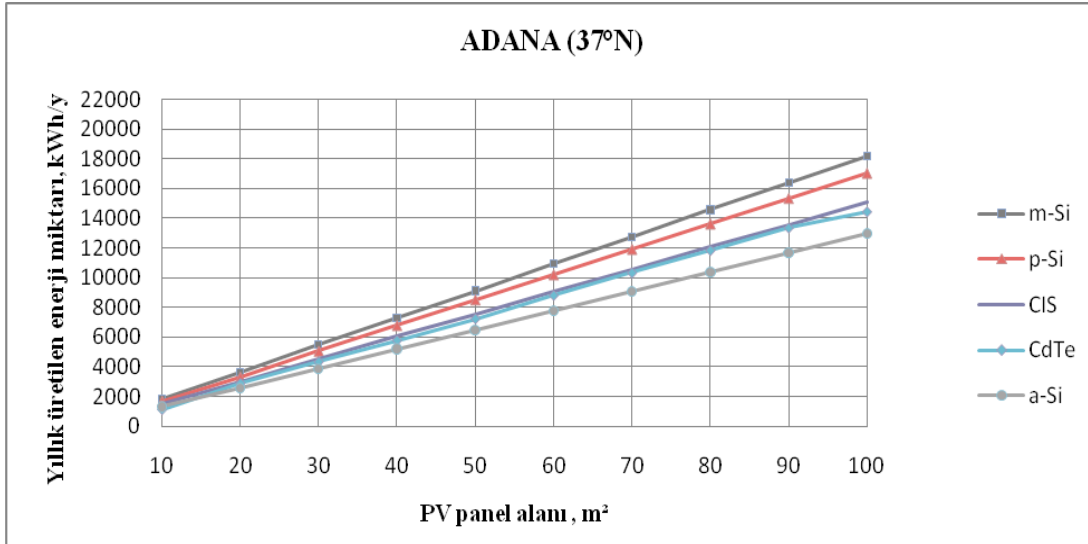
Sıcak nemli iklim bölgesinde, PV sistemlerin 10m² ile 100m² PV panel alanından üretilen enerji miktarlarına bakıldığında kristal yapıli panellerden oluşan PV sistemlerin ince film yapıli panellerden oluşan PV sistemlere kıyasla daha fazla enerji ürettiği görölmektedir. PV sistemlerden monokristal yapıli kristal silisyum panellerden oluşan sistemler en çok enerji üretirken, amorf silisyum yapıli ince film panellerden oluşan sistemler ise en az enerji üreten sistemler olmuştur.



Şekil 5.16 : Manisa ilinde farklı PV sistemlerden üretilen yıllık enerji miktarı



Şekil 5.17 : İzmir ilinde farklı PV sistemlerden üretilen yıllık enerji miktarı

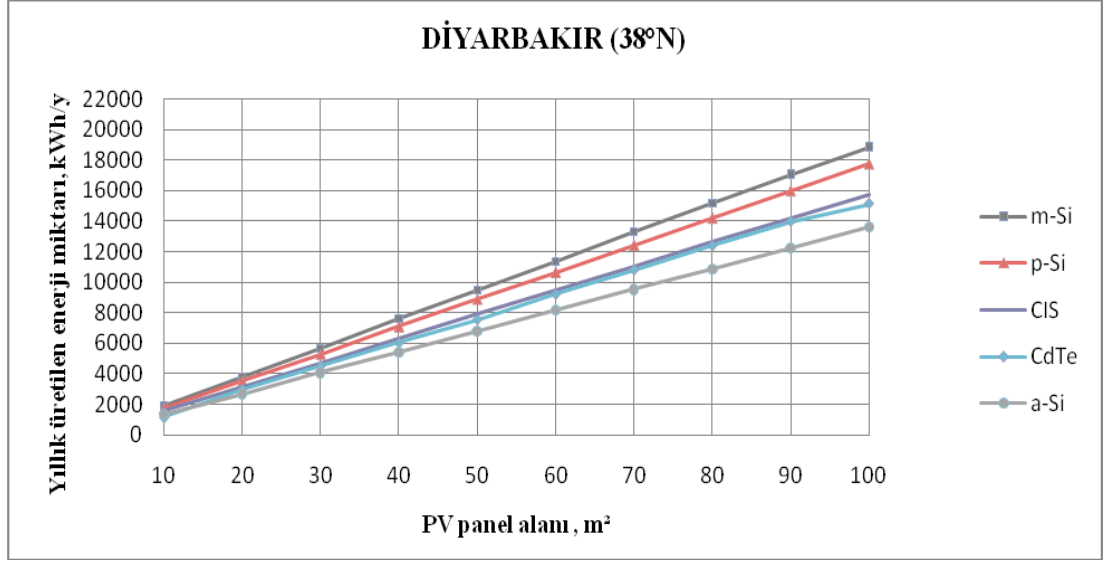


Şekil 5.18 : Adana ilinde farklı PV sistemlerden üretilen yıllık enerji miktarı

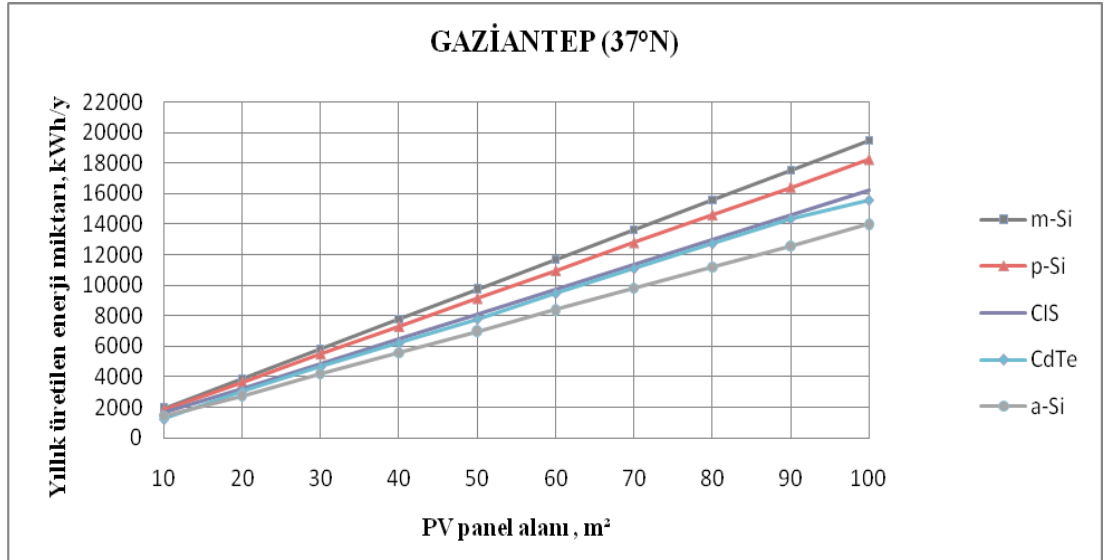
Sıcak kuru iklim bölgesi

Sıcak kuru iklim bölgesi pilot illeri, 38°N Enlem Diyarbakır, 37°N enlem Gaziantep ilinin farklı PV panellerden üretilen yıllık enerji miktarları Şekil 5.19 ve Şekil 5.20’de verilmiştir.

Sıcak kuru iklim bölgesinde, PV sistemlerin 10m² ile 100m² PV panel alanından üretilen enerji miktarlarına bakıldığında kristal yapıli panellerden oluşun PV sistemlerin ince film yapıli panellerden oluşun PV sistemlere kıyasla daha fazla enerji ürettiğı görölmektedir. PV sistemlerden monokristal yapıli kristal silisyum panellerden oluşun sistemler en çok enerji üretirken, amorf silisyum yapıli ince film panellerden oluşun sistemler ise en az enerji üreten sistemler olmuştur.



Şekil 5.19 : Diyarbakır ilinde farklı PV sistemlerden üretilen yıllık enerji miktarı



Şekil 5.20 : Gaziantep ilinde farklı PV sistemlerden üretilen yıllık enerji miktarı

Tüm iklim bölgelerindeki pilot iller için PV sistemlerin yıllık üretilen enerji miktarlarına göre performansının değerlendirilmesi sonucunda, kristal yapıli panellerden oluşan PV sistemlerin ince film yapıli panellerden oluşan PV sistemlere kıyasla daha fazla enerji ürettiğı görölmektedir.

Kristal yapıli PV sistemlerden; monokristal silisyum yapıli panellerden oluşan PV sistemler en fazla enerji üreten sistemlerdir. PV sistemler içerisinde verimi en yüksek olan monokristal silisyum yapıli PV panellerden oluşan sistemler en az panel alanı ile en çok enerji üretebilen sistemlerdir. Polikristal silisyum yapıli panellerden oluşan PV sistemler ise monokristal silisyuma kıyasla daha az enerji üretmektedir. İnce film

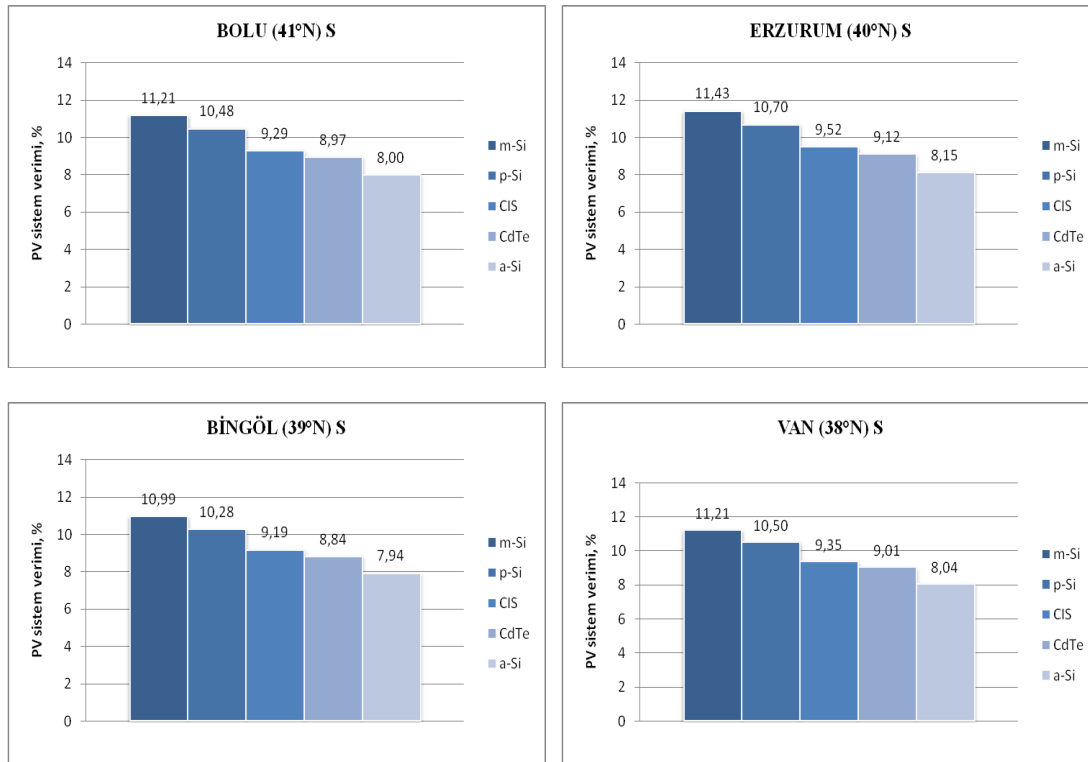
PV sistemlerinde ise; bakır indiyum diselenid yapılı panellerden oluşan PV sistemler en fazla enerji üreten sistemlerdir. Enerji üretimi açısından bakır indiyum diselenid yapılı panellerden oluşan PV sistemleri sırası ile kadmiyum tellürid ve amorf silisyum yapılı panellerden oluşan PV sistemler izlemektedir.

•Verimlerine göre değerlendirme

Bu bölümde farklı iklim bölgelerindeki PV sistemler verimlerine göre değerlendirilirken (tüm panel alanlarında yapılan hesaplar benzer sonuçlar verdiği için) sadece 50m² PV panel alanı dikkate alınmıştır.

Soğuk iklim bölgesi

Soğuk iklim bölgesinin pilot illeri olan Bolu (41°N), Erzurum (40°N), Bingöl (39°N), Van (38°N)'da uygulanan farklı PV sistemlerin verimlilikleri Şekil 5.21'de verilmiştir.

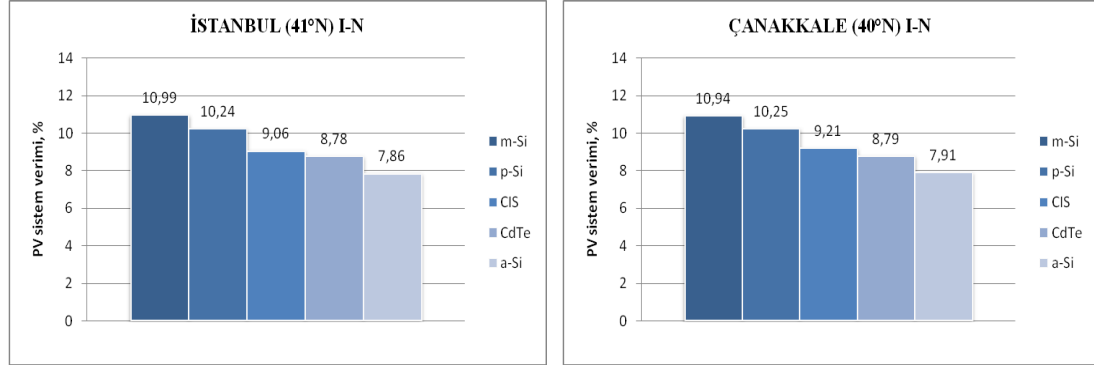


Şekil 5.21 : Soğuk iklim bölgesi PV sistem verimleri

Soğuk iklim bölgesinde, PV sistemlerin 50m² PV panel alanındaki verimlerine bakıldığında monokristal silisyum PV panelinin en verimli panel olduğu görülmektedir. En verimli çalışan PV paneller sırası ile monokristal silisyum, polikristal silisyum, bakır indiyum diselenid, kadmiyum tellürid ve amorf silisyum panellerdir.

Ilımlı nemli iklim bölgesi

Ilımlı nemli iklim bölgesi pilot illeri, İstanbul(41°N) ve Çanakkale(40°N)'de uygulanan farklı PV sistemlerin verimlilikleri Şekil 5.22'de verilmiştir.



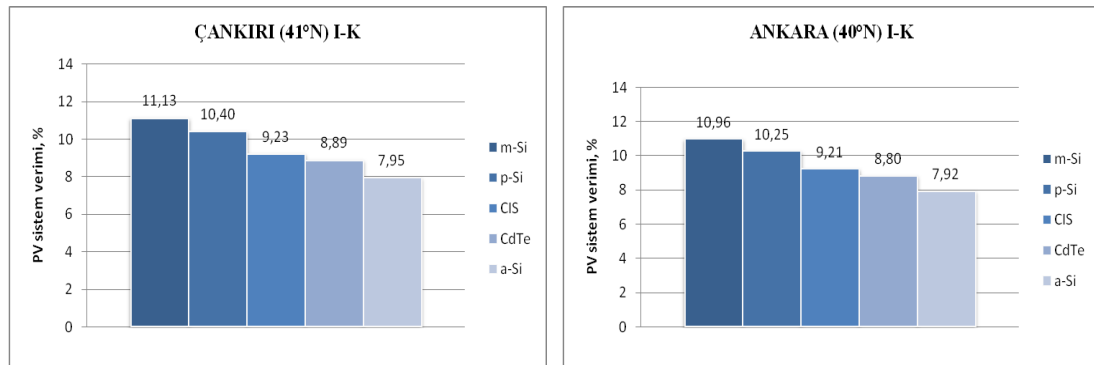
Şekil 5.22 : Ilımlı nemli iklim bölgesi PV sistem verimleri

Ilımlı nemli iklim bölgesinde, PV sistemlerin 50m² PV panel alanındaki verimlerine bakıldığında, en verimli çalışan PV sistemler sırası ile monokristal silisyum, polikristal silisyum, bakır indiyum diselenid, kadmiyum tellürid ve amorf silisyum'dur.

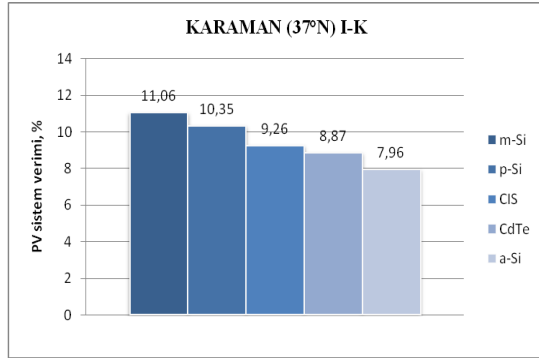
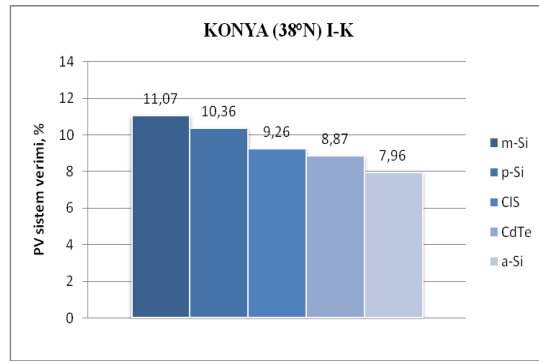
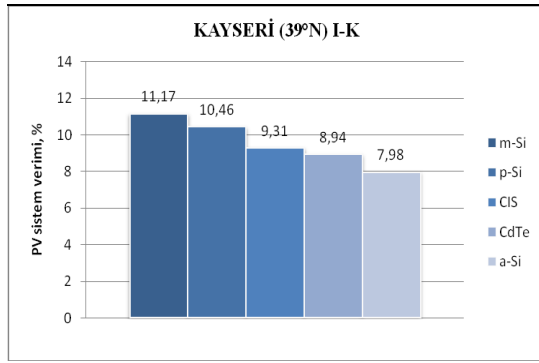
Ilımlı kuru iklim bölgesi

Ilımlı kuru iklim bölgesi pilot illeri, Çankırı (41°N), Ankara (40°N), Kayseri (39°N), Konya (38°N), Karaman (37°N)'da uygulanan farklı PV sistemlerin verimlilikleri Şekil 5.23'de verilmiştir.

Ilımlı kuru iklim bölgesinde, PV sistemlerin 50m² PV panel alanındaki verimlerine bakıldığında, en verimli çalışan PV sistemler sırası ile monokristal silisyum, polikristal silisyum, bakır indiyum diselenid, kadmiyum tellürid ve amorf silisyum'dur.



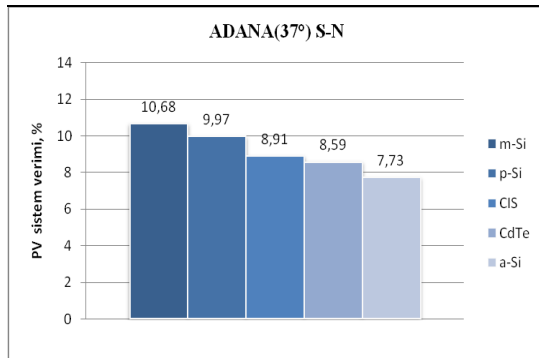
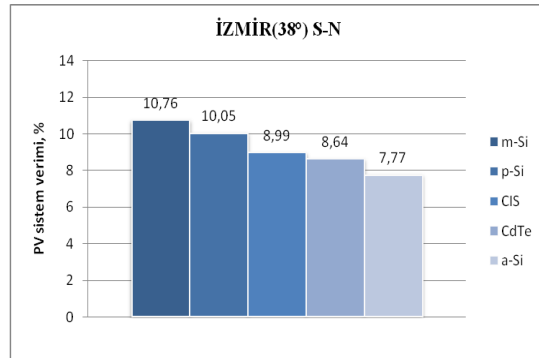
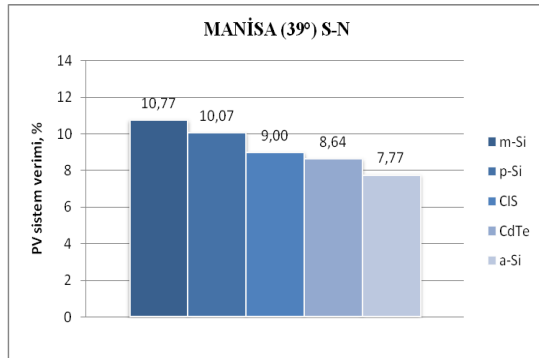
Şekil 5.23 : Ilımlı kuru iklim bölgesi PV sistem verimleri



Şekil 5.23 : (devam) Ilımlı kuru iklim bölgesi PV sistem verimleri

Sıcak nemli iklim bölgesi

Sıcak nemli iklim bölgesi pilot illeri, Manisa(39°N), İzmir (38°N), Adana (37°N)'da uygulanan farklı PV sistemlerin verimlilikleri Şekil 5.24'de verilmiştir.

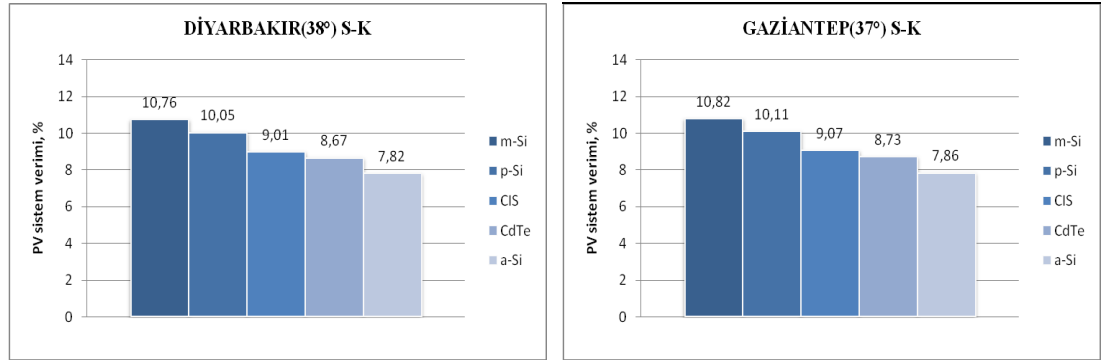


Şekil 5.24 : Sıcak nemli iklim bölgesi PV sistem verimleri

Sıcak nemli iklim bölgesinde, PV sistemlerin 50m² PV panel alanındaki verimlerine bakıldığında, en verimli çalışan PV sistemler sırası ile monokristal silisyum, polikristal silisyum, bakır indiyum diselenid, kadmiyum tellürid ve amorf silisyum'dur.

Sıcak kuru iklim bölgesi

Sıcak kuru iklim bölgesi pilot illeri, Diyarbakır (38°N), Gaziantep(37°N) ilinde uygulanan farklı PV sistemlerin verimlilikleri Şekil 5.25'de verilmiştir.



Şekil 5.25 : Sıcak kuru iklim bölgesi PV sistem verimleri

Sıcak kuru iklim bölgesinde, PV sistemlerin 50m² PV panel alanındaki verimlerine bakıldığında, en verimli çalışan PV sistemler sırası ile monokristal silisyum, polikristal silisyum, bakır indiyum diselenid, kadmiyum tellürid ve amorf silisyum'dur.

Tüm iklim bölgelerindeki pilot iller için PV sistemlerin yıllık üretilen enerji miktarlarına göre performansının değerlendirilmesi sonucunda, kristal yapıli panellerden oluşan PV sistemlerin ince film yapıli panellerden oluşan PV sistemlere kıyasla verimlerinin daha yüksek olduğu görülmektedir. En verimli çalışan PV sistemler sırası ile monokristal silisyum, polikristal silisyum, bakır indiyum diselenid, kadmiyum tellürid ve amorf silisyum panelleridir.

Standart panel verimleri monokristal silisyum %14,14, polikristal silisyum %13,37, bakır indiyum %12,03, kadmiyum tellürid %10,91 ve amorf silisyum %9,65 iken sistemde çalıştırıldıklarında, sıcaklık, ışıma seviyesi, invertör, kablolama modül kalitesi gibi etkenlerden dolayı Şekil 5.21-Şekil 5.25'den de görüldüğü gibi verimleri düşmektedir. İnce film panellerden amorf silisyumun ve kadmiyum tellürid panelinin diğer panellere kıyasla verimlerinde daha az miktarda bir düşüş olmaktadır. Bunun

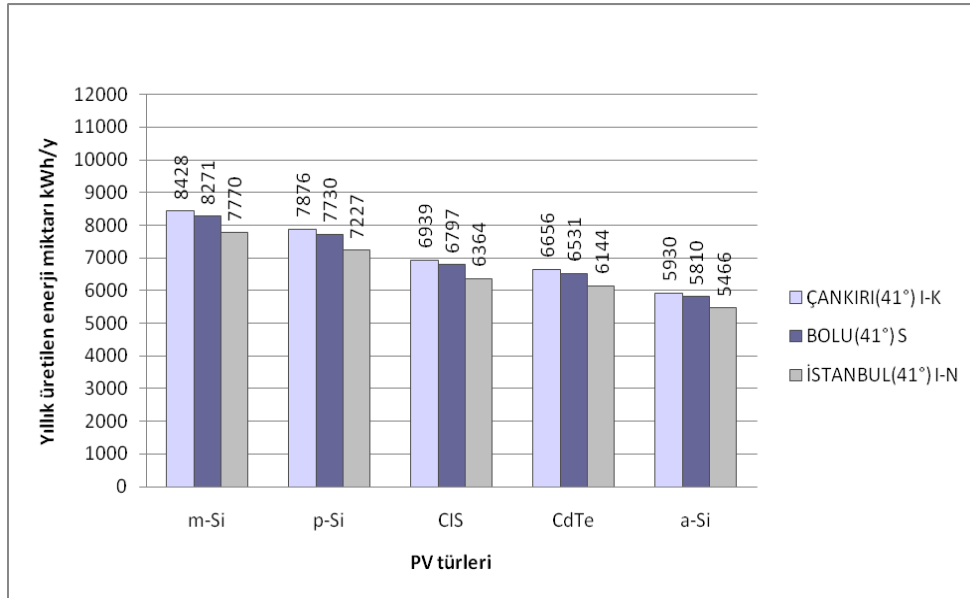
nedeni ise bu sistemlerin olumsuz hava koşullarında (yüksek sıcaklık, bulutlu ve kapalı havalar) diğer panellere kıyasla daha iyi performansla çalışmalarıdır. Sistem performansı açısından en verimli paneller ise sırası ile amorf silisyum, kadmiyum tellür, monokristal silisyum, polikristal silisyum ve bakır indiyum diseleniddir.

5.5.2 Aynı enlemlerde yeralan farklı iklim bölgelerinin PV sistemlerin ürettikleri enerji miktarına göre

Bu bölümde iklim bölgeleri, PV sistemlerin 50m² PV alanında ürettikleri yıllık enerji miktarına göre değerlendirilmiştir. 10,20,...,100m² PV panel alanlarında karşılaştırma açısından aynı sonuçlar çıktığından bu m²'ler göz önünde bulundurulmamıştır. Aynı enlemdeki farklı iklim bölgelerine ait pilot iller karşılaştırılarak, iklim bölgelerinin PV sistem performansları görmek amaçlanmıştır.

41°N enlemi

41°N enleminde; soğuk iklim bölgesinden Bolu, ılımlı nemli iklim bölgesinden İstanbul ve ılımlı kuru iklim bölgesinden Çankırı ilinin, 50m² PV panel alanına sahip farklı PV sistemlerden ürettikleri yıllık enerji miktarı (kWh/y) Şekil 5.26'da görülmektedir.

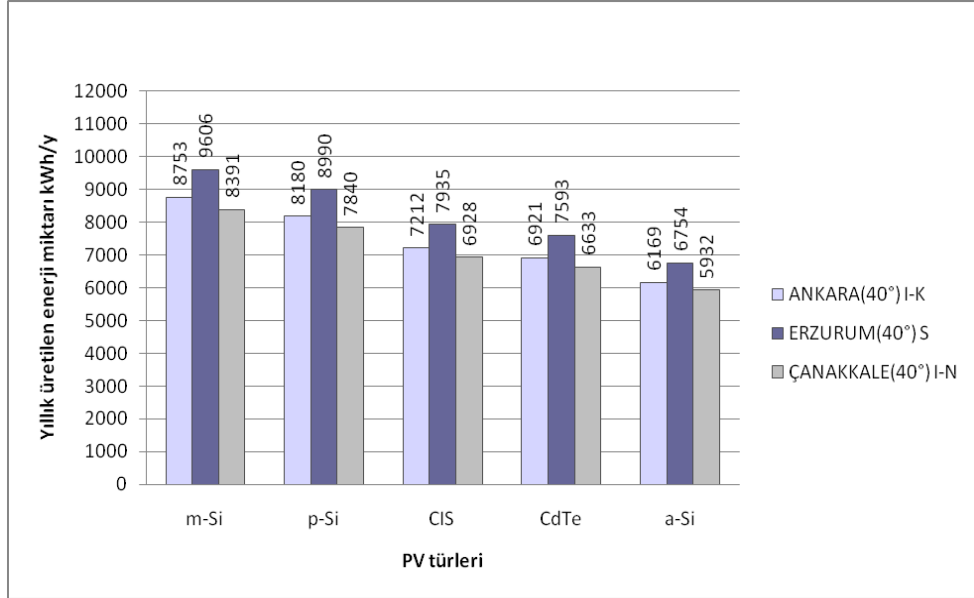


Şekil 5.26 : 41°N enlemindeki farklı iklim bölgelerinde PV sistemlerin ürettikleri enerji miktarı

41°N enleminde alınan sonuçlara göre, ılımlı kuru iklim bölgesi pilot ili Çankırı'nın en çok enerji üreten il olduğu görülmektedir. Bu ili sırası ile soğuk iklim bölgesi pilot ili Bolu ve ılımlı nemli iklim bölgesi pilot ili İstanbul izlemektedir.

40°N enlemi

40°N enleminde; soğuk iklim bölgesinden Erzurum, ılımlı nemli iklim bölgesinden Çanakkale ve ılımlı kuru iklim bölgesinden Ankara ilinin, 50m² PV panel alanına sahip farklı PV sistemlerden ürettikleri yıllık enerji miktarı Şekil 5.27’de verilmiştir.



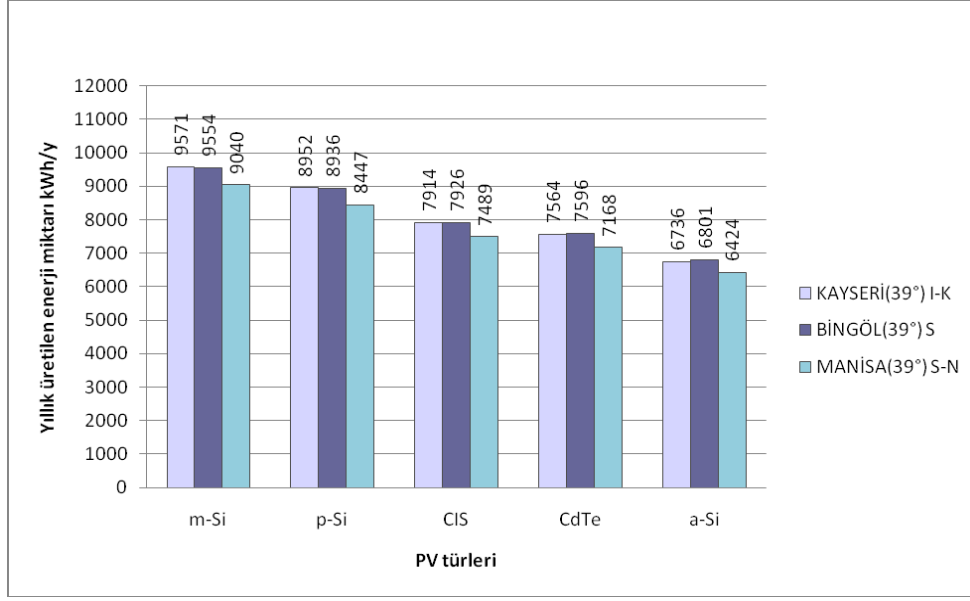
Şekil 5.27 : 40°N enlemindeki farklı iklim bölgelerinde PV sistemlerin ürettikleri enerji miktarı

40°N enleminde alınan sonuçlara göre, soğuk iklim bölgesi pilot ili Erzurum’un en çok enerji üreten il olduğu görülmektedir. Bu ili sırası ile ılımlı kuru iklim bölgesi pilot ili Ankara ve ılımlı nemli iklim bölgesi pilot ili Çanakkale izlemektedir. Burada soğuk iklim bölgesinin ılımlı kuru iklim bölgesine göre daha fazla enerji üretmesinin nedeni Erzurum’un denizden yüksekliğinin fazla olmasıdır.

39°N enlemi

39°N enleminde; soğuk iklim bölgesinden Bingöl, ılımlı kuru iklim bölgesinden Kayseri ve sıcak nemli iklim bölgesinden Manisa ilinin, 50m² PV panel alanına sahip farklı PV sistemlerden ürettikleri yıllık enerji miktarı Şekil 5.28’de verilmiştir.

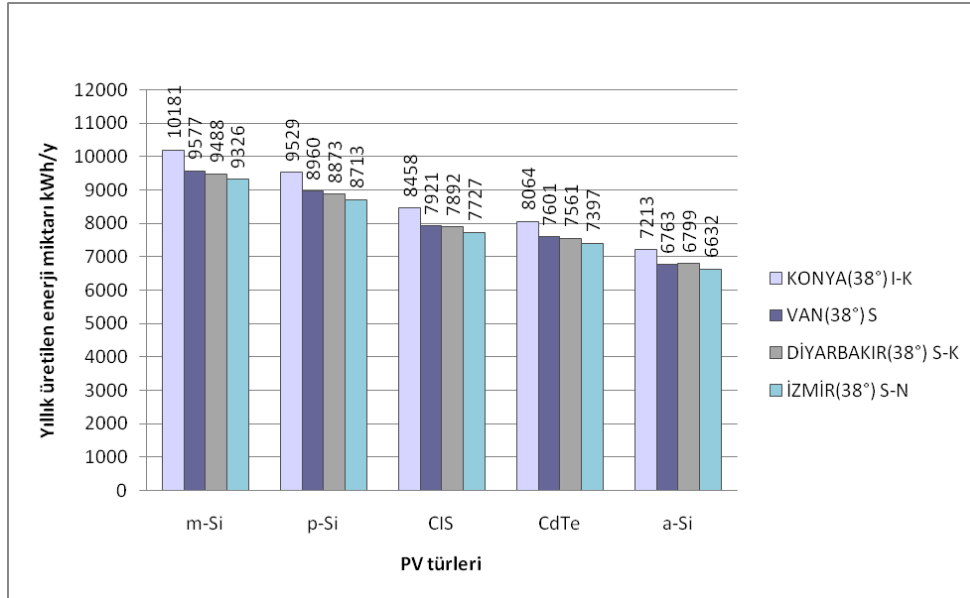
39°N enleminde alınan sonuçlara göre soğuk iklim bölgesi ile ılımlı kuru iklim bölgesindeki PV sistemlerin hemen hemen aynı miktarda enerji ürettiği görülmektedir, kristal yapıli PV sistemlerde (m-Si ve p-Si) ılımlı kuru iklim bölgesi pilot ili Kayseri en çok enerji üreten il olurken, ince film PV sistemlerde (CIS, CdTe ve a-Si) ise soğuk iklim bölgesi pilot ili Erzurum’un en çok enerji üreten il olduğu görülmektedir. Sıcak nemli iklim bölgesi pilot ili Manisa ise en az enerji üreten ildir.



Şekil 5.28 : 39°N enlemindeki farklı iklim bölgelerinde PV sistemlerin ürettikleri enerji miktarı

38°N enlemi

38°N enleminde; soğuk iklim bölgesinden Van, ılımlı kuru iklim bölgesinden Konya, sıcak nemli iklim bölgesinden İzmir ve sıcak kuru iklim bölgesinden Diyarbakır ilinin, 50m² PV panel alanına sahip farklı PV sistemlerden ürettikleri yıllık enerji miktarı Şekil 5.29’da verilmiştir.



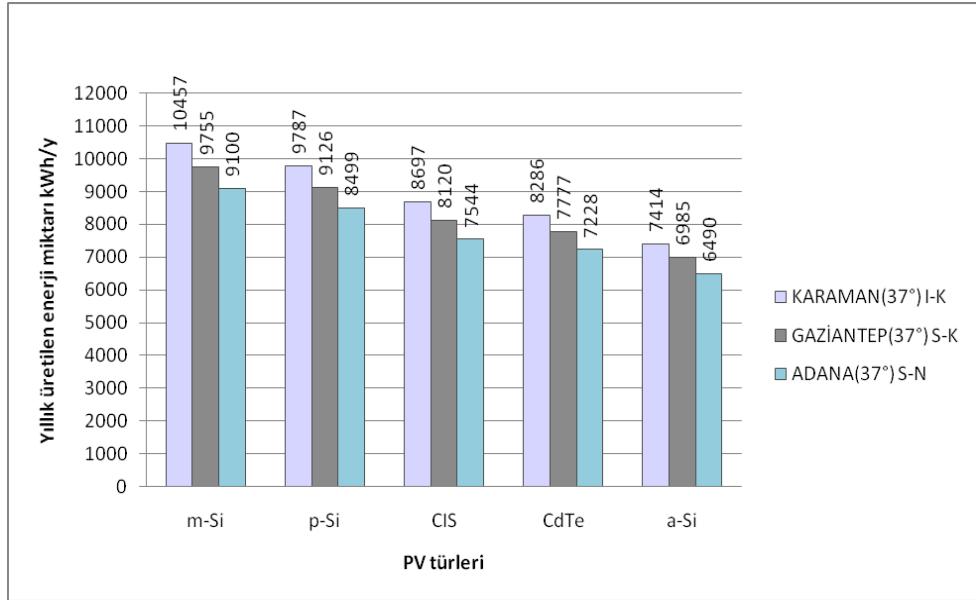
Şekil 5.29 : 38°N enlemindeki farklı iklim bölgelerinde PV sistemlerin ürettikleri enerji miktarı

38°N enleminde alınan sonuçlara göre, ılımlı kuru iklim bölgesi pilot ili Konya en çok enerji üreten il olurken, sıcak nemli iklim bölgesi pilot ili İzmir ise en az enerji

üreten il olmuştur. Soğuk iklim bölgesi ile sıcak kuru iklim bölgesindeki PV sistemlerin ürettikleri enerji miktarları yakın değerlerdedir. Soğuk iklim bölgesi Van ili; m-Si, p-Si, CIS ve CdTe yapılı pv panellerden oluşan sistemlerde sıcak kuru iklim bölgesi Diyarbakır'a oranla daha çok enerji üretirken, a-Si yapılı PV panellerden oluşan sistemlerde Diyarbakır daha fazla enerji üretmiştir.

37°N enlemi

37°N enleminde; ılımlı kuru iklim bölgesinden Karaman, sıcak nemli iklim bölgesinden Adana ve sıcak kuru iklim bölgesinden Gaziantep ilinin, 50m² PV panel alanına sahip farklı PV sistemlerden ürettikleri yıllık enerji miktarı Şekil 5.30'da verilmiştir.



Şekil 5.30 : 37°N enlemindeki iklim bölgelerinin karşılaştırılması

37°N enleminde alınan sonuçlara göre, ılımlı kuru iklim bölgesi pilot ili Karaman'ın en çok enerji üreten il olduğu görülmektedir. Bu ili sırası ile sıcak kuru iklim bölgesi pilot ili Gaziantep ve sıcak nemli iklim bölgesi pilot ili Adana izlemektedir.

Tüm iklim bölgelerindeki pilot iller için PV sistemlerin yıllık üretilen enerji miktarlarına göre performansının değerlendirilmesi sonucunda, aynı enlem üzerindeki illerden ılımlı kuru ve soğuk iklim bölgelerinde yer alanların PV sistem performansı açısından en iyi iller olduğunu görmekteyiz. Sıcaklığın PV performansı üzerindeki olumsuz etkisi, PV sistemlerin sıcak iklim bölgelerindeki verimi, soğuk iklim bölgelerindeki verime kıyasla daha fazla düşürmektedir. Bunun sonucunda PV sistemler, güneş ışınımının fazla ve sıcaklığın düşük olduğu bölgelerde yüksek

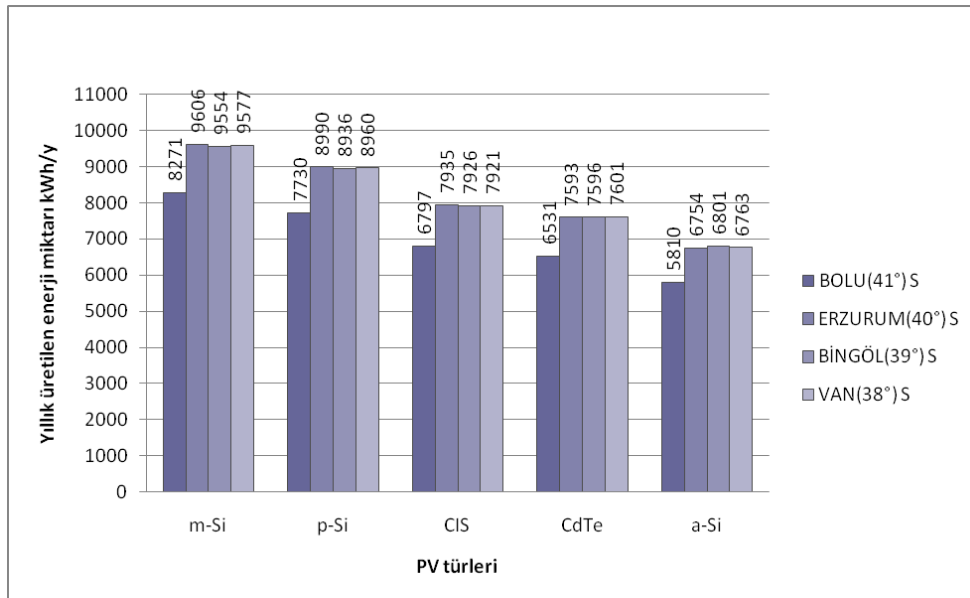
performansta çalışmaktadır diyebiliriz. Aynı zamanda,nemli bölgelerde binaların havalandırılmasının öneminin olduğu kadar PV sistemlerin de havalandırılması önemlidir.PV sistem tasarımında modüllerin arkasından hava akışını sağlayacak bir boşluk bırakılıp havalandırma detayı iyi düşünülmelidir. Aksi takdirde modüllerin arkasında oluşan sıcaklık modüllerin performansını olumsuz etkileyecektir.

5.5.3 Aynı iklim bölgesinde yeralan farklı enlemlerin PV sistemlerin ürettikleri enerji miktarlarına göre değerlendirilmesi

Bu bölümde iklim bölgeleri, farklı enlemlerdeki PV sistemlerin 50m² PV panel alanında ürettikleri yıllık enerji miktarlarına göre değerlendirilmiştir. 10,20,...,100m² PV panel alanlarında karşılaştırma açısından aynı sonuçlar çıktığından bu m²'ler göz önünde bulundurulmamıştır. Aynı iklim bölgelerine ait farklı enlemlerdeki pilot iller karşılaştırılarak, enlemlerin PV sistem performansı üzerindeki etkisini görmek amaçlanmıştır.

Soğuk iklim bölgesi

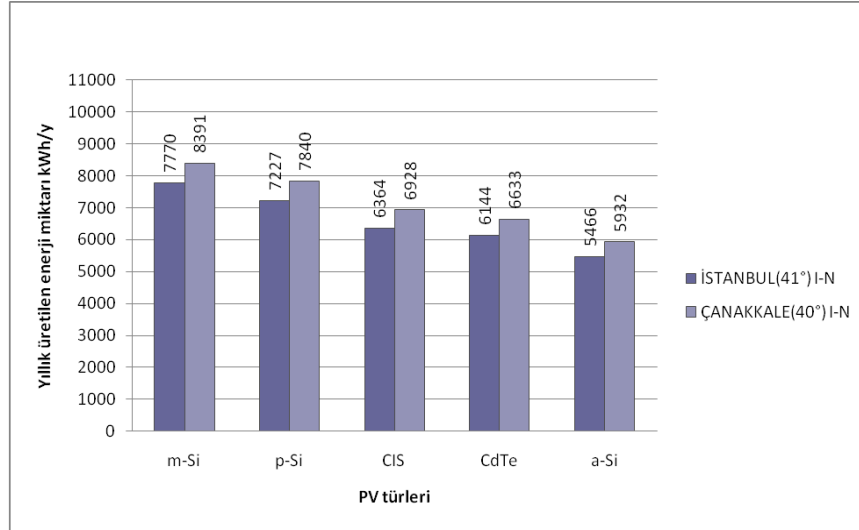
Soğuk iklim bölgesinde, 41°N enleminin pilot ili Bolu, 40°N enleminin pilot ili Erzurum, 39°N enleminin pilot ili Bingöl ve 38°N enleminin pilot ili Van'ın 50 m² PV alanındaki yıllık üretilen enerji miktarı Şekil 5.31'de verilmiştir. Soğuk iklim bölgesine bakıldığında, 41°N enleminin en az enerji üreten enlem iken 40°, 39° ve 38° enlemlerin yakın değerlerde enerji ürettikleri görülmektedir.



Şekil 5.31 : Soğuk iklim bölgesindeki farklı enlemlerde PV sistemlerin ürettikleri enerji miktarı

Ilımlı nemli iklim bölgesi

Ilımlı nemli iklim bölgesinde, 41°N enleminin pilot ili İstanbul, 40°N enleminin pilot ili Çanakkale'nin 50 m² PV alanındaki yıllık üretilen enerji miktarı Şekil 5.31'de verilmiştir. Ilımlı nemli iklim bölgesine bakıldığında, 40°N enlemindeki pilot ilin 41°N enlemindekine kıyasla daha fazla enerji ürettiği görülmektedir.



Şekil 5.32 : Ilımlı nemli iklim bölgesindeki farklı enlemlerde PV sistemlerin ürettikleri enerji miktarı

Ilımlı kuru iklim bölgesi

Ilımlı kuru iklim bölgesinde, 41°N enleminin pilot ili Çankırı, 40°N enleminin pilot ili Ankara, 39°N enleminin pilot ili Kayseri ve 38°N enleminin pilot ili Konya ve 37°N enleminin pilot ili Karaman'ın 50 m² PV alanındaki yıllık üretilen enerji miktarı karşılaştırmalı olarak Şekil 5.33'de verilmiştir.

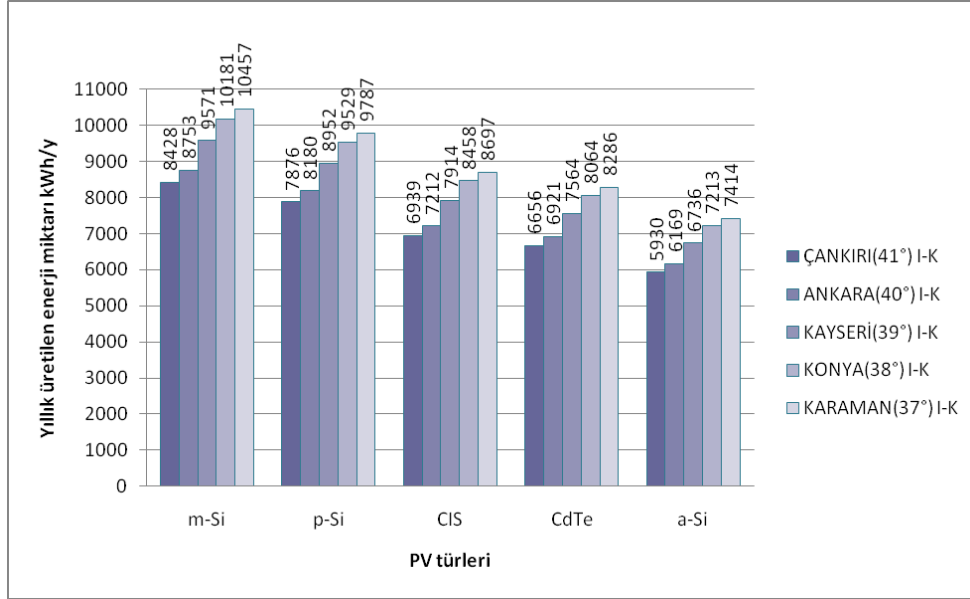
Ilımlı kuru iklim bölgesine bakıldığında, 41°N enlemi pilot ili Çankırı'nın en az enerji üreten il olduğu görülmektedir, en çok enerji üreten il ise 37°N enlemi pilot ili Karaman'dır. Grafiğe bakıldığında enlemler küçüldükçe illerin enerji üretiminin arttığı görülmektedir.

Sıcak nemli iklim bölgesi

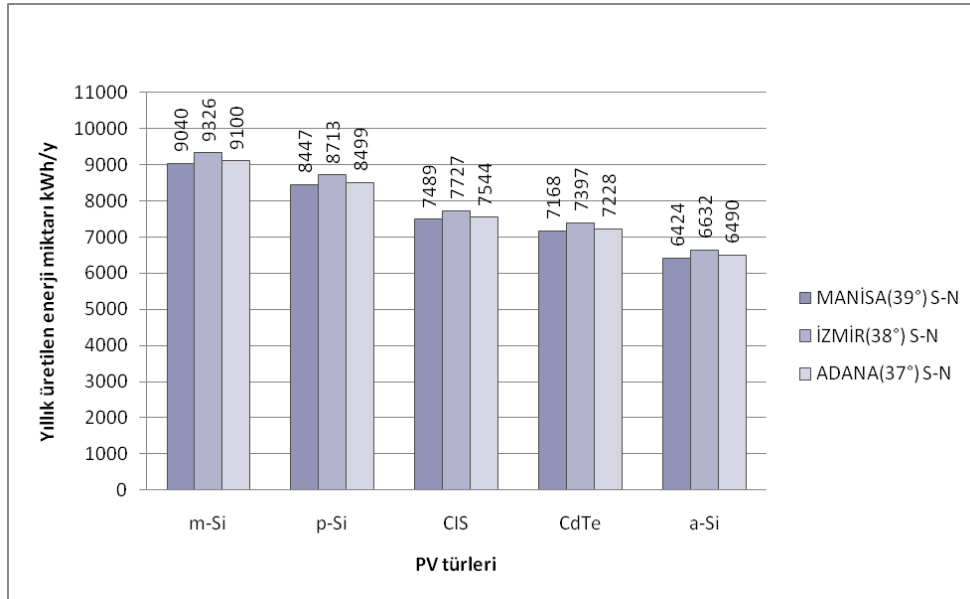
Sıcak nemli iklim bölgesinde, 39°N enleminin pilot ili Manisa, 38°N enleminin pilot ili İzmir ve 37°N enleminin pilot ili Adana'nın 50 m² PV alanındaki yıllık üretilen enerji miktarı karşılaştırmalı olarak Şekil 5.34'de verilmiştir.

Sıcak nemli iklim bölgesine bakıldığında, 37°N enlemi pilot ili Adana'ya gelen aylık ortalama güneş ışınımı değeri 38°N enlemi pilot ili İzmir'e oranla daha az

olduğundan, İzmir Adana'dan daha fazla enerji üretmektedir. 39°N enlemi pilot ili Manisa'nın en az enerji üreten il olduğu görülmektedir.



Şekil 5.33 : Ilımlı kuru iklim bölgesindeki farklı enlemlerde PV sistemlerin ürettikleri enerji miktarı

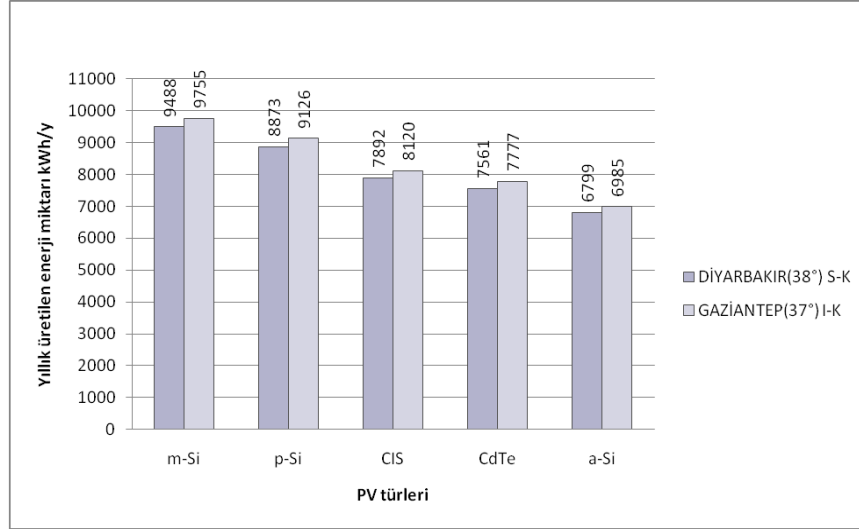


Şekil 5.34 : Sıcak nemli iklim bölgesindeki farklı enlemlerde PV sistemlerin ürettikleri enerji miktarı

Sıcak kuru iklim bölgesi

Sıcak kuru iklim bölgesinde, 38°N enleminin pilot ili Diyarbakır, 40°N enleminin pilot ili Gaziantep'in 50 m² PV alanındaki yıllık üretilen enerji miktarı karşılaştırmalı olarak Şekil 5.35'de verilmiştir. Sıcak kuru iklim bölgesine bakıldığında, 38°N

enlemindeki pilot ilin 37°N enlemindekine kıyasla daha fazla enerji ürettiği görülmektedir.



Şekil 5.35 : Sıcak kuru iklim bölgesinin enlemlere göre performansı

Tüm iklim bölgelerindeki pilot iller için PV sistemlerin yıllık üretilen enerji miktarlarına göre performansının değerlendirilmesi sonucunda, genel olarak illerin bulundukları enlemler küçüldükçe yani kuzey yarım küre için güneye inildikçe illerin ortalama güneş ışınım değerleri de artmaktadır. Buna bağlı olarak PV sistemler daha fazla enerji üretmektedirler.

Bu genel sonucun aksine, rakım, sıcaklık, güneş ışınımı kazancı gibi verilerin illere göre çok farklılık göstermesi nedeniyle bazen az da olsa değişik sonuçlara ulaşılabilmektedir.

6. SONUÇ ve ÖNERİLER

Doğal enerji kaynaklarının, özellikle fosil yakıtların hızla tükenmesi, enerji arz sisteminin sürekli değişmesi, sera gazı emisyonlarının insan yaşamını tehdit eder boyutlara ulaşması, özellikle dünyadaki stratejik dengeleri zaman zaman yerinden oynatan petrolün fiyat istikrarının bulunmayışı, bütün bunlara karşın enerjinin gündelik hayatımızdaki kullanım oranının ve vazgeçilmezliğinin son yıllarda çok fazla artması, enerji verimliliği konusundaki yaklaşımları zorunlu hale getirmektedir.

Ülkemiz, teknolojik ve sosyo-ekonomik açıdan gelişmiş ülkelerin seviyesine ulaşmak için büyük bir çaba harcarken, bu çabaya en büyük engelin enerji tüketimindeki açık olduğu bilinmektedir. Ülkemizde hızlı kentleşme, nüfus artışı ve sanayileşmenin giderek artmasıyla enerji tüketimindeki açık da giderek büyümektedir. Bu açığın kapatılmasında yenilenebilir enerji kaynaklarının devreye girmesi büyük bir gereklilik olarak karşımıza çıkmaktadır.

Enerji tasarrufu yapılmadığı ve enerji kullanımında verimlilik konusunda yeterli uygulamalar geliştirilmediği takdirde ülkemizde ekonomi ve çevre sorunlarının yoğun olarak yaşanacağı açıktır. Bu nedenle, enerji giderlerinin önemli bir bölümünün bina sektöründe gerçekleştirildiği ülkemizde, binalarda enerji verimliliği çözüm geliştirilmesi gereken en önemli konu olduğu tartışılmaz bir gerçektir. Türkiye’de binalarda enerji verimliliği konusundaki gelişmeler temiz ve tükenmeyen enerji kaynaklarının kullanımını zorunlu kılmaktadır. Enerji sorunları düşünüldüğünde güneş ışıını açısından büyük bir potansiyele sahip ülkemizin, bu potansiyeli fırsata dönüştürmesi gerekmektedir.

Güneş enerjisinden yararlanmada kullanılan güneş enerjisini elektrik enerjisine çeviren PV sistemlerin önümüzdeki yıllarda en çok talep gören yenilenebilir enerji kaynağı olacağı bilinmektedir. Bu sistemlerin önemini anlayan birçok devlet bu teknolojiye büyük yatırımlar yapmış, devlet teşvikiyle bu sistemlerin kullanımını yaygınlaştırmıştır. Türkiye gibi güneş ışıını açısından son derece önemli potansiyele sahip bir ülkenin de kendini bu teknolojiden soyutlamasının mümkün olmadığına farkına varılmalıdır.

Ülkemiz güneş enerjisi potansiyeli bakımından iyi durumda olmasına rağmen ne yazık ki bu potansiyeli yeterince etkin ve yaygın kullanamamaktadır. Bunun sebebi olarak kurumlararası koordinasyon eksikliği ve şimdiye kadar devletin bu konuda bir teşvik uygulamamış olması gösterilebilir. Ancak tüm bunlara rağmen uzun zamandır ülkemizde güneş enerjisi çalışmaları yapılmaktadır. Kamu kurum ve kuruluşlarında, üniversitelerde, konu ile ilgili kurulmuş vakıf ve derneklerde güneş enerjisinden etkin biçimde faydalanmak için çalışmalar sürdürülmektedir. Türk Standartları Enstitüsü güneş enerjisi ile ilgili yeni standartlar çıkarmaya başlamıştır. Konu ile ilgili olarak çıkarılan ilk kanun 10.05.2005 tarihinde 5346 sayılı ile “Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun”dur.

Bölüm 3’de anlatılan, PV sistemlerin binalarda kullanımına bakıldığında sistemlerin mimarlıkta geniş bir uygulama alanı olduğu, çatılarda, cephelerde ve farklı bina bölümlerinde mimari bir sistem ögesi olarak uygulanabildiği görülmektedir. PV’lerin binaya entegrasyonunda sistemin optimum verimle çalışması açısından mimarların uygulayacakları bölgelere göre PV sistem çeşitlerinin performans özelliklerine ait bilgilere hakim olması gerekmektedir. Bu amaçla 4. Bölümde açıklanan “Türkiye’de Enerji Verimliliği Açısından Pv Sistemlerin Performansının Değerlendirmesinde Kullanılabilecek Bir Yaklaşım” geliştirilmiştir.

Geliştirilen yaklaşım 5. bölüm’de Türkiye’nin 5 iklim bölgesinin farklı enlemlerinde yer alan pilot illeri için uygulanmıştır. Uygulamanın sonucunda farklı PV sistemlerin 10m² ile 100m² PV panel alanından yıllık üretilen enerji miktarı ve verimliliği elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, farklı fonksiyonlara sahip binaların enerji ihtiyaçlarını karşılayacak şekilde uygun PV panel alanlarını seçmek mümkündür. Ayrıca bu yaklaşım Türkiye’nin tüm illeri için yapılarak Türkiye’nin PV sistem uygulamalarına yönelik potansiyelini belirlemek, bu yönde gerekli olan proje standartları ve uygulama yöntemlerini oluşturmak olanaklıdır.

Bugüne kadar yapılan çalışmaların ve edinilen tecrübelerin uygulamaya aktarılması gerekmektedir. Bu konuda hizmet verecek mühendislik, müşavirlik ve müteahhitlik firmaları ve ilgili sanayinin gelişmesi için devlet tarafından kısa vadede, yasal düzenlemelerin ve teşvik mekanizmalarının oluşturulması gerekmektedir. Böylece, enerjinin büyük bir sorun olduğu ülkemizde PV sistemlere ait teknolojiler gelişecek ve güneş enerjisinden en üst seviyede faydalanmanın yolu açılmış olacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] **Özdemir,Banu Bahar** ; 2005 ; Sürdürülebilir Çevre İçin Binaların Enerji Etkin Pasif Sistemler Olarak Tasarlanması ; *Yüksek Lisans Tezi* ; İ.T.Ü. Mimarlık Fakültesi
- [2] **Özkılıç Keleş, Canten** ; 2008 ;Türkiye’de Binalarda Enerji Verimliliği Açısından Fotovoltaik Sistemlerin Kullanılmasına Yönelik Bir İnceleme ; *Yüksek Lisans Tezi* ; İ.T.Ü Mimarlık Fakültesi)
- [3] **Çalıköğlu, Erdal** ; 2004 ; “Enerji Verimliliği ve EİEİ Tarafından Yürütülen Çalışmalar”, 23. Ulusal Enerji Verimliliği Kongresi, EİEİ Genel Müdürlüğü (Enerji Tasarrufu Koordinasyon Kurulu) Yayını, Ankara ss.59-64
- [4] **TBMM** ; 2007 ; Enerji Verimliliği Kanunu, Kanun No. 5627, Madde No. 3, 6, 7, *Resmi Gazete*, 26510
- [5] **T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Kentleşme Şurası** ; 2009 ; İklim Değişikliği, Doğal Kaynaklar, Ekolojik Denge, Enerji Verimliliği ve Kentleşme Komisyonu Raporu Ankara,
- [6] **Büyükmihçı M.K.** ; 2003 ; “Yenilenebilir Enerji Kaynakları”, Yeni ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu 3-4 Ekim s.15-22 , Kayseri
- [7] **Ak, Filiz** ; 1993 ; Enerji Etkin Konut ve Yerleşme Birimi Dizaynında Uygulanabilecek Bir Yaklaşım ; *Yüksek Lisans Tezi* ; İ.T.Ü
- [8] **Koçlar Oral, Gül** ; 2008 ; Enerji Verimliliğinde Etkin Bina Yaklaşımı ; İ.T.Ü. Mimarlık Fakültesi
- [9] **Kamil B. Varınca ve M. Talha Gönüllü** ; 2006 ; Türkiye’de Güneş Enerjisi Potansiyeli ve Bu Potansiyelin Kullanım Derecesi, Yöntemi ve Yaygınlığı Üzerine Bir Araştırma
- [10] **Sen, Z.** ; 2002 ; “Temiz Enerji ve Kaynakları”, Su Vakfı Yayınları, İstanbul
- [11] <http://www.eie.gov.tr/turkce/gunes/eiegunes.html>, alındığı tarih 10.03.2010
- [12] **Isısan** ; 2008 ;Yenilenebilir Enerjiler Alternatif Sistemler
- [13] **Zorer, G.** ; 1995 ; Dersliklerde Edilgen Sistemle Isısal Konforun Sağlanmasında Tasar Ölçütü Olarak Bir Değerlendirme Yöntemi Oluşturulması, *Doktora Tezi*, Y.T.Ü. İstanbul, s: 6-34
- [14] **M.J., Crosbie** ; 1998.; The passive solar design and construction handbook Steven Winter Associates
- [15] **Efe, Anıl**, 2009, Pasif güneş evlerinde bina kabuğu sistemi tasarımı ; *Yüksek Lisans Tezi* ; İ.T.Ü Mimarlık Fakültesi
- [16] <http://131.251.21.249/local/passive/PassiveSolarDesign.html>, alındığı tarih 20.09. 2009

- [17] **W, Michael ve Wachberger,M.**; 1988 ; Güneş ile inşa etmek : pasif güneş enerjisi kullanımı, çev. Gerçek,L., Akın,S., Maya, Ankara
- [18] **Kachadorian, J.**; 1997 ; The Passive Solar House, The Complete Guide to Heating and Cooling Your Home
- [19] **Koray ULGEN** ; Binaların Pasif Güneş Enerjili Sistemler Yardımıyla Isıtılması; Ege Üniversitesi, Güneş Enerjisi Enstitüsü
- [20] **Derviş N.**; 1984 ; Güneş Evleri, İSTANBUL
- [21] **Norbert Lechner** ; 1990 ; Heating,Cooling and Lighting Design Methods for Architects
- [22] <http://www.squ1.com.html>.
- [23] **Tönük, Seda** ; 2001; Bina Tasarımında Ekoloji
- [24] **Altın,Müjde** ; 2005 ; Research On The Architectural Use Of Photovoltaic(PV) Components in Turkey From The Viewpoint Of Building Shape ; *Doktora Tezi* ; Dokuz Eylül Üniversitesi
- [25] **Bubenzer A.,Luther J.** ; 2003 ; Photovoltaics Guide Book for Decision Makers
- [26] **Çelebi G.** ; 2002 ; “Bina Düşey Kabuğunda Fotovoltaik Panellerin Kullanım İlkeleri”, Gazi Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Dergisi, 17:17-33, Ankara
- [27] http://www.blueplanetenergy.com/about_renewable_energy/solar/photovoltaic/, alındığı tarih 18.05.2009
- [28] **Temiz Dünya Rehberi** ; 2009 ; Güneş Enerjisi
- [29] **Sakınç, Esra** ; 2006 ; Sürdürülebilirlik Bağlamında Mimaride Güneş Enerjili Etken Sistemlerin Tasarım Ögesi Olarak Değerlendirilmesine Yönelik Bir Yaklaşım ; *Doktora Tezi* ; Y.T.Ü Mimarlık Fakültesi
- [30] **DOE** ; 2005 ; “ PV Basics”, Energy Efficiency and Renewable Energy, Solar Energy Technologies
- [31] http://www.eere.energy.gov/solar/PV_basics.html, alındığı tarih 02.01.2011
- [32] **Çıtıroğlu A.** ; 2000, “Güneş Enerjisinden Yararlanılarak Elektrik Üretimi”, *Mühendis Makine Dergisi*, haziran sayısı , İstanbul
- [33] **Özdoğan, Hatice Pelin** ; 2005 ; Ekolojik Binalarda Bina Kabuğunda Kullanılan Fotovoltaik Panellerin Tasarım Bağlamında İncelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Y.T.Ü
- [34] **Simon Roberts & Nicolò Guariento** ; 2009 ; Building integrated photovoltaics : a handbook
- [35] **Markwart,Tomas** ; 1994 ; Solar Electiricity ; John Wiley&Sons
- [36] www.jeotermaldernegi.org, alındığı tarih 04.05.2010
- [37] **Oktik Ş.** ; 2001 ; Güneş-Elektrik Dönüşümleri-Fotovoltaik Güneş Gözeleri ve Güç Sistemleri, Temiz Enerji Vakfı Yayınları, Ankara
- [38] **Thomas,Randall , Fordham,Max and Partners** ; 2001 ;Photovoltaics and Architecture ; Spon Pres
- [39] **Markvart,Tom.,Castener,Luis** ; 2003 ; Practical Handbook of Photovoltaics :Fundamentals and Aplications ;Elsevier

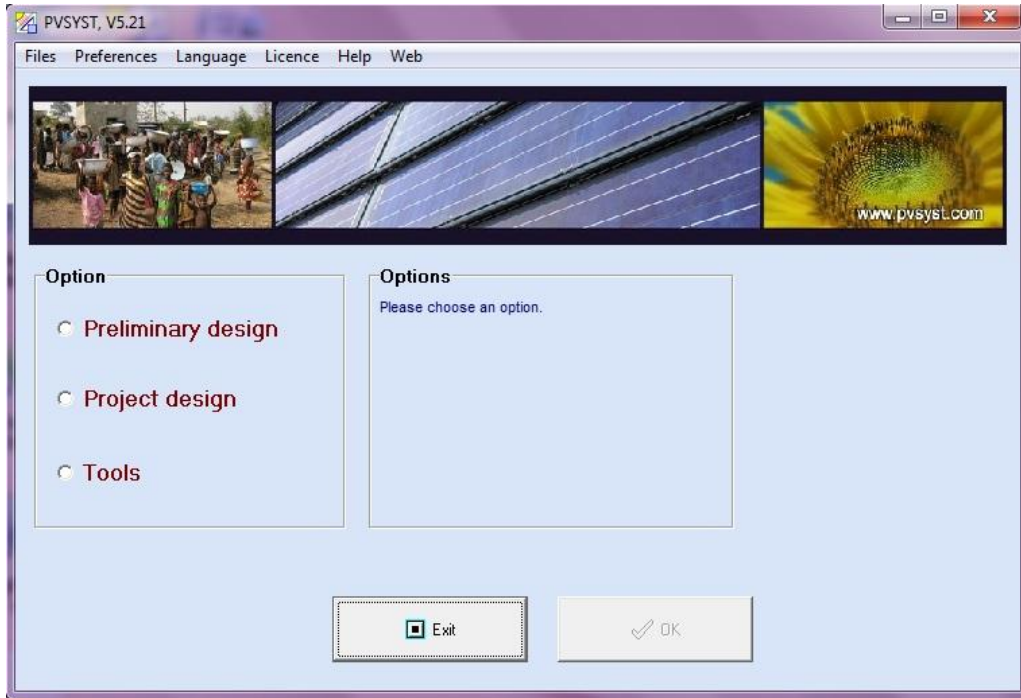
- [40] **Hegger,Fuchs, Stark, Zeumer**; 2008; Energy Manual Sustainable Architecture
- [41] http://www.greenspec.co.uk/html/materials/embodied_energy.html, alındığı tarih 13.04.2011
- [42] **A.Goetzberger/V.U.Hoffman** ; 2005; Photovoltaic Solar Energy Generation
- [43] <http://www.formgroup.com/icerik/yenilenebilir-enerji.html>, alındığı tarih 21.02.2011
- [44] **Prasad, D. and Snow M.**; 2005 ; Designing with Solar Power]
- [45] **International Energy Agency** ; 2002 ; Building Integrated Photovoltaic Power Systems – Guidelines for Economic Evaluation ;
- [46] <http://www.aiatopten.org/>, alındığı tarih 23.11.2010
- [47] **Türe , Engin** ; 2008; Çatı Malzemesi Olarak Güneş Enerjisi Sistemleri;
- [48] <http://solarpowerauthority.com/solar-shingles-an-alternative-to-solar-panels/>, alındığı tarih 15.09.2011
- [49] <http://www.PVdatabase.com>, alındığı tarih 17.04.2009
- [50] **Moral Uğur,Ekin** ; 2006 ; Güneş Pillerinin Yapı Kabuk Elemanları ile Bütünleştirilmelerine Yönelik Bir Araştırma ; Yüksek Lisans Tezi ;İ.T.Ü. Mimarlık Fakültesi
- [51] www.oje-services.nl/iea-PV-ps/cases.html, alındığı tarih 21.12.2010
- [52] <http://www.sunsetenerji.com.tr/sayfa.asp?ne=enaltmenu&id=77>, alındığı tarih 16.01.2011
- [53] **James&James**; 2006 ; Planning and Installing Photovoltaic Systems
- [54] **Özbalta, Türkan Göksal** ; Fotovoltaik Teknolojisi İle Bina Kabuğunun Değişen İşlevleri Ve Yüzeyleri
- [55] <http://www.pvdatabase.org/>, alındığı tarih 05.12.2010
- [56] **ZEREN, L. ve diğ.**; 1987; Türkiye’de Yeni Yerleşmeler ve Binalarda Enerji Tasarrufu Amacıyla Bir Mevzuat Modeline İlişkin Çalışma, Çevre ve Sehircilik Uygulama-Araştırma Merkezi, İ.T.Ü., ISTANBUL
- [57] **Göksu, Ç.**; 1999 ; “Güneş Kent”, Göksu Yayınları No.3, Ankara, s: 88-134
- [58] **Kısa Ovalı** ; 2009; Türkiye İklim Bölgeleri Bağlamında Ekolojik Tasarım Ölçütleri Sistematığının Oluşturulması – Kayaköy Yerleşmesinde Örneklenmesi,Doktora Tezi, TÜ Mimarlık Fakültesi
- [59] <http://re.jrc.ec.europa.eu/PVgis/apps/radmonth.php?en=&europe,,> alındığı tarih 18.05.2010
- [60] <http://tumas.dmi.gov.tr/wps/portal/> , alındığı tarih 13.04.2010
- [61] <http://www.pvsyst.com/>, alındığı tarih 26.09.2010
- [62] www.stecasolar.com , alındığı tarih 27.05.2010

EKLER

EK A.1 : PVSYST 5.21 Programı

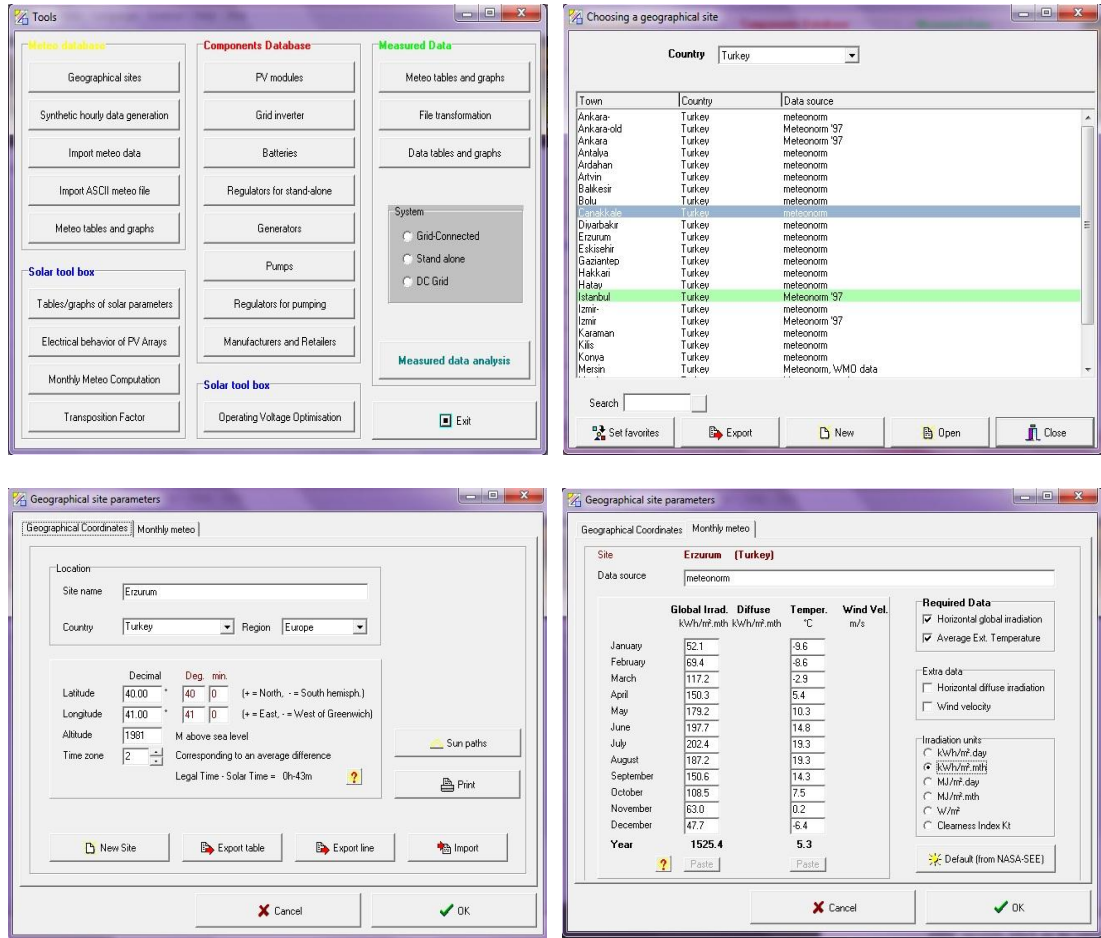
EK A.1

PVSYST paket programı Geneva Üniversitesi fizik uzmanı Andre Mermoud tarafından geliştirilmiştir. Bu program şebekeden bağımsız ve şebekeye bağlı bütün PV sistemlerin simülasyonunda kullanılabilmektedir. Bu yazılım ile bölgelere ait enlem ve boylam, denizden yükseklik, aylık ortalama güneş ışıınımı değerleri ve aylık ortalama hava sıcaklığı değerleri girilerek tasarlanan PV güç sistemlerinin performans tahminleri yapılmıştır. Program içerisinde ön tasarım (*preliminary design*) ve proje tasarımı (*project design*) olmak üzere iki ayrı hesaplama yapılabilmektedir. (Şekil A1)



Şekil A.1: PVSYST 5.21 paket programı

Ön tasarım seçeneğinde bir projenin ön analizleri yapılmaktadır. Bu seçenek “*Location, System, Results*” kısımlarından oluşmaktadır. *Location* kısmında sistemin kurulacağı bölge belirlenir. Bölge programın veri tabanı içerisinde bulunmuyorsa araçlar (*Tools*) bölümünde coğrafi bölge (*Geographical sites*) seçeneğinde yeni bir alan “*New*” tanımlanarak bu bölgenin enlem, boylam ve rakım belirtildikten sonra aylık ortalama güneş ışıınımı ve aylık ortalama hava sıcaklığı değerleri girilmelidir. (Şekil A.2) Bölge için yayılı ışıınım değerleri ve rüzgâr hızı değerleri ölçülmüş ise bu veriler de sisteme girilerek daha hassas bir simülasyon gerçekleştirilebilir.



Şekil A.2: PVSYST 5.21 programı bölge verileri girme aşamaları

“System” kısmında PV sistemin panel alanı ya da istenilen PV sistem güç ya da istenilen yıllık enerji miktarlarından biri seçilerek , sistemin yönelimi ve modüllerin eğim açısı belirlenir. Daha sonra kullanılacak olan PV’nin türü, konumu ve havalandırma özelliği seçilerek simülasyonu yapılır. Fakat burada fotovoltaik türleri için standart birer modül belirlenmiştir, çıkan sonuçlar ortalama değerlerdir. Sonuç (Results) kısmında yatay ve eğimli yüzeye gelen aylık toplam enerji değerlerinin karşılaştırılması ile sistemin üretmesi beklenen aylık ortalama enerji değerleri ayrı birer grafikte verilmektedir.

Proje tasarımı seçeneğinde PV sistemler hakkında detaylı bir inceleme yapılabilmektedir. Şebeke bağlantılı bir PV sistem için, sistemin bulunduğu yerin meteorolojik ve coğrafik özelliklerinden sistemde kullanılacak her bir parçanın teknik özelliklerinin belirlenmesiyle simülasyon gerçekleştirilmektedir. Bu simülasyonda sırasıyla proje ve değişkenler (*project/variant*), yönelim (*orientation*), ufuk çizgisi (*horizon*), gölgelenme (*near shadings*), sistem (*system*) ve simülasyon (*simulation*) basamakları takip edilmelidir.

Proje ve değişkenler seçeneğinde öncelikle projenin ismi belirlenir ve daha sonra projenin gerçekleştirileceği bölge ülke ve şehir olarak belirtilir.Ön tasarım seçeneğinde anlatıldığı gibi bölgeye ait veriler sisteme girilir.

Yönelim seçeneği ile PV sistemin nasıl bir yöneline sahip olacağı belirlenmektedir.

Ufuk çizgisi seçeneğinde seçilen bölge için azimut açısına göre güneş yüksekliğinin saatlere ve aylara göre yıl içerisindeki değişimi belirlenebilmektedir.

Gölgeleme seçeneğinde sistemin yakınlarında bulunan cisimlerin gölgeleme etkisi belirlenir.

Sistem özellikleri seçeneğinde ise PV sistemin güç üretimi ve enerji dönüşümünü sağlayan PV modül ve invertörler belirlenmektedir. Sistem özelliklerinin belirlenmesi, kurulacak sistemin gücüne göre Şekil A.3’ de belirtildiği gibi kullanılacak invertör ve modüllerin seçimi ile gerçekleştirilir.

Grid system definition, Variant: "istanbul-mono-50m2"

Global System configuration

1 Number of kinds of sub-fields

? Simplified Schema

Global system summary

Nb. of modules	36	Nominal PV Power	6.7 kWp
Module area	47 m²	Maximum PV Power	6.2 kWdc
Nb. of inverters	3	Nominal AC Power	6.0 kWac

Homogeneous System

Presizing Help

☐ No Sizing Enter planned power kWp, ... or available area m² ?

Select the PV module

Sort modules: ☒ Power ☐ Technology ☐ Manufacturer Favorites

185 Wp 20V Si-mono NU-185E1 Sharp Manufacturer 20 Open

Maximum nb. of modules: 38 Sizing voltages: Vmpp (60°C) 19.6 V Voc (-10°C) 34.2 V

Select the inverter

Sort inverters by: ☒ Power ☐ Voltage (max) ☐ Manufacturer Favorites

2.0 kW 80 - 400 V 50 Hz StecaGrid 2000 Master Steca Open

Nb. of inverters: 3 Operating Voltage: 80-400 V Global Inverter's power: 6.0 kWac Input maximum voltage: 450 V Master inverter 2 Slave

Design the array

Number of modules and strings

Mod. in series: 12 should be between 5 and 13

Nbre strings: 3 only possibility 3

Overload loss: 0.0 % Show sizing ?

Pnom ratio: 1.11

Nb. modules: 36 Area: 47 m²

Operating conditions

Vmpp (60°C)	235 V
Vmpp (20°C)	292 V
Voc (-10°C)	411 V

Plane irradiance: 1000 W/m² Max. in data STC

Imp (STC): 23.4 A Max. operating power: 5.8 kW at 1000 W/m² and 50°C

Isc (STC): 26.0 A

Isc (at STC): 25.6 A Array nom. Power (STC): 6.7 kWp

The array Isc value is greater than the inverter maximum input current. (Info, not significant)

User's needs Detailed losses Cancel OK

Şekil A.3 : PVSYST 5.21 programı PV sistem özelliklerinin belirlenmesi

Öncelikle sistemin standart koşullar altındaki gücü (kWp) ya da sistemin kurulabileceği alan (m²) belirlenir. Daha sonra program veri tabanında bulunan 2Wp'den 1632 Wp'e kadar farklı büyüklük ve çeşitli teknolojilerle üretilmiş piyasada bulunan ticari modüller arasından sistemde kullanılacak PV modül seçimi yapılır. Seçilen modülün isminin yazılı olduğu satırın yanındaki “*Open*” seçeneğinden modüle ait olan tüm elektriksel özellikler görülebilir. Program veri tabanında bulunan 0,10 kW'den 2500 kW'ye kadar geniş bir aralıkta değişen güçlere sahip invertörlerden biri seçilir. İnvertör seçiminde güç bağlantısının yapılacağı şebeke ile invertör çıkış voltajının aynı olmasına dikkat edilmelidir. Program otomatik olarak belirlenen güçte bir sistem için kaç adet invertör gerekeceğini belirler. İnvertör ismini belirten satırın yanındaki “*Open*” seçeneğinden invertöre ait tüm elektriksel özellikler görülebilir. Örgü tasarımı (Design Array) kısmında seçilen modüllerin seri ve paralel olarak bağlanmalarındaki sayıları seçilen invertörün elektriksel özelliklerine göre program tarafından belirlenir. PV sisteme ait tüm özellikler belirlendikten sonra simülasyon gerçekleştirilebilir ve bu simülasyon sonucu olarak aylık ve yıllık üretilen enerji miktarları, sistem verimleri, sistem gücü hakkında detaylı sonuçlar verilmektedir.

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Ayşe Gül Gemicioğlu

Doğum Yeri ve Tarihi: Giresun 1985

Lisans Üniversitesi: Yıldız Teknik Üniversitesi Mimarlık Bölümü