

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**GÜNEŞ PİLLERİNİN YAPI KABUK ELEMANLARI
İLE BÜTÜNLEŞTİRİLMELERİNE YÖNELİK BİR
ARAŞTIRMA**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Mimar Ekin MORAL UĞUR**

Anabilim Dalı : MİMARLIK

**Programı : ÇEVRE KONTROLÜ VE YAPI
TEKNOLOJİSİ**

EYLÜL 2006

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**GÜNEŞ PİLLERİNİN YAPI KABUK ELEMANLARI İLE
BÜTÜNLEŞTİRİLMELERİNE YÖNELİK BİR
ARAŞTIRMA**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Mimar Ekin MORAL UĞUR
(502991110)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 8 Eylül 2006
Tezin Savunulduğu Tarih : 6 Ekim 2006**

**Tez Danışmanı : Yrd.Doç.Dr. Aslıhan TAVİL (İ.T.Ü.)
Diğer Jüri Üyeleri Prof.Dr. Gül KOÇLAR ORAL (İ.T.Ü.)
Prof.Dr. Ertan ÖZKAN (BEYKENT Ü.)**

EYLÜL 2006

ÖNSÖZ

Beni bu konu üzerinde çalışmaya yönlendiren ve zorlu çalışma dönemim boyunca ilgisiyle sabrını hiçbir zaman esirgemeyen tez danışmanım Sayın Hocam Y. Doç. Dr. Aslıhan Tavil'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Akademik çalışmalarım boyunca bana güvenleriyle destek olan Sevgili Eşim'e, aileme ve dostlarıma da şükranlarımı sunmaktan mutluluk duyarım.

Eylül , 2006

Ekin MORAL UĞUR

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	v
TABLO LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	vii
ÖZET	x
SUMMARY	xii
1. GİRİŞ	1
1.1. Türkiye'de Güneş Enerjisinin Değerlendirilmesine Yönelik Çalışmalar	3
1.2. Türkiye'de Güneş Pili Kullanımı	4
2. GÜNEŞ PİLLERİNİN TANITILMASI	6
2.1. Güneş Pillerinin Teknolojik Tanımı ve Tarihçesi	6
2.2. Güneş Pili Panel Sisteminin Seçiminde ve Tasarımında Etken Faktörler	9
2.2.1. Yapı tipine bağlı olarak enerji kullanımının analiz edilmesi	9
2.2.2. Sistemin içinde yeralacağı çevre koşulları	14
2.2.2.1. Fiziksel çevresel faktörler	15
2.2.2.2. Sistemin yapıdaki yeri	17
2.2.2.3. Yapının bulunduğu coğrafi ve topografik koşullar	19
2.2.3. Yapının bulunduğu çevrenin gerektirdiği enerji dönüşüm ve depolama şekli	19
2.2.3.1. Şebeke bağlantılı sistemler	20
2.2.3.2. Tekil sistemler	20
2.2.3.3. Hibrid sistemler	21
2.2.3.4. Doğrudan kullanımlı sistemler	22
2.2.4. Güneş pili sisteminde enerji depolama ve dönüştürme	22
3. BİNALARDA GERÇEKLEŞTİRİLMİŞ GÜNEŞ PİLİ UYGULAMALARI-DÜNYADAN ÖRNEKLER	25
3.1. Örneklemeye Çalışmasının Amacı ve Kapsamı	25
3.2. Örnekler	25
3.2.1. Samsung Mühendislik ve İnşaat Teknolojileri Enstitüsü, Kore	26
3.2.2. A.P.S. Fabrika Binası, A.B.D.	28
3.2.3. N.A.H.B. 21st Century Townhouse, A.B.D.	30
3.2.4. Rikers Adası Geri Dönüşüm Tesisi, A.B.D.	31
3.2.5. 4 Times Square, A.B.D.	32
3.2.6. Clarum Toplu Konut Yerleşimi, A.B.D.	33

3.2.7. Solar Sunflowers, A.B.D.	34
3.2.8. Gloucestershire Üniversitesi Spor Bilimleri Merkezi, İngiltere	35
3.2.9. Neu-Technikum Buchs, İsviçre	36
3.2.10. Müstakil konut, Feldkirch, Avusturya	37
3.2.11. Thoreau Merkezi Giriş Rüzgarlığı, Kaliforniya, A.B.D.	38
3.2.12. New York Eyalet Üniversitesi, Albany, A.B.D.	40
4. YAPI SİSTEMİ VE ALT BİLEŞENLERİ	42
4.1. Yapı Sistemi Alt Bileşenlerinin Sınıflandırılması	42
4.2. Yapı Kabuğu	43
4.2.1. Çatı	45
4.2.1.1. Eğik çatılar	45
4.2.1.2. Düz çatılar	46
4.2.1.3. Eğrisel çatılar	47
4.2.2. Cephe	48
4.2.2.1. Düşey düzlemsel ve kırıklı yüzeyli giydirme cepheler	49
4.2.2.2. Açılı eğimli yüzeyli giydirme cepheler	52
4.2.3. Güneş kırıcılar	55
4.2.3.1. Yatay güneş kırıcılar	56
4.2.3.2. Düşey güneş kırıcılar	57
4.2.3.3. Karma güneş kırıcılar	59
5. GÜNEŞ PİLLERİNİN MEVCUT VE YENİ BİNALARDA UYGULAMA ŞEKİLLERİ	60
5.1. Güneş Pillerinin Mevcut Yapılardaki Uygulama Şekilleri	60
5.1.1. Güneş pili panellerinin mevcut çatı sistemi ile bütünleştirilmesi	61
5.1.2. Güneş pili panellerinin mevcut cephe sistemi ile bütünleştirilmesi	69
5.2. Yeni Yapıların Tasarımında Güneş Pili Panellerinin Kullanılması	73
5.2.1. Yapı çatısının doğrudan güneş pili panellerinden oluşturulması	73
5.2.2. Yapı cephesinin doğrudan güneş pili panellerinden oluşturulması	73
5.3. Güneş Pili Panellerinin Yapı Elemanları ile Bütünleştirilmesi	75
6. SONUÇLAR	79
KAYNAKLAR	83
ÖZGEÇMİŞ	86

KISALTMALAR

PV	: (Photovoltaic) Fotovoltaik
DC	: (Direct Current) Doğru Akım
AC	: (Alternative Current) Alternatif Akım
S.I.E.C.T.	: Samsung Institute of Engineering and Construction Technologies
A.P.S.	: Advanced Photovoltaic Systems
N.A.H.B.	: National Association of Home Builders

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1. Yatay düzleme gelen aylık ortalama günlük global güneş ışınlamı	15
Tablo 2.2. Türkiye'nin aylık ortalama güneş enerjisi potansiyeli	17
Tablo 2.3. Türkiye'nin yıllık toplam güneş enerjisi potansiyelinin bölgelere göre dağılımı	17
Tablo 5.1a. Yapı elemanları ve güneş pili paneli tipleri entegrasyon diyagramı (1)	76
Tablo 5.1b. Yapı elemanları ve güneş pili paneli tipleri entegrasyon diyagramı (2)	77

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa No
Şekil 1.1 : Ege Üniversitesi tarafından gerçekleştirilen düz çatı üzerine güneş pili paneli uygulaması	3
Şekil 2.1 : Güneş pili modül oluşum prensibi	8
Şekil 2.2 : Konut için yıllık enerji kullanım diyagramı	10
Şekil 2.3 : Okul için yıllık enerji kullanım diyagramı	11
Şekil 2.4 : Şebeke bağlantılı güneş pili sistem şeması	20
Şekil 2.5 : Doğru akım kullanımlı tekil güneş pili sistem şeması	21
Şekil 2.6 : Alternatif akım kullanımlı tekil güneş pili sistem şeması	21
Şekil 2.7 : Hibrid sistem şeması	22
Şekil 2.8 : Doğrudan kullanımlı sistem şeması	22
Şekil 3.1 : SIECT üç boyutlu modeli	26
Şekil 3.2 : SIECT güneş kırıcı	27
Şekil 3.3 : SIECT çatı dizisi tip A	28
Şekil 3.4 : SIECT çatı dizisi tip B	28
Şekil 3.5 : APS Giriş bloğu görünüşü	29
Şekil 3.6 : Giriş bloğu üzerindeki güneş pili panellerinden oluşturulan giydirme cephe ve çatı ışıklığının iç mekandaki günışığı düzeyine etkisi	30
Şekil 3.7 : NAHB 21st Century Townhouse	31
Şekil 3.8 : Rikers Adası Geri Dönüşüm Tesisi güneş pili çatı sistemi	32
Şekil 3.9 : 4 Times Square	33
Şekil 3.10 : Clarum'da gerçekleştirilen güneş pili çatı levha kaplama uygulaması	34
Şekil 3.11 : Clarum'da güneş pili çatı levha kaplamasının uygulanışı	34
Şekil 3.12 : Solar Sunflowers	35
Şekil 3.13 : Testere dişli çatı üzerinde güneş pili paneli uygulaması	35
Şekil 3.14 : Çatı penceresine yarı saydam güneş pili uygulaması örneği (İsviçre)	36
Şekil 3.15 : Müstakil konut düz çatısına güneş pili paneli uygulaması	38
Şekil 3.16 : Güneş pili panelleri ile elektrik sistemi arasındaki bağlantı prensibi	38
Şekil 3.17 : Giriş alanı saçağı	39
Şekil 3.18 : Giriş alanı saçağı alttan görünüşü	40
Şekil 3.19 : Saçak planı	40
Şekil 3.20 : Güneş pili panelleriyle güneş kırıcı uygulaması	41

Şekil 4.1	: Eğik çatı tipleri	46
Şekil 4.2	: Düz çatılar	46
Şekil 4.3	: Eğrisel çatı tipleri	47
Şekil 4.4	: Çelik taşıyıcılara bağlanan kompozit panellerle oluşturulan cephe sistemi	49
Şekil 4.5	: Düzlemsel giydirme cepheler	50
Şekil 4.6	: Çift cidarlı cam giydirme cephe prensip detayı	50
Şekil 4.7	: Düşeyde kırıklı giydirme cephe	51
Şekil 4.8	: Akordeon giydirme cephe	51
Şekil 4.9	: Yatayda kırıklı giydirme cephe	52
Şekil 4.10	: Eğimli düzlemsel giydirme cepheler	52
Şekil 4.11	: Eğimli kırıklı giydirme cepheler	53
Şekil 4.12	: Kenet birleşimli metal plaka kaplı cephe detayı	54
Şekil 4.13	: Yarı binili birleşime sahip yağmur perdesi aksonometrik prensip detayı	55
Şekil 4.14	: Cepheden bağımsız yatay güneş kırıcı	57
Şekil 4.15	: Cepheden bağımsız yatay ızgara güneş kırıcı	57
Şekil 4.16	: Cepheyle bütünleşik yatay güneş kırıcı (ışık rafı)	57
Şekil 4.17	: Yapı kabuğuna paralel düşey güneş kırıcılar	58
Şekil 4.18	: Yapı kabuğuna dik düşey güneş kırıcılar	58
Şekil 4.19	: Yapı kabuğuna açılı düşey güneş kırıcılar.....	59
Şekil 5.1	: Mevcut oluklu panel kaplı çatı üzerine güneş pili paneli montajı	62
Şekil 5.2	: Mevcut taşıyıcı sistem üzerine güneş pili paneli montajı prensip detayı	62
Şekil 5.3	: Eğik çatılarda güneş pili paneli uygulama örnekleri.....	63
Şekil 5.4	: Kiremit kaplı kırma çatılarda güneş pili paneli uygulama detayı	63
Şekil 5.5	: Güneş pili çatı levha kaplamaları montaj prensip detayı	64
Şekil 5.6	: Güneş pili çatı kaplama örnekleri	65
Şekil 5.7	: Eğik çatılarda güneş pili çatı levha kaplama uygulama örnekleri (Bölüm 3.2.6)	65
Şekil 5.8	: Testere dişli çatı üzerinde güneş pili paneli uygulaması (Bölüm 3.2.8).....	65
Şekil 5.9	: Testere dişli çatıda güneş pili paneli uygulama detayı	66
Şekil 5.10	: Eğrisel çatıda güneş pili paneli uygulama örneği (Hollanda).....	66
Şekil 5.11	: Teras çatıda güneş pili paneli uygulama örneği (A.B.D.)	67
Şekil 5.12	: Saydam/Yarı saydam güneş pili paneli uygulama örnekleri	67
Şekil 5.13	: Alüminyum doğramalı saydam/yarı saydam güneş pili paneli pergola saçağı montaj detayı (Bölüm 3.2.11)	68
Şekil 5.14	: Cıvatalı saydam/yarı saydam güneş pili paneli pergola saçağı montaj detayı	68
Şekil 5.15	: Çatı penceresine yarı saydam güneş pili paneli uygulaması (Bölüm 3.2.9).....	69
Şekil 5.16	: Sahada birleştirilen cam giydirme cephe prensip kesiti	70
Şekil 5.17	: Önüretimli cam giydirme cephe prensip kesiti	70
Şekil 5.18	: Güneş pili panelleriyle yağmur perdelerinin oluşturulma prensibi	71
Şekil 5.19	: Güneş pili panelli yatay güneş kırıcı ve giydirme cephe hibrid sistem	72
Şekil 5.20	: Yapı kabuğundan bağımsız güneş pili panelli yatay güneş kırıcı sistemi	72

Şekil 5.21 : Güneş pili panelleriyle oluşturulan giydirme cephe birleşim detayı	74
---	----

GÜNEŞ PİLLERİNİN YAPI KABUK ELEMANLARI İLE BÜTÜNLEŞTİRİLMELERİNE YÖNELİK BİR ARAŞTIRMA

ÖZET

Dünya ekonomisinin büyük ölçüde bağımlı olduğu fosil yakıtlarının yol açtıkları çevre kirliliği ve sonsuz bir kaynak olmayışları insanlığı temiz enerji kaynakları arayışına itmiştir. Güneş, büyük enerji potansiyeli ile alternatif kaynakların başında gelmektedir. Özellikle, güneş enerjisinden elektrik üretimi sağlayan güneş pili sistemleri, geleceğin en yaygın enerji üretim sistemleri olmaya adaydırlar.

Güneş pili sistemleri 1970'lerin başından bu yana yapı kabuğuyla bütünleşik olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmanın amacı, güneş pili sistemlerini tanıtmak ve sistem bileşenlerinin yapı alt bileşenleriyle bütünleştirilme yöntemlerini inceleyerek uygulama önerileri sunmaktır.

İlk bölümde, konu ana hatlarıyla açıklanmakta, çalışmanın amaç ve kapsamı ortaya konmaktadır.

İkinci bölümde, güneş pillerinin gelişim süreci, tasarım ve çalışma prensipleri irdelenmektedir. Bu bağlamda Türkiye'nin iklimsel koşulları, bölgelere göre güneşlenme süreleri ele alınmaktadır.

Üçüncü bölümde, güneş pillerinin Dünya'nın çeşitli ülkelerinde, farklı yapı tipleri üzerinde ve yapı kabuğunun farklı bölümlerinde gerçekleştirilen uygulamalarından örnekler verilmektedir. Böylece, güneş pillerinin yapı kabuğu ile bütünleştirilmeleri konusuna somut bir giriş yapılması amaçlanmaktadır.

Dördüncü bölümde, yapı elemanları ve alt bileşenleri sınıflandırılmakta, bina kabuğu performans gereksinimleri ortaya konmaktadır. Amaç, güneş pili sistemlerinin yapı dış kabuk elemanları ile bütünleştirilme sorununa sistematik olarak yaklaşmak ve güneş pillerinin hangi sistem bileşeninde ne şekilde uygulanabileceğinin irdelenmesidir.

Beşinci bölümde, ikinci ve üçüncü bölümde verilen bilgiler ışığında mevcut ve yeni binalarda güneş pili sistemlerinin uygulama şekilleri tanıtılmakta, taşıyıcı sistem, malzeme ve detay bazında incelenmektedir.

Altıncı ve son bölüm ise yapılan çalışmanın sonuç bölümüdür. Önceki bölümlerde ele alınan konular yorumlanmakta, ülkemizin ekonomik ve kentsel koşullarında benzer uygulamaların yapılabilmesi için öneriler geliştirilmektedir. Türkiye dinamik bir inşaat piyasasına sahiptir ve yeni binalara yapılan yatırımlar kadar yenileme

alışmaları da oldukça fazladır. Güneş pili sistemlerinin bu dinamik piyasaya neden henüz giremediğı ve girebilmesi için nelerin yapılması gerektiğı irdelenmektedir.

A STUDY ABOUT THE INTEGRATION OF PHOTOVOLTAICS WITH BUILDING ENVELOPE SYSTEM ELEMENTS

SUMMARY

The world economy has a large scale dependence on fossil fuels, which have a leading role on environmental pollution and have limited reserves. It has become a vital issue for mankind to find clean and renewable energy resources. Sun, due to its infinite and clean energy, is an efficient alternative to fossil fuels. Photovoltaic systems, which convert solar energy into electricity, are one of the most important renewable energy resources for the future.

Photovoltaic systems and panels have been used with building envelope since 70's. Aim of this study is to introduce PV systems and to examine the methods of integrating them with the building envelope.

In Chapter 1, aim and scope of this study is explained.

In Chapter 2, development period, design and working principles of PV systems are examined. Also, climatic character and solar energy potential of regions of Turkey are introduced.

In Chapter 3, examples of building integrated photovoltaics from different parts of the world are given, in order to set up the basis for further chapters.

In Chapter 4, building envelope system elements are classified, performance requirements of building envelope system elements are listed in order to examine the methods of integration of PV systems with the building.

In Chapter 5, referring to the information in Chapter 2 and Chapter 3, integration methods of PV panels both with existing and new building envelope are examined by the means of building envelope system elements, material and details over detailed drawings.

Chapter 6, is the conclusion chapter in which suggestions are given for PV systems to be used in economical conditions and urban development of Turkey. Turkey has a dynamic construction market and retrofitting of buildings is as common as new constructions. It is questioned why PV systems are not yet a part of this dynamic market and what can be done to solve this issue.

1. GİRİŞ

Güneş, Dünya'nın başlangıcından itibaren tüm hayat formlarının temel ihtiyacı olmuş en büyük ve sonsuz enerji kaynağıdır. İnsanlığın fizyolojik ve psikolojik gelişiminde de yadsınamaz bir etkiye sahiptir. Bu büyük enerji kaynağından tarihin her döneminde bir şekilde yararlanılmaya çalışılmış, ancak bu çabalar pasif ısınmanın ötesine geçememiştir. Sanayi Devrimi ile başlayan sanayileşme ve makineleşme daha çok fosil yakıtlarına, özellikle de petrole dayalı bir teknolojiye bağlı kalmış, son 50 yıla kadar güneş enerjisi bu alanda etkin bir rol alamamıştır.

Dünya ekonomisinin can damarı haline gelen petrol ve petrol türevi enerji kaynaklarının elde edilmesi gittikçe güçleşmektedir. Rezervlerin sonsuz olmadığı da gözönüne alındığında, insanlığın yakın geleceğinde bu enerji kaynağından mahrum kalması olasılığı, sanayileşmiş ülkelerin ve Dünya çapında şirketlerin yakın dönem planlarına alternatif enerji kaynaklarının geliştirilmesi çalışmalarını da dahil etmesine neden olmuştur. Bio yakıtlar, hidrojen yakıtları gibi petrole alternatif akaryakıt türlerinin yanı sıra rüzgar, su ve özellikle güneşten elde edilebilir enerji, temiz ve yenilenebilir enerji üretimi adına çalışmaların yoğunlaştırıldığı alanlar olmuştur.

Güneş pilleri, bu anlamda en çok ümit vadeden enerji üretim sistemlerinden biridir ve son 30 yılda yapılan çalışmalar sayesinde büyük aşamalar kaydetmiştir. Güneş pilleri, üzerlerine düşen güneş ışınımını doğrudan elektrik enerjisine çevirme prensibine dayalı olarak çalışmaktadırlar. Binaların üzerinde ya da tekil konstrüksiyonlar halinde kurulan güneş pili sistemleri, istenen kapasite doğrultusunda tasarlanırlar. Binanın ihtiyacını tamamen karşılayabildikleri gibi, genel elektrik ağına bağlanarak üretilen ihtiyaç fazlasını elektrik ağına geri besleme olanağı da sağlarlar.

Güneş pilleri, başta ABD olmak üzere pekçok sanayileşmiş ülkede gün geçtikçe yaygınlaşmaktadır. Son yıllarda, oldukça kısıtlı güneşlenme dönemlerine sahip Kuzey Avrupa ülkelerinde bile, bu sisteme yönelik gözlenmektedir. Buna karşın

Ülkemizde güneş pili kullanımı bazı devlet, niversite ve bilim yapıları ile kırsal arazide yeralan baz istasyonu gibi şebeke ağından uzak tesislerle sınırlı kalmaktadır. Bunun başlıca sebepleri güneş pili sistemlerinin ülkemizde fazla tanınmayışı ve ilk yatırım maliyetlerinin oldukça yüksek olmasıdır.

Mevcut binaların yenilenmesi, yenilenebilir enerji teknolojilerinin ve enerji verimlilik ideallerinin kullanımı konusunda büyük potansiyele sahip bir sahadır [1]. Özellikle Avrupa lkelerinde yeni yapılaşmadan çok mevcut yapıların yenilenmesine yönelik çalışmaların ağırlıkta oluşu, güneş pili sistemlerinin mevcut yapı elemanlarının yerini alarak yapıyla bütünleşmesi gerekliliğini ortaya çıkarmıştır. Mimari tasarım aşamasından itibaren bu sistemin yapının bir parçası olarak öngörülmesi durumunda ise, yapı kabuğunun bir bölümünün güneş pili panellerine göre şekillenmesi ve detaylanması söz konusu olacak, paneller doğrudan kabuğu oluşturan yapı taşları olarak kabul edileceklerdir. Her iki durumda da tasarımcı aynı etken faktörlerden yola çıkarak hareket etmek durumundadır. Güneş pilinden maksimum faydanın sağlanması için yapıya ve fiziksel çevreye ait veriler doğru değerlendirilmeli, problemlili noktalara yönelik özel detay çözümlerine gidilmelidir. Böylece tasarım aşamasında güneş pili sistemine uygun konstrüktif öngörülerle, yerini aldıkları yapı alt bileşenlerinin tüm performans kriterlerini yerine getirebilen ve istenen verim oranlarına ulaşılabilen sistem kurulumlarının gerçekleştirilmesi mümkün olabilecektir.

Bu çalışmanın amacı, yapı elemanları ve alt bileşenleri ile güneş pili panel tiplerini incelemek, güneş pili panel tiplerinin yapı ile bütünleştirilme şekillerini ortaya koymak, diğer yandan da bu konuyla ilgili ülkemizdeki duruma da göz atarak güneş pilleri konusuna bir “Türkiye” penceresi açmaktır.

Konumu gözönüne alındığında, güneş pili sistemlerinin her geçen sene daha da yaygın şekilde kullanıldığı ülkelerin çoğundan daha uzun ve verimli güneşlenme dönemlerine sahip ülkemizde, güneş pili teknolojisinin yerleşmesi için neler yapılabileceğine değinmeden önce, güneş enerjisinden yararlanma oranının ne olduğuna ve bu konuda yürütülen çalışmalara değinmekte fayda vardır.

1.1. Türkiye’de Güneş Enerjisinin Değerlendirilmesine Yönelik Çalışmalar

Türkiye’de güneş enerjisi üzerine araştırmalar Elektrik İşleri Etüt İdaresi, TÜBİTAK ve ODTÜ başta olmak üzere Ege Üniversitesi, Pamukkale Üniversitesi gibi üniversitelerimiz bünyesinde yürütülmektedir .

Elektrik İşleri Etüt İdaresi, Devlet destekli bir kurum olması dolayısıyla bu konuda uygulamaya yönelik çalışmaların en fazla yapıldığı kurumdur. Türkiye’nin güneş enerjisi potansiyelinin belirlenmesi çalışmaları, güneş enerjisinin kullanımına yönelik AR-GE çalışmaları, bu konuda çalışan özel sektör üreticilerinin kontrolü ve eğitimi gibi alanlarda faaliyet göstermektedir [2]. Ancak yapılan çalışmalara bakıldığında, güneş enerjisinden yararlanmak adına güneş kollektörlerinden ve oldukça sınırlı sayıda küçük çaplı güneş pili uygulamalarından öteye gidilememiş olduğu görülmektedir [2].

Güneş pili sistemlerinin ithalini ve pazarlamasını gerçekleştiren bazı özel sektör kuruluşları vardır. Yapılan araştırmalarda bu kuruluşların güneş pili paneli satışlarının ve kurulumlarının sadece üniversitelerin bu konuyla ilgili araştırma projelerine yönelik olarak gerçekleştiği tespit edilmiştir [3, 4]. Şekil 1.1’de ithalatçı firmalardan birinin desteği ile İzmir’de gerçekleştirilen bir çalışma görülmektedir. Temiz enerji kullanımı ve özellikle güneş enerjisinden yararlanma konusunda bilinçlendirme ve bilgilendirme çalışmaları, bu konuda düzenlenen sempozyumlar, kurulan sivil toplum örgütleri ve vakıflar bulunmaktadır.



Şekil.1.1: Ege Üniversitesi tarafından gerçekleştirilen düz çatı üzerine güneş pili paneli uygulaması. [3]

1.2. Türkiye’de Güneş Pili Kullanımı

Ülkemizde güneş pili kullanımı oldukça sınırlı durumdadır [2];

- EİE tarafından kurulmuş 5 adet sokak aydınlatma birimi.(2 adet Ankara AOC önünde, 2 adet Didim’de, 1 adet de EİE Genel Müdürlüğü önünde)
- Didim’de 160 Wp gücünde çevre aydınlatma düzenlemesi
- 50 Wp gücünde 7 adet su pompaj birimi
- Deneme aşamasında trafik ikaz sistemleri
- Didim Yenilenebilir Enerji Araştırma Geliştirme Merkezi’nde 4,8 kWp gücünde şebeke bağlantılı güneş pili sistemi
- EİE Genel Müdürlüğü’nde demonstrasyon amaçlı 1,2 kWp gücünde şebeke bağlantılı güneş pili sistemi.
- Üniversiteler bünyesinde yürütülen araştırmalar [5].

Görüldüğü gibi güneş pili kullanımına yönelik çalışmalar hem oldukça kısıtlı kalmakta, hem de binalarla bütünleştirilen güneş pili sistemlerine gerektiği kadar eğilmemektedir. Türkiye ‘de güneş pillerinin kullanılmıyor oluşunu iki sebebe dayandırmak mümkündür:

1. Ülkemizin yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı konusunda yeterince bilinçlendirilmemiş olması, henüz büyük ölçüde fosil yakıtlarına bağımlı bir toplum olmamız.
2. Güneş pillerinin ilk yatırım maliyetlerinin yüksek olması, ki bu durum gelişmiş ülkelerde de bir problem oluşturmaktadır. Bu konuda teknoloji üretmeyen, teknoloji satın alan bir ülke olmamız durumunda güneş pillerinin ilk yatırım maliyetleri Türkiye koşullarında çok daha yüksek olacaktır.

Güncel maliyet 10 m² çokkristal silisyum panel yüzeyi için yaklaşık olarak 15.000 YTL'dir [4].

Ülkemiz, inşaat piyasasının oldukça canlı olduğu bir ülkedir. Pekçok yüksek teknoloji ürünü yapı malzemesi ve yapım sistemi yurtiçi ve yurtdışı projelerde Türk inşaat firmaları tarafından satın alınmakta ve uygulanmaktadır. Güneş pili panel tiplerinin pekçok çeşidiyle bina kabuğunun farklı bölümlerinde uygulanabildiği günümüzde, Türk inşaat piyasasındaki uygulamalarda bu yönde bir eğilim bulunmaması dikkate değer bir noktadır. Bu sebeple güneş pili teknolojilerinin kullanımlarının teşvik edilmesi (elektrik kullanım ücretlerinde indirim uygulanması, projelere devlet desteği sağlanması gibi uygulamalar Avrupa ve A.B.D.'de yapılmaktadır.), mimarların, yüklenicilerin, yatırımcıların ve halkın bu konuda bilinçlendirilmesi gerekmektedir.

2. GÜNEŞ PİLLERİNİN TANITILMASI

Temiz ve sürdürülebilir enerji kaynaklarından en önemlisi olmaya aday güneş pillerinin yapılar üzerindeki uygulama yöntemlerini incelemeden önce, ortaya çıkışları, gelişim süreçleri, çalışma prensipleri, verimli çalışabilmeleri için gerekli koşullar ve güneş pili enerji dönüşüm ve depolama sistemleri gözden geçirilmelidir.

2.1. Güneş Pillerinin Teknolojik Tanımı ve Tarihçesi

Güneş pilleri, bir diğer adıyla fotovoltaikler, güneş ışınımını doğrudan elektrik akımına çeviren yarı iletken devre elemanlarıdır. Fotovoltaik kavramı, ışık anlamına gelen “photo” ve voltaj anlamına gelen “voltaic” kelimelerinin birleşmesinden türetilmiştir. Bu çalışmada “güneş pili paneli” adıyla anılacaktır.

Fotovoltaik etki üzerine ilk araştırmalar Fransız fizikçi Alexandre Edmond Becquerel tarafından 19. yüzyılda yapılmıştır. Becquerel zayıf bir iletken solüsyon içindeki iki elektrottan birini aydınlatmanın, bir reaksiyon yaratarak voltaj açığa çıkmasına neden olduğunu keşfetmiştir. İlk güneş pili hücresi, %1-2 verim oranı ile 1880’li yıllarda geliştirilmiştir. Albert Einstein’ın 1904’te Kuantum Mekaniği üzerine yazdığı ve sonraki 30 yıl içinde çalışmalarını devam ettirdiği tez günümüzdeki fotovoltaik prensibin temelini oluşturmuştur [6].

Modern anlamda ilk güneş pili hücreleri, 1954 yılında uydu alıcılarına elektrik sağlayacak bir güç kaynağı olarak kullanılmaya başlanmıştır. Daha sonra teknolojiye gelişim, endüstrileşme ve artan taleplere bağlı olarak sokak lambaları, saatler, hesap makineleri ve 1970’lerin başından itibaren de bina yüzeylerinde kullanımları yaygınlaşmıştır.

Yapılar üzerindeki ilk kullanım yeri çatılar olmuştur. Bunun en önemli nedeni, çatıların yapı üzerinde en çok güneş gören ve montaj için en uygun yüzeyi sağlayan yer olmalarıdır. Önceleri mevcut çatılar üzerinde ek sistemler olarak ele alınırlarken,

daha sonraları doğrudan çatı kaplaması olarak kullanılabilen güneş pili panelleri üretilmiştir [7].

Sınırsız ve temiz enerji kaynağı güneş, hem tükenmekte olan, hem de açığa çıkarttıkları kirlilikle ekolojik sisteme zarar veren fosil yakıtlarına en güvenilir alternatiftir. Bu alternatif kaynağın sahip olduğu kullanım potansiyelinin açığa çıkmasıyla, güneş pili teknolojisini geliştirmek üzere çalışmalara hız verilmiştir. Güneş pili panelleri üzerinde yapılan çalışmalarla, güneş ışıyım değerlerinin ve gölgelenmenin panellere etkisi, ısı geçirgenlik değerleri ve sızdırmazlık konularında gelişme sağlanmış ve güneş pili panelleri yapı düşey kabuğunda da etkin olarak kullanılmaya başlanmıştır [6].

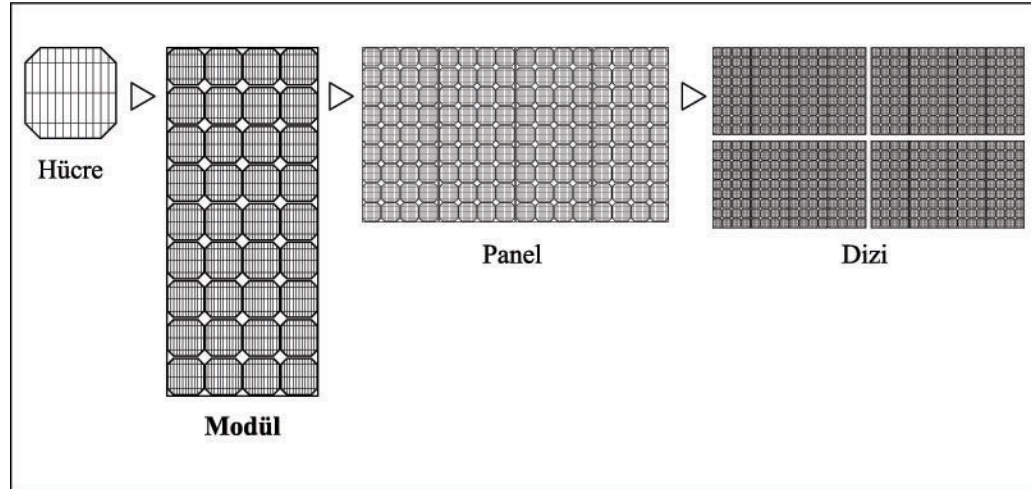
Güneş pilleri, üzerlerine düşen güneş ışıyımıyla yarı iletkenin katmanları arasında oluşan foton-elektron etkileşiminin tüm güneş pili hücrelerini birbirine bağlayan tel boyunca bir akım yaratması sonucu elektrik enerjisi üretirler. 1918 yılında geliştirilen Gochralski kristal büyüme metodu ile yüksek saflıkta kristal silisyum üretimi sağlanmıştır. Kristal siliyum, güneş pillerinin ana maddesini oluşturur ve saflık derecesinin artışı, pil veriminin artması anlamına gelir.

Deniz seviyesinde güneşli bir günde, güneş ışıyımının şiddeti 1000 W/m^2 civarındadır. Bölgeye bağlı olarak 1 m^2 ye düşen enerji miktarı yılda 800-2600 kWh arasındadır. Bu enerji güneş pili paneli yapısına bağlı olarak %5-%20 arasında bir verimle elektrik enerjisine dönüştürülebilir. Gelen ışığı 10-500 kat oranında yoğunlaştıran mercekli veya yansıtıcı optik yoğunlaştırıcı hücreler ile modül verimi %17'nin, pil verimi ise %30'un üzerine çıkabilmektedir. Yoğunlaştırıcılar basit ve ucuz plastik malzemeden yapılmaktadır.

Özel işlenmiş yarı iletken malzemeden oluşan güneş pili hücreleri, kare ya da dikdörtgen şeklindedir. Alanları genellikle 100 cm^2 civarında, kalınlıkları ise 0,2-0,4 mm arasındadır. Bir güneş pili hücresinin çıkış gücü, yaklaşık 0.5 voltur. Güç çıkışını artırmak amacıyla çok sayıda hücre birbirine paralel ya da seri bağlanarak bir yüzey üzerine monte edilir, bu yapıya modül adı verilir. Güç talebine bağlı olarak modüller birbirlerine seri ya da paralel bağlanarak bir kaç Watt'tan megaWatt'lara kadar sistem oluşturulur. Oluşturulan bu sisteme güneş pili paneli, panellerin bağlanmasıyla elde edilen yapıya da güneş pili dizisi adı verilir [8]. Şekil 2.1'de güneş pili hücresinden diziye kadar olan oluşum prensibi görülmektedir.

Güneş pili modüllerinin üretiminde kullanılan başlıca maddeler; kristal silisyum, galyum arsenit, amorf silisyum, kadmiyum tellürid ve bakır indiyum diseleniddir.

Kristal silisyum; iki farklı şekilde işlenerek tekkristal silisyum ya da çokkristal silisyum paneller haline getirilir. Tekkristal silisyum panellerden laboratuvar şartlarında %24, ticari modüllerden ise %15 'in üzerinde verim elde edilebilmektedir. Çokkristal silisyum paneller ise daha düşük maliyetle üretilmektedirler. Diğer yandan, verimleri tekkristal silisyuma oranla daha düşüktür. Çokkristal silisyum panellerden laboratuvar şartlarında %18, ticari modüllerde %14 verim elde edilmiştir. Daha önce de açıklandığı gibi, sözü edilen verim oranları panel üzerine düşen güneş enerjisinin elektrik enerjisine dönüştürülebilme oranlarıdır.



Şekil 2.1: Güneş pili modül oluşum prensibi

Tekkristal silisyum paneller renk bakımından siyah-koyu gri- mavi arasında bir yelpazeye sahiptir ve homojen yüzey yapısı gösterirler. Çokkristal silisyum paneller ise gri ile mavi arasında değişen düzensiz kristalize görünümlü yüzeye sahiptirler.

Amorf silisyum; kristal yapıda değildir. Yapılara entegre yarısaydam cam yüzeylerde, metal, plastik ya da seramik plakalar üzerinde ince film halinde, yapı dış koruyucusu ve enerji üretici olarak kullanılabilir. Laboratuvar koşullarında %10, ticari modüllerde %5-7 verim elde edilmektedir.

Amorf silisyum modüller genellikle koyu kırmızı-kahverengi renktedir. Yarı saydam amorf silisyum modüllerde hücreler spektrumun bir kısmını absorbe ederek geçen ışığın renginin değişmesine neden olurlar.

Kadmiyum Tellürid (CdTe); Çokkristal yapıda bir malzeme olan CdTe ile güneş pili maliyetinin çok aşağılara çekileceği tahmin edilmektedir. Laboratuvar tipi küçük hücrelerde %16, ticari tip modüllerde ise %7 civarında verim elde edilmektedir.

Bakır İndiyum Diselenid (CuInSe₂); Bu çokkristal pilde laboratuvar şartlarında %17,7 ve enerji üretimi amaçlı geliştirilmiş olan prototip bir modülde ise %10,2 verim elde edilmiştir.

2.2. Güneş Pili Panel Sisteminin Seçiminde ve Tasarımında Etken Faktörler

Doğru güneş pili sisteminin seçimi, yapının enerji verimliliğini doğrudan etkileyen bir konudur. Bu seçimi etkileyen belli başlı performans kriterleri vardır. Sistemin kurulacağı yerin çevresel faktörleri, yapının bulunduğu yapma çevreye ilişkin parametreler (çevre yapılar, ağaçlar v.b.), yapının fonksiyonu, mimari tasarımı ve yapının elektrik ihtiyacı bunların başlıcalarıdır.

Güneş pilleri farklı panel tiplerinden oluşabilmektedir ve farklı panel tiplerinin enerji üretim yüzdeleri de değişkenlik göstermektedir. Panel tiplerindeki farklılıklar, kullanım yüzeyinin ve büyüklüğünün tespitini, kurulacak strüktürel altyapıyı ve montaj gereklerini etkiler. Tüm bunlar maliyeti etkileyen faktörler olup, sürdürülebilirlik açısından karar vermede önemli rol oynamaktadırlar.

Bu kriterlerin herbiri sistem tasarımının en başından itibaren iyi analiz edilmeli, yapının enerji kullanım stratejisinin bir parçası olarak kabul edilmelidir.

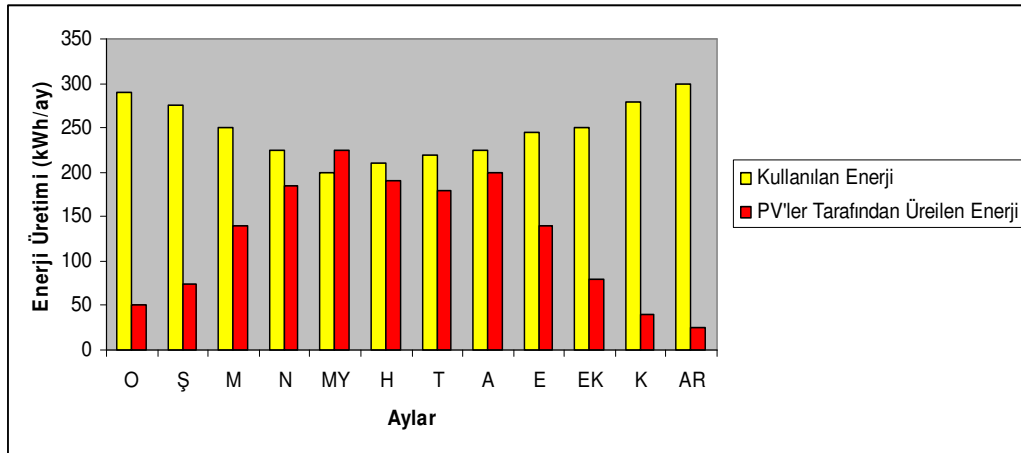
2.2.1. Yapı tipine bağlı olarak enerji kullanımının analiz edilmesi

Yapıların enerji gereksinimlerini barındırdıkları fonksiyon belirler. Fonksiyon, yapıyı ve kabuğu şekillendirdiği gibi yapının kullanım yoğunluğunda da belirleyicidir. Tüm yapı tipleri arasında en yüksek enerji tüketim oranı ofis yapılarına aittir (yıllık 100-1000 kWh/m²) [1]. Bulundukları çevrenin coğrafi özelliklerine, kullanılan ofis ekipmanlarına, kullanım programına, kabuk tipine, iklimlendirme sistemine ve aydınlatma şekline göre tüketim oranı değişkenlik gösterir. Ofis yapıları genel olarak 9.00-18.00 saatleri arasında kullanılırken, konutlarda hem gece hem de gündüz

tüketim söz konusudur. Dolayısıyla ofislerin kullanım saatleri yılın büyük bölümünde güneş ışınlarından faydalanılabilen saatlerdir. Bu durum kış aylarında biraz değişiklik gösterse de, ofis yapılarının elektrik enerjisi tüketimi yıl boyunca hemen hemen sabit orandadır.

Konut yapılarında enerji tüketimi, yılın farklı zamanlarında değişkenlik gösterir. Gece aydınlatma gereksiniminin doğması, elektrik enerjisi tüketiminin neredeyse 24 saate yayılı olması dolayısıyla, üretilen elektriğin depolanması konutlarda bir zorunluluk olarak karşımıza çıkar.

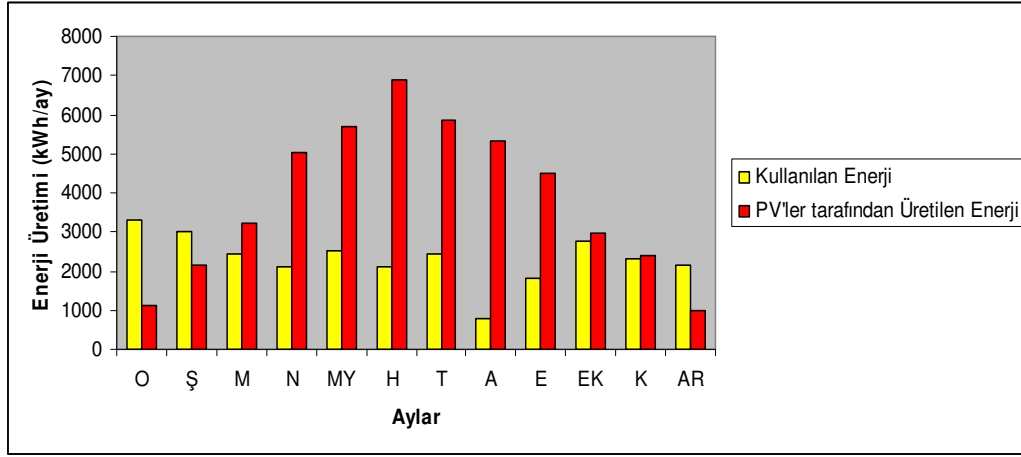
Şekil 2.2’de İngiltere’deki bir konutun yıllık elektrik enerji kullanımının aylara göre dağılımı verilmektedir. Tabloya bakıldığında yapının ağırlıklı enerji ihtiyacının kış aylarında ortaya çıktığı görülmektedir. Güneş pili sisteminin ağırlıklı enerji üretimini ise yaz aylarında gerçekleştirdiği gözönünde bulundurulduğunda, bir konut yapısına tekil sistem kurulumu yapılmasının ihtiyacı karşılamada yetersiz kalacağı sonucuna varılır. Üretilen elektriğin depolanması ve ek kaynak olarak da şebeke bağlantısının sağlanması ile güneş pillerinden maksimum düzeyde yararlanılabilir.



Şekil 2.2: Konut için yıllık enerji kullanım diyagramı.(İngiltere) Isınma dahil tüm ihtiyaçlar elektrik enerjisiyle karşılanmaktadır. [9]

Şekil 2.3’de İngiltere’deki bir okulun yıllık elektrik enerjisi kullanımının aylara göre dağılımı verilmektedir. Okul yapısının yıllık enerji tüketim şemasına bakıldığında tüketimin yılın büyük bölümüne eşit oranda dağıldığı görülür. Isınma ihtiyacının en fazla olduğu kış aylarında, tüketim ortalamanın biraz daha üzerine çıkarken, tatil aylarında oldukça düşüş gösterir. Bunun yanı sıra, kış ayları dışında güneş pili sistemi

enerji üretimi ihtiyacını karşılamakta, yaz aylarında ihtiyacın oldukça üzerinde seviyelere ulaşmaktadır. Bu durumda üretim fazlasının depolanması ve/veya şebekeye aktarılması sistem seçenekleri arasında bulundurulmalıdır.



Şekil 2.3: Okul için yıllık enerji kullanım diyagramı (İngiltere). Isınma dahil tüm ihtiyaçlar elektrik enerjisiyle karşılanmaktadır. [9]

Yapının fonksiyonuna bağlı olarak ihtiyaç belirlemesi yapıldıktan sonra sistemin tasarım aşamasına geçmek için izlenmesi gereken üç aşama vardır;

- Yapının ihtiyacı uyarınca güneş pili sisteminin fizibilitesi irdelenmelidir. Yapının yer aldığı çevre ve güneş ışınımı yönünden uygunluğu sorgulanmalıdır [6]. Ayrıca yapının fonksiyonundan kaynaklanan enerji ihtiyacı ve bu ihtiyacın yapının sunduğu koşullarda ne oranda karşılanabileceği analiz edilmelidir. Özellikle konutlarda hangi ihtiyaçların elektrik tüketimine bağlandığı önemli bir noktadır.(ısınma, klmatizasyon, genel aydınlatma, vb.) Yapılacak önyatırım harcamasının kullanıcıyı büyük oranda enerji tüketim maliyetlerinden kurtarması, sistemin geri ödeme süresinin kısılması açısından önemlidir.
- Güneş pili sistemi uygun bulunursa yük analizi yapılmalıdır. Yapının enerji tüketim kapasitesinin hesaplanması gereklidir [6]. Yanlış yük analizinden ya da güvenli tarafta kalma endişesinden kaynaklanan gereğinden büyük boyutlandırılmış sistemler maliyeti yukarılara çeker. Bu da özellikle güneş

pili sistemi kurulumu gibi optimum fayda-maliyet dengesinin kurulması amaçlanan durumlar için dezavantaj yaratır.

Yük analizi doğrultusunda ele alınabilecek bir diğer konu da, kullanıcının konfor koşullarından ödün vermesine gerek kalmadan elektrik kullanım yükünün aşağı çekilmesine çalışmaktır. Gözden kaçan küçük yükler (küçük elektrikli ev aletlerinin stand-by modunda bırakılmaları gibi durumlar) toplamda büyük farklar yaratmaktadırlar. Bu tip enerji kullanımı kullanıcıların bilinçlendirilmesi yoluyla daha aza indirgenebilir. Örnek olarak 10W gücünde 1 adet tasarruflu lambanın 10 saat ve 50W gücünde 1 televizyonun günde 5 saat çalıştığı düşünülürse;

$$10 \times 10 = 100 \text{Wh}$$

$$50 \times 5 = 250 \text{Wh}$$

Toplam= 350Wh günlük enerji ihtiyacıdır [4].

- Yük hesabına ve kullanılabilir yüzey metrajına göre panel sistemi seçimi ve boyutlandırması yapılmalıdır. Sistem son şeklini, elektrik ve mekanik sistem tasarımcısının alt bileşenleri inceleyip yeniden boyutlandırmasıyla alır. Genellikle güneş pili sisteminin yapı ihtiyacının tamamını ya da bir kısmını karşılaması üzerine senaryolar kurgulanarak boyutlandırma hesapları yapılır. Hem tekil hem de hibrid sistemlerde, akü ya da jeneratörlerle uzun süren bulutlu dönemlerde oluşabilecek verim düşüşleri için önlem alınmalıdır. Şebeke bağlantılı sistemlerde ise şebeke oldukça güvenilir bir yedek olduğu için hiçbir depolama aracına ihtiyaç duyulmaz [6].

Boyutlandırma işlemi konusunda yukarıda verilen örnekten devam ederek basit bir hesaplama, bu gereksinimin Ankara bölgesinde bir konuta ait olduğunu ve bu konutun Nisan ayında kullanılmaya başlandığını varsayarak;

Ankara bölgesi Nisan ayı için ortalama günlük global ışıınım değeri :

$$3904 \text{ kcal/m}^2\text{-gün} = 4530 \text{ Wh./m}^2\text{-gün}$$

$$A = \text{Sistemde gerekli panel alanı (m}^2\text{)}$$

$$B = \text{Enerji ihtiyacı (Wh)}$$

$$C = \text{Yörenin ışıınım değeri (Wh/m}^2\text{-gün)}$$

D= Kullanılacak panelin verimi (0,14 alınabilir)

E= Sistem verimliliği (önerilen 0,76 invertör varsa ; 0,84 invertör yoksa)

$$A= B/C*D*E$$

$$A= 350/(4530*0,14*0,76)=0,73m^2 \text{ lik panel gereklidir [4].}$$

Bu üç aşama dışında, sistem tasarımı sırasında gözönünde bulundurulması gereken, güneş pili sistemini etkileyebilecek başka yan faktörler de vardır. Yerel elektrik sistemiyle uygun arayüz oluşturulması ve bağlantıların sağlanabilmesi sorunu, arazi kullanımı ve yapı şartnameleri, güvenlik, finansman, güvenilirlik ve sigorta konuları diğer tüm teknik konularla beraber güneş pili sistemi tasarımında çözülmesi gereken noktalardır.

Günümüzde tasarım aşamasına yardımcı olmak üzere geliştirilmiş, yurtdışındaki projelerde çoklukla kullanılan birtakım hesap föyleri ve pekçok simulasyon programı mevcuttur.

Hesap föyleri, çevresel ve iklimsel faktörlerin tanımlanmasından, periyodik sayaç değerlerinin tespitine kadar, yapıyla ilgili pekçok bilginin biraraya toplanmasını sağlar. Toplanan bilgilerin çoğu, sistemin boyutlandırılması sırasında hesaplamaları doğrudan etkileyecek niteliktedir.

Simulasyon programları da, hesap föyleri gibi çevresel koşullara ait istatistiksel bilgileri kullanarak, optimum sistem bileşen boyutlarını tespit etmek prensibi üzerine kuruludur. Çoğu program aynı zamanda girişi yapılan her alt bileşenin detaylı bilgisini de sağlayabilir. Simulasyon programları genellikle belli bir sistemin farklı koşullardaki performanslarının gözlemlenebilmesi için kullanılır. Veri girdileriyle oynanarak sistemin ideal performansı için gereken koşullar belirlenebilir.

Simulasyon programlarının farklı uzmanlık dereceleri için varyasyonları mevcuttur. Tasarımın ilk aşamalarında öngörülerini netleştirebilmek açısından daha basite indirgenmiş programlar kullanılırken , araştırma-geliştirme çalışmaları için de daha sofistike programlara başvurmak gerekir. Toplanan verilerin değerlendirilmesi görevi, bu konuda uzmanlaşan kişiler tarafından yapılabilir.

Güneş pili sistemleri için geliştirilmiş olan simulasyon programlarından bir tanesi de EnergyPlus programıdır. EnergyPlus, kullanıcıya farklı hesap modeli seçenekleriyle bir güneş pili sisteminin elektrik enerjisi üretimini hesaplama olanağı tanır. Yapının detaylı bir modelinin, etken çevresel faktörlerle beraber program bünyesinde simüle edilmesiyle, güneş pili modüllerinin ideal yönelişleri, güneşe maruz kalan yüzey alanları, yapının diğer yüzeylerinden kaynaklanan gölgelenme ve yansımalar gibi pekçok sonuç elde edilebilmektedir. Güneş pilleri ile ilgili çok çeşitli hesaplama sonuçları elde etmek mümkün olmaktadır. Bunlardan bazıları, yüzey güneşlenme toplam alanı, güneşlenen alanın toplam yüzeye oranı, yüzeyin güneş ışıını değeri, gökyüzünün yayılı güneş ışıını değeri, yeryüzünün yayılı güneş ışıını değeri ve engel yaratan unsurlar varsa onlarla olan etkileşimlere ait değeri.

Bu programla elde edilen ideal güneş pili modülü yüzey büyüklüklerinin, sözkonusu yapı yüzey büyüklükleriyle örtüşmemesi gibi durumlar ortaya çıkabilmektedir. Bu nedenle, yapı yüzeyine tarif edilen koşullarda kaç tane modülün oturtulacağı, tasarımcının sorumluluğuna bırakılmaktadır.

Diğer taraftan EnergyPlus, aküler, invertörler, şarj regülatörleri, güç çıkışı izleyicileri gibi güneş pili yan gereçlerine ait modeller içermez. Elde edilen enerjinin ideal bir şebeke bağlantılı sistem prensibiyle kullanıma sunulacağını ve enerji çıkışının sürekli olarak maksimum düzeyde gerçekleşeceğini öngörür. Pekçok çevresel faktör üretimde dalgalanmalara yol açacağı için, gerçek bir sistem kurulumunda bu, olasılık dışı bir durumdur. Bu nedenle EnergyPlus simulasyon programının, kurgulanan sistemin reel üretim düzeylerinin değil, en yüksek verim noktasının hesaplanacağı bir program olarak kabul edilmesinde fayda vardır [10].

2.2.2. Sistemin içinde yeracağı çevre koşulları

Güneş pili sisteminin seçiminde ve tasarımında etkili rol oynayan bir diğer öge de güneş pili sisteminin kurulacağı ortama etki eden çevresel koşullardır. Yapının yer aldığı coğrafyaya ait iklimsel koşullar, çevrenin topografik yapısı, iklimsel ve topografik koşullarla şekillenen rüzgar rejimleri, çevrede yer alan yapılar, hatta sistemin kurulacağı yapının formu dolayısıyla güneş pili performansı üzerinde yaratacağı etkiler, tasarımın beklenen faydayı sağlayabilmesi için mutlaka gözönünde bulundurulması gereken konulardır.

2.2.2.1. Fiziksel çevresel faktörler

Yapının dış çevresine ait iklim elemanları, iklimsel konforu etkileyen ve enerji korunumu sürecinde etkili olan fiziksel çevresel etkenlere fiziksel çevresel faktörler denir [11]. Güneş ışıınımı, dış hava sıcaklığı, dış hava nemliliği ve rüzgar başlıca fiziksel çevresel faktörlerdir.

Güneş pillerinin verim oranları, çalışma prensipleri bakımından maruz kaldıkları güneş ışıınım değerlerinden ve güneş ışıınlarının geliş açısından doğrudan etkilenirler. Sistemin kurulacağı bölge için yılın farklı aylarına ait güneş profil açıları belirlenmelidir. Profil açıları yönlenişe, yapının bulunduğu yöreye ve yılın farklı zamanlarına göre değişkenlik göstermektedir. Örneğin 21 Ocak günü 36° N enleminde saat 11.00 için güneş profil açısı 33° iken, 38° N enleminde 31°, 40° N enleminde ise 29° dir. Güneş ışıınım değerleri için de aynı durum geçerlidir. Ülkemizin sıcak bölgelerinde yeralan iki şehirden Antalya'nın ve Diyarbakır'ın yatay düzleme gelen aylık ortalama günlük global güneş ışıınımı değerleri arasında bile farklılıklar vardır [12]. Tablo 2.1.'de Ankara, Antalya, Diyarbakır, Erzurum ve İstanbul'un 21 Ocak, Antalya ve Diyarbakır'ın 21 Temmuz daki yatay düzleme gelen aylık ortalama günlük global güneş ışıınımı değerleri yer almaktadır [12].

Tablo 2.1: Yatay Düzleme Gelen Aylık Ortalama Günlük Global Güneş Işıınımı(MJ/m²gün) [13]

	Ankara	Antalya	Diyarbakır	Erzurum	İstanbul
21 Ocak	5.30	7.60	6.50	6.10	4.60
21 Temmuz	—	24.80	26.70	—	—

Yatay düzleme düşen güneş ışıınımı değerleri üzerinden, gerçek atmosfer koşullarında düşey düzleme düşen aylık ortalama saatlik direkt güneş ışıınımı değerleri de hesaplanmaktadır. Düşey düzleme düşen direkt güneş ışıınımı, güneşin yatıklık oranıyla doğru orantılı olduğu için 21 Ocak'ta Antalya'da saat 12.00'de 230 kcal/m²h°C ışıınım değerine sahip güney cephesinin, 21 Temmuz günü ancak 110 kcal/m²h°C kadar ışıınıma maruz kaldığı hesaplanmıştır. Kuzeydoğuya bakan cephe 21 Ocak'ta saat 9.00'dan itibaren hiç ışıınım alamazken, 21 Temmuz'da sabah 4.30'dan 11.30'a kadar direkt güneş ışıınımına maruz kaldığı görülmektedir. Benzeri durum da öğleden sonra saatleri için kuzeybatı cephesinde söz konusu olmaktadır.

Diğer taraftan, 21 Ocak günü güneşin güneydoğu ile güneybatı yelpazesine bakan cephelerden geçişi saat 9.00 ile 15.00 arasında hemen hemen eşit yatay açıda gerçekleşirken (herbir cephenin tepe değerleri 230-245 kcal/m²h°C arasında değişmektedir) , 21 Temmuz günü cephelerin daha çok sabah ve akşamüstü saatlerinde ve çok daha büyük değer farkları yaratacak şekilde güneş ışınlamına maruz kaldığı görülmektedir [12].

Güneş enerjisi, güneş çekirdeğinde oluşan füzyon süreci sonucu açığa çıkar ve 150 milyon km mesafe katederek Dünya yüzeyine ulaşır. Yeryüzüne ulaşan bu enerjinin küçük bir bölümü bile insanlığın mevcut enerji tüketiminden kat kat fazladır [13]. Türkiye güneş ışınlam değerleri yönünden, yerküre üzerinde güneş pili teknolojisini geliştirmeyi ve yaygınlaştırmayı hedefleyen pekçok ülkeye göre oldukça şanslı durumdadır.

Tablo 2.2’de Türkiye’nin aylık ortalama güneş enerjisi potansiyeli görülmektedir. Tabloda yeralan değerler, 1966-1982 yılları arasında Devlet Meteoroloji Genel Müdürlüğü tarafından yapılan ölçümler sonucunda ortaya çıkarılmıştır (2640 saat, yani günlük ortalama 7,2 saat, ortalama toplam ışınlam şiddeti 1311 kWh/m²-yıl yani günlük ortalama 3,6 kWh/m²). Son yıllarda bu potansiyelin ölçüm sonuçlarının da çok daha üzerinde olduğu anlaşılmıştır. 1992 yılından itibaren ölçüm çalışmaları tekrar başlatılmıştır ve bu çalışmalar sonucunda eski değerlerin %20-25 üzerinde değerlere ulaşılması beklenmektedir [13].

Türkiye genelinde de bölgeler arası güneş ışınlam değerleri farklılık göstermektedir. En yüksek güneş enerjisi potansiyeli Güneydoğu Anadolu Bölgesi’nde bulunmaktadır.

Tablo 2.3’de Türkiye’nin yıllık toplam güneş enerjisi potansiyelinin bölgelere göre dağılımı görülmektedir.

Dış hava sıcaklığı ve nem oranı güneş ışınlamının etkisini arttırıcı rol oynar. Güneş pili panellerinin klimatize edilmesinde yıllık genel sıcaklık ve nem analizlerinin de göz önünde bulundurulması gereklidir.

Tablo 2.2: Türkiye'nin Aylık Ortalama Güneş Enerjisi Potansiyeli [13]

AYLAR	AYLIK TOPLAM GÜNEŞ ENERJİSİ		GÜNEŞLENME SÜRESİ
	(Kcal/cm ² -ay)	(kWh/m ² -ay)	(Saat/ay)
OCAK	4,45	51,75	103
ŞUBAT	5,44	63,27	115
MART	8,31	96,65	165
NİSAN	10,51	122,23	197
MAYIS	13,23	153,86	273
HAZİRAN	14,51	168,75	325
TEMMUZ	15,08	175,38	365
AĞUSTOS	13,62	158,4	343
EYLÜL	10,6	123,28	280
EKİM	7,73	89,9	214
KASIM	5,23	60,82	157
ARALIK	4,03	46,87	103
TOPLAM	112,74	1311	2640
ORTALAMA	308,0 cal/cm ² -gün	3,6 kWh/m ² -gün	7,2 saat/gün

Tablo 2.3: Türkiye'nin Yıllık Toplam Güneş Enerjisi Potansiyelinin Bölgelere Göre Dağılımı [13]

BÖLGE	TOPLAM GÜNEŞ ENERJİSİ (kWh/m ² -yıl)	GÜNEŞLENME SÜRESİ (Saat/yıl)
G.DOĞU ANADOLU	1460	2993
AKDENİZ	1390	2956
DOĞU ANADOLU	1365	2664
İÇ ANADOLU	1314	2628
EGE	1304	2738
MARMARA	1168	2409
KARADENİZ	1120	1971

2.2.2.2. Sistemin yapıdaki yeri

Güneş pili sistemi tasarımında gözönünde bulundurulması gereken bir diğer konu da sistemin kurulacağı yapma çevreye ilişkin tasarım parametreleridir. Yapının güneş ışınlarına ve hakim rüzgarlara göre yönelişi, formu, çevre yapılarla olan ilişkisi (yükseklik, yapı aralıkları,vb.) panellerin yapı üzerinde konumlandırılacağı yerin seçiminde etkilidir.

Paneller üzerine noktasal olarak düşecek gölgenin dahi sistem veriminde düşüşe neden olacağı düşünülerek, güneş pillerinin kurulacağı yerin seçiminde çevredeki yüzey şekillerinden, ağaçlardan, yapılardan ve yapı üzerindeki unsurlardan gölgelenmemesine dikkat edilmelidir. Özellikle şehirlerde, çevre yapılardan gölgelenme oldukça yaygın bir sorundur.

Gölgelenme sorunu kadar önemli olan bir diğer nokta da panellerin yazın yeterince havalandırma ve soğutmasının yapılması, kışın da sert rüzgarlardan korunması gerekliliğidir. Yerel rüzgar rejimleri doğru iklimlendirme-havalandırma stratejisini oluşturmada önemli rol oynar. Panellerin kışın sert rüzgarlardan korunması, yazın ise aşırı ısınmaları nedeniyle karşı karşıya kalacakları verim düşüşünü engelleyecek, gece soğumalarına yardımcı olacak şekilde rüzgarı alabilmeleri hedeflenmelidir.

Sistemin kurulacağı bölgenin rüzgar rejimi iyi araştırılmalıdır. Örneğin Ankara’da, yer düzleminden 10 m yükseklik için Temmuz ve Ağustos aylarında yapılan ölçümler sonucunda, N-NE-E-SE yönlerinde rüzgar hızında değişiklik gözlenmezken, S-SE, N-NW yönlerinde Ağustos ayı rüzgar hızlarında 0.25-0.30m/sn oranında düşüşler saptanmıştır. NE en sert rüzgar (2.30 m/sn), S-SE en hafif (1.25 m/sn) rüzgar alan yönlerdir. Aynı aylar içinde İstanbul’da yapılan ölçümler de göstermiştir ki N-E-S yelpazesinde rüzgar hızlarında değişkenlik görülmezken S-SW-W-NW yönlerinde Temmuz ayı rüzgar hızları daha yüksek değerlere (fark 0.3 m/sn) ulaşmaktadır. Bu aylarda İstanbul’da kaydedilen en yüksek rüzgar hızı N-NE yönlerinde 2.75 m/sn, en düşük rüzgar hızı ise S-SE yönlerinde 1.20 m/sn olmuştur. Her iki şehrin Temmuz ve Ağustos aylarındaki rüzgar hızlarına bakıldığında, minimum değerlerin ve yönlerinin değişmediği, maksimum değerlerde ise yönler aynı olmak üzere İstanbul’daki değerlerin daha yüksek olduğu görülmektedir [12].

Aşırı ısınma panellerin performansının düşmesine sebep olmaktadır. Öte yandan kurulan sistemin yazın aşırı ısınma sebebiyle yapıya ekstra soğutma havalandırma yükü bindirmemesi, yapının konfor koşullarını olumsuz etkilememesi gerekir. Çatıya kurulan amorf silikon güneş pili panellerinin arka yüzlerinde oluşan ısınmanın 80 C° seviyesine ulaştığı [14], cephede kullanılan tek kristal silisyum panellerin de normal cephe panellerine göre 10-12 C° daha fazla ısındığı tespit edilmiştir. Yerel rüzgar rejiminden doğru faydalanılması durumunda panellerdeki aşırı ısınmadan kaynaklanan problemlerin çözülmesi mümkündür.

Yapı üzerinde gerekli güneşlenmenin sağlanması için en uygun yerler çatılar ve teraslardır. Çatı ve teraslar yazın aşırı ısınmaya karşı havalandırmanın da kolayca çözümlenebileceği yerlerdir. Ayrıca panellerin kurulmasına uygun geniş yüzeyler sağlarlar.

Çatı ve teraslardan sonra güneş pili panellerinin kullanılabileceği ikinci seçenek ise yapıların cepheleridir. Güneş ışınlarının geliş açısı ve gölgelenme konusunda çatı ve teraslara göre dezavantajlara sahip olsalar da, mimari tasarımın doğru öngörülerıyla paneller için uygun yüzeyler sağlayabilirler.

Ayrıca güneş kırıcılar, yağmur perdeleri ve pergolalar da yapı üzerinde güneş pili panellerinin kurulmasına uygun bölgelerdir. Özellikle güneş kırıcılar, açısı ayarlanabilir yüzeyler olmaları nedeniyle daha uzun süre uygun açıda güneş ışığı alma olanağına sahiptirler [15].

Çatı, teras ve cephelerde panel yerleşimi tasarlanırken, mimari tasarımdan kaynaklanan kendi kendini gölgeleme sorununa da dikkat edilmelidir. Bu durumdan kaçınmak için, çatı üzerindeki klima santrali, asansör makine dairesi ya da baca gibi güneşi engelleyici olabilecek unsurlar yapıların kuzey ucunda kurgulanmalıdır [9].

2.2.2.3. Yapının bulunduğu coğrafi ve topografik koşullar

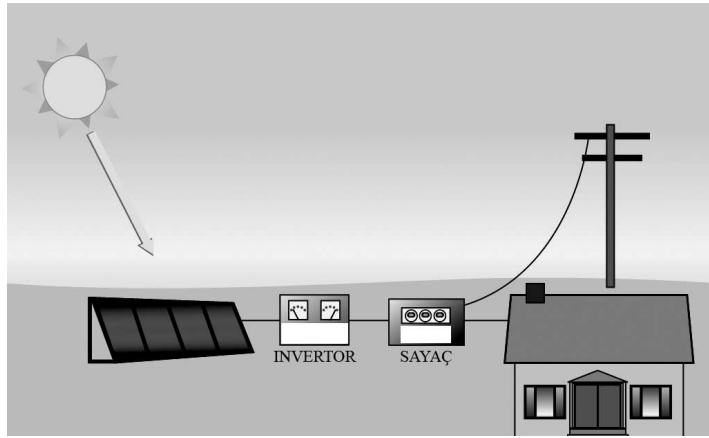
Fiziksel çevresel faktörler kadar önemli olan bir diğer etken de sistemin kurulacağı sahanın topografik özelliklerinin iyi analiz edilmesidir. Güneş pili panelleri bir yapı üzerinde kurulacaksa yapının, bağımsız bir strüktür olarak tasarlanıyorsa arazi üzerinde seçilecek noktanın güneşlenme eksenine göre yönelişi, arazinin topografik özellikleri gereği çevresine göre çukurda ya da yüksekte oluşu, bulunduğu bölgenin iklimsel özellikleri (arazinin karakteristiği rüzgar rejiminin, hava sıcaklığının yöresel değişiklikler göstermesine sebep olabilir) göz önünde bulundurulmalıdır.

2.2.3. Yapının bulunduğu çevrenin gerektirdiği enerji dönüşüm ve depolama şekli

Yapıların herhangi bir şebekeye olan mesafeleri ya da üretilen ile gereksinim duyulan enerji miktarı arasındaki farklılıklar, güneş pili sistemlerinin enerji dönüşüm ve depolama şeklini belirler.

2.1.1.1. Şebeke bağlantılı sistemler

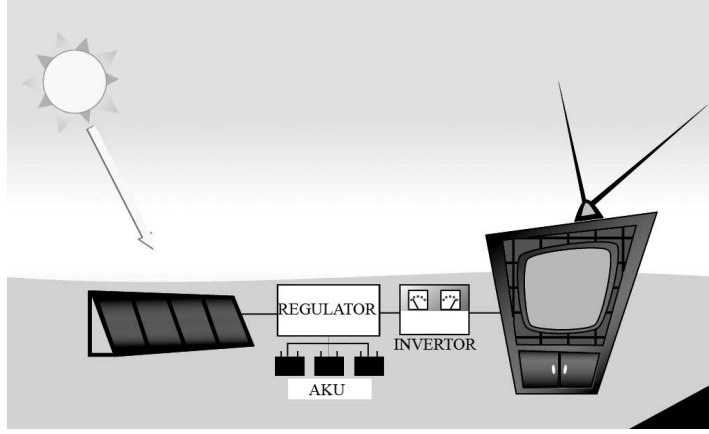
Şehir şebekesinin de mevcut olduğu durumlarda, güneş pili sistemi şebekeden beslenmeye destek olarak çalışır. Amaç, şebeke kaynaklı elektrik tüketiminin azaltılması, sistemin elektrik üretiminin düştüğü durumlarda da şebekeden destek sağlanmasıdır. Herhangi bir depolama aracı kullanılmaz. Güneş pili sistemi enerji üretiminin ihtiyacın üzerine çıkması durumunda, şebekeye geri besleme yapılması mümkündür. Bugün A.B.D. başta olmak üzere pekçok ülkede şebekeye geri kazandırılan enerjinin, sayaçtan geçirilerek kullanım bedelinden düşürülmesi sağlanmakta ve halkın güneş pili sistemlerine yönelmesi teşvik edilmektedir [16]. (Şekil 2.4)



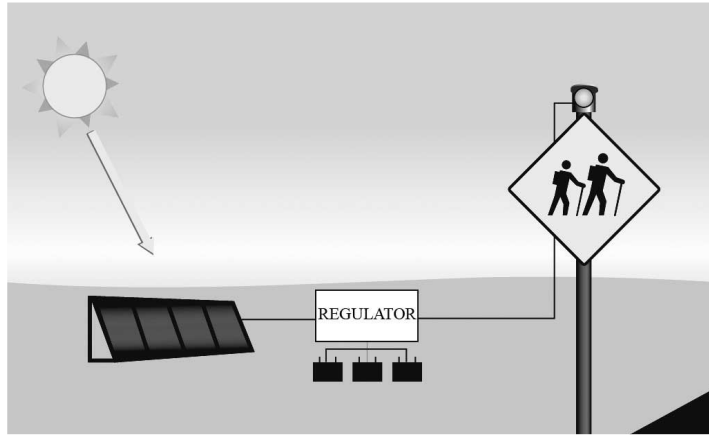
Şekil 2.4: Şebeke bağlantılı güneş pili sistem şeması

2.1.1.2. Tekil sistemler

Tekil güneş pili sistemleri iki tiptir; birincisi, panelden çıkan enerjinin doğru akım/alternatif akım (DC/AC) invertörü ve akü bağlantılı bir sistemle kullanıldığı (Şekil 2.5), ikincisi ise panelden doğru akım (DC) şeklinde sadece bir regülatör (ve tercihen akü ile) vasıtasıyla enerji kullanılan (Şekil 2.6) tekil sistemlerdir. Şebeke bağlantısı yoktur. Kendi kendine yeten bir sistem söz konusudur.



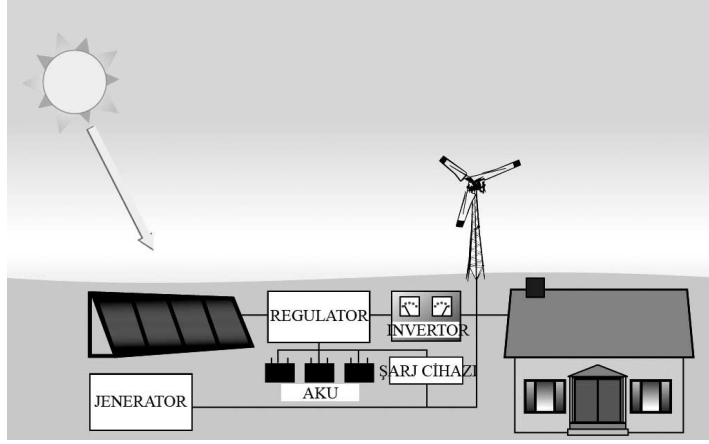
Şekil 2.5: Doğru akım kullanımlı tekil güneş pili sistemi şeması



Şekil 2.6: Alternatif akım kullanımlı tekil güneş pili sistemi şeması

2.1.1.3. Hibrid sistemler

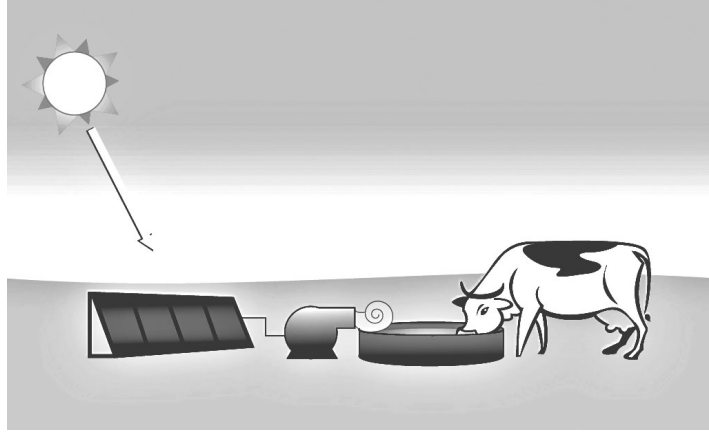
Hibrid sistemler, güneş pili sistemlerinin diğer enerji kaynaklarıyla birlikte kullanıldıkları birleşik sistemlerdir. Yerleşimin toplam enerji ihtiyacı, farklı birkaç enerji üreticine pay edilmiş durumdadır. Bu, güneş pili sisteminin tek başına yetersiz kaldığı durumlarda ya da performans dalgalanmasından doğacak risklerin minimize edilmek istenebileceği durumlarda başvurulabilecek bir sistem çözümüdür (Şekil 2.7).



Şekil 2.7: Hibrid sistem şeması

2.1.1.4. Doğrudan kullanımlı sistemler

Doğrudan kullanımın söz konusu olduğu sistem kurgusunda, herhangi bir doğru akım/alternatif akım (DC/AC) invertörü, regülatör ya da akü yer almaz. Panelden direkt kullanım sağlanır. Özellikle kırsal ya da ormanlık bölgelerde, herhangi bir şebeke ağından uzakta olan yerlerde, gündüz saatlerindeki zirai tesisler, su pompaları gibi küçük kapasiteli kullanımlar için idealdir . Doğrudan kullanımlı sistemler, güneş pilinin en basit şekliyle kullanımıdır (Şekil 2.8).



Şekil 2.8: Doğrudan kullanımlı güneş pili sistemi şeması

2.1.2. Güneş pili sisteminde enerji depolama ve dönüştürme

Güneş pili sisteminin enerji çıkışında günlük ve mevsimlik dalgalanmalar yaşanır. Enerji çıkışındaki dalgalanma, çoğu zaman üretim ve tüketim oranları arasında

uyumsuzluk yaratır. Bu uyumsuzluk sadece enerji depolanarak dengelenebilir. Şebeke bağlantılı sistemlerde depolama aracı, yerel şebekedir. Bunun dışında bir depolama aracına gereksinim duyulmaz. Şebeke bağlantısından yoksun sistemlerde ise aküler kullanılarak depolama yapılır [6].

Enerji depolama sistemlerinin seçiminde rol oynayan bazı kriterler vardır. Bunlar, seçilen akünün dönüşüm ömrü, bulunabilirliği, çalıştırma ve sürdürülebilirlik kolaylığıdır. Mevcut depolama araçlarından yalnızca birkaçı yapılarda gerçekleştirilen uygulamalarda kullanılmaya uygundur. Depolama araçlarını, kullanılan hammaddeleri, önyatırım maliyetleri ve diğer nitelikleri açısından kısa, orta ve uzun vadeli seçenekler olarak sınıflandırmak mümkündür.

Kısa vadeli seçenekler; Kurşunasit ve nikelkadmiyum akülerdir. Kurşunasit aküler, güneş pili uygulamalarında en sık kullanılan akü tipidir. Nikelkadmiyum aküler ise uygulamaların %1 i gibi küçük bir kullanım yüzdesine sahiptirler. Bunun en önemli nedeni yüksek maliyetli olmalarıdır. Her iki tip akü de piyasada yaygın olan ürünlerdir. Diğer yandan enerji yoğunluğu, dönüşüm ömrü, çalışma sıcaklığı ve zehirlilik (hem kurşun hem de kadmiyum zehirli maddelerdir) yönünden her iki sistem üzerinde de bazı sınırlandırmalar vardır.

Orta vadeli seçenekler; Henüz tam olarak piyasaya sürülmemiş, geliştirme çalışmaları devam etmekte olan akü tipleridir. Sodyumsülfür (Na-S) ve çinkobrom (Zn-Br₂) aküler yürütülen çalışmalar içinde piyasaya sürülmeleri en yakın olanlarıdır. Sodyumsülfür aküler, oldukça yüksek enerji yoğunluğuna sahiptirler. Ancak çalışma sıcaklıkları yapılarda gerçekleştirilen güneş pili uygulamaları için oldukça yüksektir [6]. Çinkobrom aküler de oldukça iyi düzeyde enerji yoğunluğuna sahiptirler ve normal sıcaklıklarda çalışırlar. Her iki akü tipinin de önyatırım maliyetleri kurşunasit ve nikelkadmiyum akülere göre daha düşüktür ve tüm diğer orta vadeli seçenekler içinde ticari sunuma en çok uygunluk gösteren akü tipleridir.

Uzun vadeli seçenekler; daha da ileri dönemde kullanılmak üzere çalışmaları devam eden akü tipleri demirkrom redoks akım aküleri ve şarj edilebilir çinkomanganez dioksit akülerdir.

Enerji depolama sistemi olarak geliştirilmeye çalışılan, bir elektrolizörü, gaz deposu ve bir yakıt hücresinden oluşan başka bir sistem daha mevcuttur. Elektrolizör sudan

hidrojen ve oksijen üretir, hidrojen gazı depolanır ve gece ya da kış mevsiminde, güneş pilinin enerji çıkışı düştüğü zaman oksijen ve hidrojen yakıt hücresine basılır, gazdan suya geçiş evresinde de elektrik enerjisi açığa çıkar. Bu tip hidrojen teknolojisiyle çalışan enerji depolama sistemlerinin 21. yüzyılın ilk çeyreği içinde piyasaya sürülmesi planlanmaktadır.

3. BİNALARDA GERÇEKLEŞTİRİLMİŞ GÜNEŞ PİLİ UYGULAMALARI- DÜNYADAN ÖRNEKLER

Güneş pillerinin yapı alt sistemleriyle bütünleştirilme yöntemlerinin örneklerle somutlaştırılabilmesi amacıyla, farklı ülkelerden değişik özellikte uygulamalar bir örnekleme çalışması olarak sunulmaktadır.

3.1. Örnekleme Çalışmasının Amacı ve Kapsamı

Güneş pillerinin yapı alt sistemleriyle hem mevcut yapıların iyileştirilmesi hem de yeni yapı tasarımı aşamalarında bütünleştirilmeleri sürecinde gözönüne alınması gereken etkenler ve yöntemler 2. bölümde incelenmişti. Sözü edilen yöntemler ve prensipler, farklı iklimsel, coğrafi ve ekonomik koşullara sahip pekçok ülkede uygulanmaktadır.

Bu uygulamaların incelenmesi, güneş pili sistemlerinin yapı tasarımı ve yapım sistemleriyle bütünleştirilmesinde pekçok uygulama alternatifinin varlığının ortaya konmasına ve sistemlerin daha iyi anlaşılabilmesine olanak sağlayacaktır. Örnek uygulamalarda da görülebileceği üzere, güneş pili panelleri hemen hemen her yapı tipinde ve yapı kabuğunun hemen hemen her noktasında kullanılabilmektedir.

Bu bölümün birincil amacı, güneş pili sistemlerinin dünya çapındaki geçerliliğini ve önemini vurgulamak, ilk bölümde bahsedilen ülkemiz koşulları ve uygulama alanları ile karşılaştırma yapabilmek adına uygun bir zemin hazırlamaktır.

3.2. Örnekler

Gerek güneş pili sistemi tasarımında, gerekse sistem seçiminde, yapı tiplerine dayalı olarak değişen ihtiyaçların ve tasarım parametrelerinin iyi etüd edilmesi büyük önem taşımaktadır. Bu farklılaşmanın yanı sıra, yapı tiplerinin barındırdıkları fonksiyonlar , bulundukları fiziksel çevre, yeni tasarlanıyor oluşları ya da mevcut bir yapının

revizyonu oluşları gibi faktörler de, güneş pili sisteminin yapıyla bütünleştiriliş şeklini etkilemektedir.

Bu nedenle, örnekleme çalışmasında farklı fiziksel çevrelerde yer alan, farklı tiplerde yapılar ve güneş pili uygulamaları seçilmiştir. Örnekler arasında konutlar, ofis binaları, sanayi tesisleri, okullar, hükümet yapıları ve bağımsız strüktür çalışmaları yer almaktadır.

3.2.1. Samsung Mühendislik ve İnşaat Teknolojileri Enstitüsü (S.I.E.C.T.), Giheung, Kore [17]

Kore'nin Giheung bölgesinde kırsal arazide yer alan Samsung Mühendislik ve İnşaat Teknolojileri Enstitüsü 1995-1996 yılları arasında inşa edilmiştir. Tesis, Samsung Mühendislik ve İnşaat Grubunun araştırma destek ve eğitim birimlerini barındırmaktadır. İki bloktan oluşan yapının toplam taban alanı $25,101 \text{ m}^2$, cephe yüzey alanı 4107.6 m^2 ve çatı alanı 1944 m^2 'dir. 360 kişilik personelin standart çalışma saatleri sabah 7.30 ile 16.30 arasındır. (Şekil 3.1.)

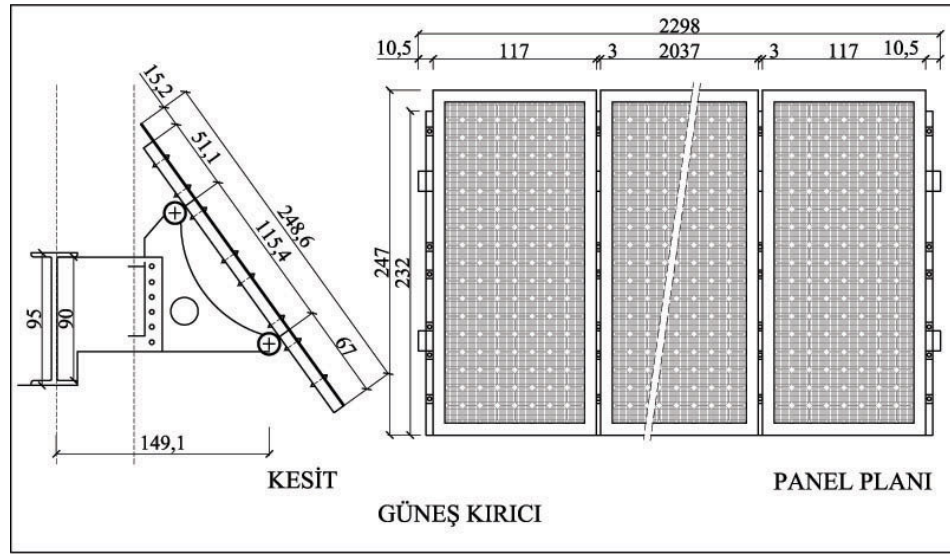


Şekil 3.1: S.I.E.C.T. üç boyutlu cephe modeli [17]

1997 yılında tesise güneş pili sistemi uygulaması yapılmıştır. Güneş pili paneli entegrasyonu için yapıların güney cephelerinde tasarlanan sabit güneş kırıcılar ve teras çatı katları seçilmiştir. Yapının kırsal bölgede yer alması nedeniyle, çevrede

gölgelenme yaratacak yapı bulunmamaktadır. Ancak estetik, maliyet ve güvenlik kaygılarıyla panellerin ideal açılarında yerleştirilmemesi verimde düşüş yaratmıştır. Bölgesel ideal eğim 32° olarak tespit edilmiş ancak güneş kırıcı paneller 55° açıyla monte edilmiştir. Çatılarda ise özel bir form seçilmiştir. Bununla birlikte, yaz aylarında güneş kırıcıların gölgeleri alttaki modüllerin üzerine düşmekte ve verimde düşüşe neden olmaktadır.

Güneş kırıcılarda %14 standart verime sahip yarı-saydam tekkristal silisyum güneş pili panelleri kullanılmıştır. Panel boyutları 1170 mm x 2470 mm, panel kalınlığı 14 mm'dir. Güneş kırıcıların toplam yüzey alanı 342 m^2 'dir (Şekil 3.2).

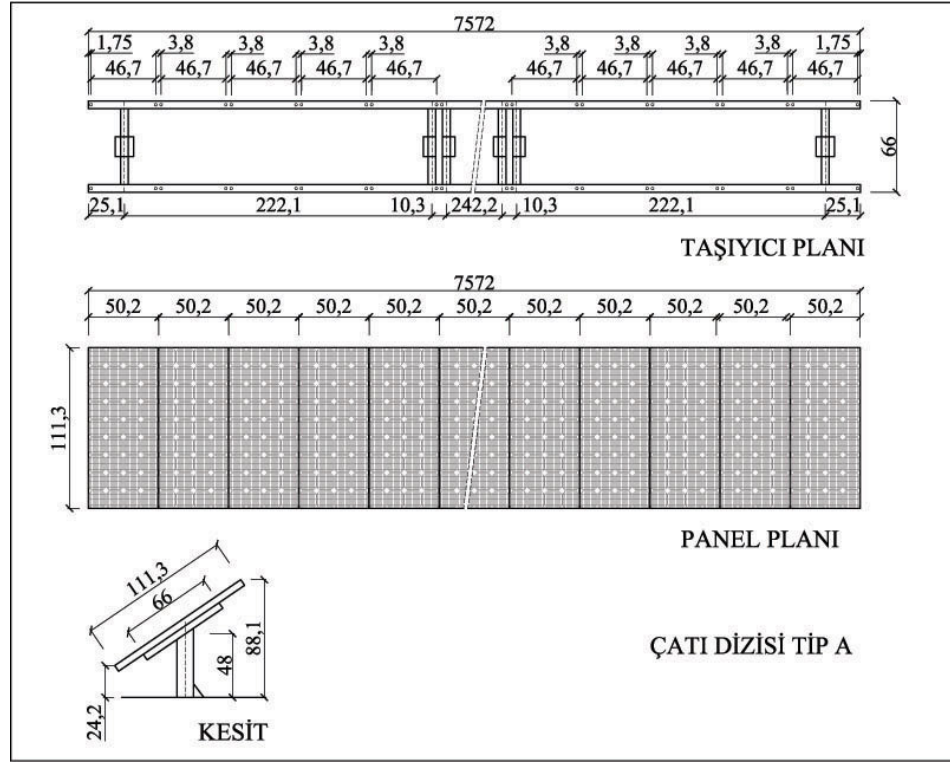


Şekil 3.2: S.I.E.C.T. güneş kırıcı detayı [17]

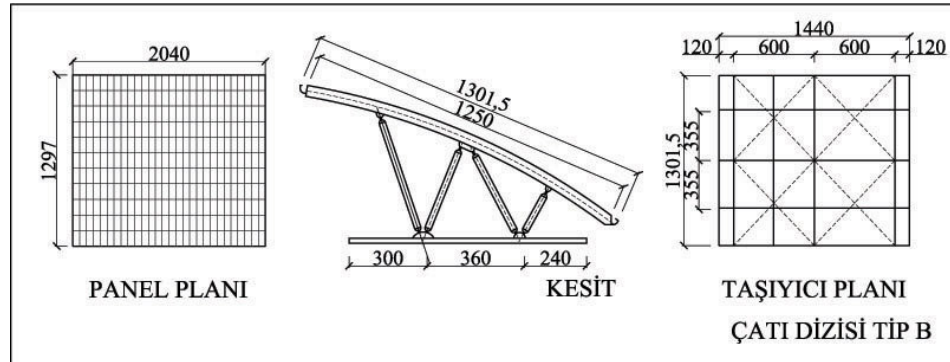
Bu örnekte kurulan sistem, tekil sistemdir. 100 kW dalgalandırıcı maksimum güç çıkışının 40 kW'lık bölümü güneş kırıcılardan, 60 kW'lık bölümü ise çatı dizilerinden sağlanmaktadır (Şekil 3.3, Şekil 3.4).

Kurulan sistem, bir sene süresince ölçüm ve analiz programı (PV-WR 1800/1500 PV-DATA) ile bilgisayar üzerinden izlenmiş, günlük değerler her akşam bilgisayara girilerek, güneş pili panellerinin 1 yıl boyunca her meteorolojik koşul altında performansları değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmelerin sonucunda, sistemden ortalama %9.2 lik verim sağlandığı ortaya çıkmıştır. Minimum verim dönemi bölgede sıcaklığın ve panel yüzey sıcaklıklarının en çok arttığı (27.9°C) dönem olan Haziran ayı (%3.6), maksimum verim dönemi ise panel yüzey sıcaklığının optimum değerlere düştüğü (19.5°C) Aralık ayı (%20.2) olmuştur.

Ayrıca direkt ışınlımla dağınık ışınlımın panellerin güç üretimlerini farklı şekilde etkiledikleri tespit edilmiştir. Bulutlu günlerde sistemden elde edilen verim, güneşli günlerde elde edilen verimden %30-35 oranında düşüktür.



Şekil 3.3: S.I.E.C.T. çatı dizisi tip A [17]



Şekil 3.4: S.I.E.C.T. çatı dizisi tip B [17]

3.2.2. Advanced Photovoltaic Systems (A.P.S.) Fabrika Binası, Fairfield, Kaliforniya, A.B.D.

A.P.S. ürettiği güneş pili sistemlerini sergilemek amacıyla kendi tesislerini kullanmaktadır. Yapı cephelerinde kullanılmak üzere geliştirdikleri geniş yüzeyli bir

ince film amorf silisyum güneş pili modül serisi bulunmaktadır. Güneş ışığının bir bölümünü geçirdikleri için, bu modüller çatı ışıklıkları ve güneş kırıcılarda kullanılmaya da oldukça uygundurlar. APS'nin binaya entegre başlıca üç adet güneş pili sistemi bulunmaktadır.

1. 4.8 kWp Güneş kırıcı sistemi
2. 3.2 kWp Giydirme cephe sistemi
3. 400 Wp Çatı ışıklığı sistemi

Güneş kırıcı sistem, 96 adet 50 Wp güç çıkışlı, 22.5° açıyla monte edilmiş amorf silisyum modülünden oluşmaktadır. Sistem, maksimum enerji üretimi için güneşe yönlendirilmiştir. Güneş kırıcılar aynı zamanda güneşe bakan pencereleri gölgelendirerek, binanın soğutma yükünün hafifletilmesinde de etkili olmaktadır.

Tesisin giriş bölümünü oluşturan cam küpün 4 cephesi de (özellikle araştırma amacıyla) güneş pili panellerinden oluşturulan giydirme cepheyle çevrilmiştir. 47 adet 50Wp ve 34 adet 25 Wp amorf silisyum panelden oluşan giydirme cephe, 90° açıyla inşa edilmiştir. Güneş pili panelleri, granit ve cam gibi geleneksel giydirme cephe malzemelerinin yerine kullanılmıştır (Şekil 3.5).



Şekil 3.5: A.P.S. giriş bloğu görünüşü

Giriş bölümünün tepesinde, sekiz adet 50 Wp güç çıkışlı amorf silisyum güneş pili modülünden oluşan bir çatı ışıklığı bulunmaktadır. Modüller doğu ve batı yönlerine 10° açıyla monte edilmişlerdir. Güneş ışığının %4 'lük kısmının içeri geçişine izin

vererek, iç ortamda yumuşak ve yayılı bir aydınlık sağlarlar. Işığın bu şekilde kontrolü aynı zamanda iç mekanın fazla ısınmasını da engellemektedir. Şekil 3.6’da giydirme cephe ve çatı ışıklığının iç mekandaki günışığı düzeyine etkileri görülmektedir.

Sistem 6 kW’lık bir invertör yerel şebekeye bağlanmıştır.



Şekil 3.6: Giriş bloğu üzerindeki güneş pili panellerinden oluşturulan giydirme cephe ve çatı ışıklığının iç mekandaki günışığı düzeyine etkisi

3.2.3. NAHB 21st Century Townhouse Dikket Çatı Sistemi, Maryland, A.B.D.

1996 yılında NAHB(National Association of Home Builders) tarafından Ulusal Ev Araştırmaları Parkı’nda enerji korunumlu malzemeler ve sistemler kullanılarak, 21. Century Townhouse adıyla gelişmiş düzeyde evler inşa edilmiştir. Bu müstakil evlerin çatıları dikket sistemden oluşmaktadır. Evlerden bir tanesi, güneş pili panelleriyle bütünleştirilmiş dikket çatısıyla diğerlerinden farklıdır. Güneş pili modülleri, diğer çatıların metal kaplama modülleriyle yüksek derecede uyum sağlayarak görünüm devamlılığı yaratmıştır (Şekil 3.7).

Güneş pili modülleri 40 cm eninde ve yaklaşık olarak 550 cm boyundadır. Bir çatı kaplama plakası üzerine polimerlerle lamine edilmiş ince, esnek ve hafif paslanmaz çelik altlıklara sahip amorf silisyum malzemeden oluşmaktadırlar. Bu dikkenet çatı



Şekil 3.7: NAHB 21st Century Townhouse

modülleri, sıradan kaplama malzemelerinin yerine kullanılmışlardır. Herbir modülün kenarları 90° yukarı kıvrılmış ve modüller yanyana çatı konstrüksiyonu üzerine dizilmişlerdir. Sistem su yalıtımı da sağlamaktadır ve her modülün ucunda yeralan elektrik bağlantıları mahya kapağının içinden yürütülerek, ana sistem kabloları çatı arasında çözümlenmiştir.

Ticari üretimde modüllerin elektrik enerji çıkışı yaklaşık olarak günlük 200-300 Wh/m²'dir. Verim oranı mevsime, hava koşullarına ve çatının güneşe olan yönelişine bağlı olarak değişmektedir. Sistem evin enerjisini karşılamakta, depolanmakta ve artan enerji şebekeye geri döndürülmektedir. İnvertör ve aküler evin garajına yerleştirilmiştir.

Uygulama, daha önce hiçbir güneş pili sistemi deneyimi olmayan bir çatı ekibi tarafından oldukça hızlı ve yanlışsız bitirilmiştir. Uygulama süresi ve maliyeti standart bir dikkenet sistem çatıyla eşit olmuştur.

3.2.4. Rikers Adası Geri Dönüşüm Tesisisi Güneş Pili Çatı Sistemi, New York, A.B.D.

A.B.D.'de inşa edilmiş, gerçek anlamda entegre en büyük güneş pili çatı sistemi, Rikers Adası'nda bulunan geri dönüşüm tesisinin yarı saydam parçalı çatı kaplaması güneş pili sistemidir. Sistem, herbiri 186 W güç çıkışlı 216 yarı saydam güneş pili modülünden oluşmaktadır. Modüller, orijinal çatısı dikkenetli metal çatı olarak

planlanmış olan bir elik yapının üzerinde uygulanmıştır. Uygulama, yapının yenileme çalışmalarında, mevcut taşeronlar tarafından gerçekleştirilmiştir (şekil 3.8).



şekil 3.8: Rikers Adası Geri Dönüşüm Tesisi Güneş Pili atı Sistemi

Söz konusu güneş pili elemanları, 12.7 cm'lik tekkristal silisyum hücrelerden oluşan çerçevesiz modüllerdir. Bu hücrelerin ortalama verim oranı %16'dır. Herbir modül üzerinde 81 adet hücre bulunmaktadır ve modüller yapı içine %17 oranında gnşığı geçişi sağlamaktadır. Modül boyutları 122 x 152 cm'dir. 10 mm kalınlığında temperli cam kullanılmıştır. Modüller, birbiri üzerine bini yaparak su tahliyesine yeterli eğim yaratan 12 yatay sıra halinde monte edilmişlerdir.

Güneş pili sistemi tarafından üretilen enerji, önceleri bir dizel jeneratörünü destekler durumdayken, 1998 yılında yerel şebekeye bağlanmıştır.

3.2.5. 4 Times Square, New York, A.B.D.

1990'lı yıllarda New York'ta inşa edilmiş olan en yüksek gkdelenlerden biri olan 48 katlı ofis binası, 42. cadde ile Broadway kesişiminde yer almaktadır (şekil 3.9). Bu projede, cam giydirme cephe üzerine uygulanan, amorf silisyum ince film güneş pili kullanılmıştır. Yapı, şehir merkezinin en yoğun noktalarından birinde yapılmış ilginç uygulamalardan biri niteliğini taşımaktadır. Amorf silisyum ince film güneş pilinin modül verimi %6, sistemin yıllık g çıkışı ise 13,800 kWh/yıl olarak öngörülmüştür. Kurulan sistem bir hibrid sistemdir. Yerel elektrik şebekesine olan bağlantı korunmuştur.



Şekil 3.9: 4 Times Square

Uygulamanın yapıldığı tarihler itibariyle kurulan bu sistem, kırsal ya da şebeke bağlantısından uzak bölgeler gibi, geleneksel olarak güneş pili sistemlerine ihtiyaç duyulan bir bölgede olmaması, tersine en yoğun şehir dokusuna sahip bölgelerden birinde yer almasıyla önemli bir örnek oluşturur. Güneş pili sistemleri, yerleşimin en yoğun olduğu bölgelerde de temiz ve yenilenebilir enerji kaynağı olarak en pratik sistemlerdir. Kolaylıkla giydirme cephe panellerinin yerine kullanılabilirler ve yerlerini aldıkları taş ve metal panellerden malzeme olarak çok daha ucuzdurlar. A.B.D.’deki ilk büyük ölçekli uygulama olmasıyla birlikte 4 Times Square, çok katlı binaların sık olduğu şehir merkezlerinde gerçekleştirilebilecek geniş çaplı güneş pili uygulamalarının da habercisi niteliğindedir.

3.2.6. Clarum Toplu Konut Yerleşimi, Kaliforniya, A.B.D.

East Palo Alto’da Kaliforniya’nın ilk sıfır enerji toplu konut projelerinden biri olarak gerçekleştirilen bu uygulama, çatı kiremitleriyle entegre olarak kullanılan güneş pili parçalı çatı kaplamalarından oluşmaktadır. Uygulama konutların tasarım ve inşaat aşamasında gerçekleştirilmiştir. Yeni inşa edilen projelerde maliyeti düşürme ve optimum düzeyde güneş pillerinden verim elde etme olanağı daha yüksektir. Clarum Toplu Konut Yerleşimi bu konuda kayda değer bir uygulamadır, çünkü evler enerji korunumunu sağlayacak özelliklerle donatılarak tüketim olabildiğince aza indirilmiştir (Şekil 3.10).



Şekil 3.10: Clarum’da gerçekleştirilen güneş pili çatı levha kaplama uygulaması

Kullanılan güneş pili çatı levha kaplamaları, 8.4 V modül çıkışına sahiptir. Kurulan her dizinin üretimi 2.4 kWh’dir (Şekil 3.11). Parçalı kaplamalar, kullanıldıkları iklim gereği yüksek sıcaklıklarda da yüksek performans gösterecek şekilde geliştirilmişlerdir. Ayrıca piyasada yaygın olarak satılan arduvaz ve kiremit markalarıyla uyum sağlayacak boyutlara sahip olmaları, uygulamada estetik yönden problem yaşanmasını engellemektedir.

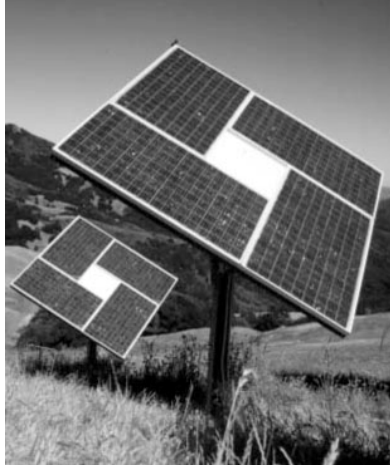


Şekil 3.11: Clarum’da güneş pili çatı levha kaplamasının uygulandığı.

Sistemin tek dezavantajı, güneş pili parçalı çatı kaplamalarının su ve hava yalıtımına sahip olmamaları nedeniyle altlarına bir sıra kiremit döşenerek yalıtım sağlandıktan sonra yerleştirilmeleri gerekliliğidir. Kurulan sistemin tümü 5 yıl, güneş pili çatı levha kaplamaları ise 20 yıl performans garantisine sahiptir.

3.2.7. Solar Sunflowers, Napa, A.B.D.

Napa’da bir yamaca kurulmuş 36 adet ayçiçeği benzeri konstrüksiyonun herbiri, 4 adet güneş pili panelinden oluşan dizilerdir. Özel sensörlü düzenekler sayesinde gün boyunca güneşe göre yön değiştirmektedirler. Bu uygulamada çokkristal silisyum güneş pili panelleri kullanılmıştır ve verim katsayısı %11.1 olarak belirlenmiştir. Yapılan uygulama, 8 ila 10 evin tüm elektrik ihtiyacını karşılayacak kapasitededir (Şekil 3.12).



Şekil 3.12: Solar Sunflowers

Solar Sunflowers projesi, hem kırsal kesimdeki küçük yerleşimler için herhangi bir şebeke bağlantısı gerektirmeden enerji problemine çözüm vadetmekte, hem de sanat ve teknolojinin birleşimine güzel bir örnek oluşturmaktadır.

3.2.8. Gloucestershire Üniversitesi Spor Bilimleri Merkezi, İngiltere

Gloucestershire Üniversitesi'nin Spor Bilimleri Merkezi binasının yenileme çalışmaları sırasında, testere dişli çatı uygulaması yapılmıştır. Çatının kuzeye bakan pencerelerinden dolayı aydınlatma sağlanırken, güneye bakan çatı eğimlerine de güneş pili panelleri monte edilmiştir.

Uygulama, hem iç mekandaki doğal ışık seviyesini arttırarak yapay aydınlatmaya olan bağımlılığı azaltmakta, hem de binanın yıllık ihtiyacının yarısını karşılayacak oranda elektrik üretimi sağlamaktadır (Şekil 3.13).

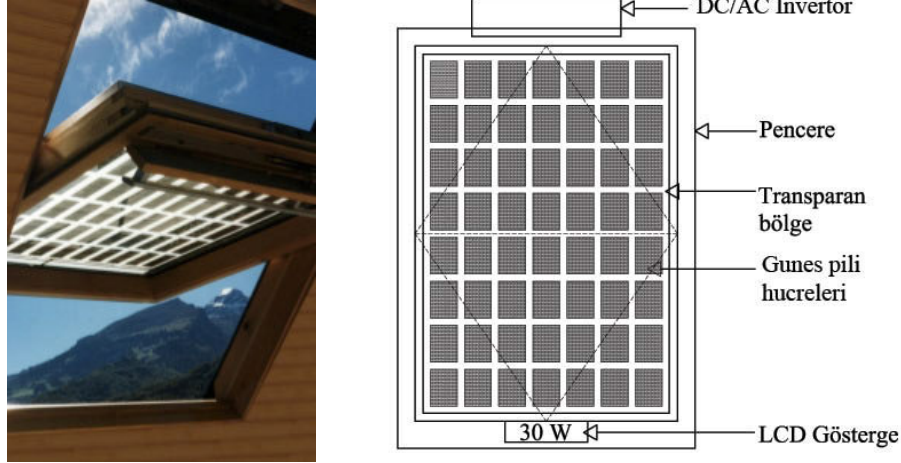


Şekil 3.13: Testere dişli çatı üzerinde güneş pili panel uygulaması

Her çatı parçası 16 adet çokkristal silisyum panelden oluşmaktadır. Panel başına güç çıkışı 175Wp, toplam güç çıkışı 64.4 kWp'dır. Sistemin yıllık üretimi 51 MWh'dir.

3.2.9. Neu-Technikum Buchs Çatı Penceresi Uygulaması, İsviçre [18]

İsviçre'de yapılmış olan bir çalışmada, standart çatı penceresi modülünün bir güneş pili sistemi paketi haline getirilmesi ve enerji çıkış veriminin maksimize edilmesi hedeflenmiştir [18] (Şekil 3.14).



Şekil 3.14: Çatı penceresine yarı saydam güneş pili paneli uygulama örneği (İsviçre) [18]

Çatı penceresinin doğrama çerçevesine yerleştirilen invertör sayesinde, ürettiği 230V civarındaki enerjiyi doğrudan kullanım ağına ileten yarı saydam bir güneş pili çatı penceresi modülü geliştirilmiştir. Hazırlanan 35 Wp, 36 Wp ve 45 Wp güçlerindeki ilk üç prototip belli aralıklarla cam yüzeyine yerleştirilmiş kristal silisyum hücrelerden oluşmaktadır. Bu prototiplerde %30 ila %51 oranında günışığı geçirimi söz konusudur. Üretilmesi planlanan bir başka alternatif de, bütünüyle bir kristal silisyum plakadan oluşan ve üzerindeki milyonlarca küçük delik sayesinde ışık ve görüntü geçirgenliği sağlayacak güneş pili çatı penceresi modülleridir.

Şekil 3.14'te 36 Wp gücündeki güneş pili çatı penceresi modülü görülmektedir. Bu modülde 66 adet 36x100 mm boyutlarında kristal silisyum hücre kullanılmıştır. Modül çerçevesine yerleştirilen DC/AC invertör ile şebekeye bağlantı sağlanmıştır. Modülün enerji çıkış oranı, çerçeveye yerleştirilen LCD panel üzerinden okunabilmektedir. Modülün günışığı geçirgenlik oranı %51'dir.

Bu tip bir sistemin kullanımının belli avantaj ve dezavantajları vardır. Avantajları;

- Sistem standart üretimli bir pencere sistemine uygulandığı için maliyet yönünden ortalama bir kullanıcının göze alabileceği bir seçenektir (üretilmiş olan prototipler ortalama 700 SFr'a malolmuştur) .
- Standart çift camlı bir çatı penceresinin dış cam yüzeyine laminasyonla güneş pili hücreleri uygulanmış, pencere sisteminin hiçbir montaj ya da kullanım detayına müdahale edilmemiştir. Bu da sistem montajının herhangi bir çatı ustası tarafından kolaylıkla yapılmasını sağlamaktadır.
- Güneş pili çatı pencereleri, farklı kristal silisyum türleri kullanılarak çeşitli renk ve saydamlık özellikleriyle üretilmektedir.
- Modüller hem çatı içi mekana ışık sağlamakta hem de elektrik üretmektedir.
- Şebekeye bağlanması kolaydır.

Bunların yanı sıra, üretilen güneş pili çatı pencerelerinin kullanıcı açısından bazı dezavantajları da sözkonusudur;

- Pencere camı üzerine yapılan güneş pili hücre uygulaması, iç mekandaki kullanıcının görüş alanını ve yararlanacağı günışığını kısıtlamaktadır. Bu da estetiksel ve fonksiyonel açıdan her mekan için istenen bir durum olmayabilmektedir.
- Çatı penceresi modüllerinin yüzeylerinin oldukça sınırlı olması, ürettikleri enerjinin maliyetlerine oranlanması sonucunda, fizibilitelerinin kullanılmaları planlanan binaların ihtiyaçları bağlamında sorgulanmasını gerekli kılmaktadır.

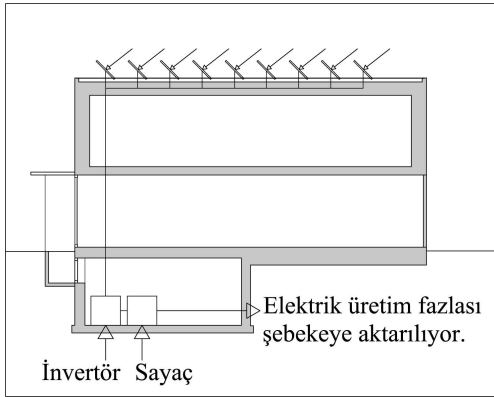
3.2.10. Müstakil Konut, Feldkirch, Avusturya

Avusturya'da inşa edilen bu müstakil konut, genel olarak enerji korunumu prensipleri esas alınarak tasarlanmıştır. Kuzeye bakan giriş cephesi kör bırakılırken, güney ve batıya bakan cephelerde büyük pencere bantları açılmıştır. Cephe koyu renkli dokuma ile kaplanmış, güneş enerjisinin soğurulması maksimize edilmiştir (Şekil 3.15). Diğer taraftan ısı izolasyonu ve rüzgar korunumu optimizasyonu ile enerji kaybı kontrol edilmiştir. Yapının elektrik üretimi, teras çatıya yerleştirilen güneş pili panelleri ile sağlanmaktadır. İhtiyaç fazlası enerji yerel elektrik şebekesine

kazandırılırken, kapalı havalarda güneş pillerinin ihtiyacı karşılayamaması durumunda şebeke bağlantısı ile destek sağlanmaktadır (Şekil 3.16).



Şekil 3.15:Müstakil konut düz çatısına güneş pili paneli uygulaması (Avusturya)



Şekil 3.16: Güneş pili panelleri ile elektrik sistemi arasındaki bağlantı prensibi

3.2.11. Thoreau Merkezi Giriş Rüzgarlılığı Güneş Pili Uygulaması, Kaliforniya, A.B.D.

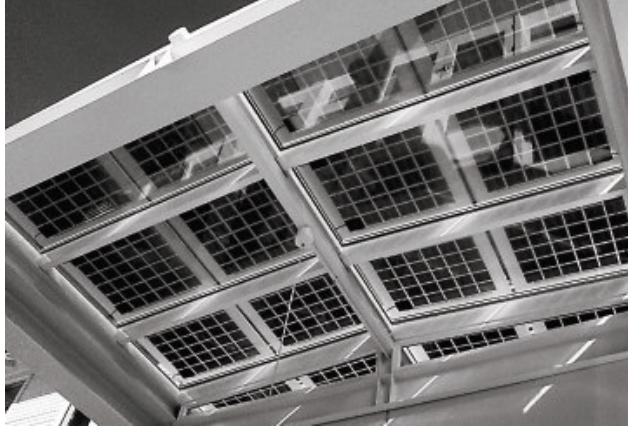
Thoreau Sürdürülebilirlik Merkezi, San Francisco'daki Presidio Ulusal Tarihi Parkı'nda bulunmaktadır. Bu eski yapı, bölge halkını sürdürülebilir temiz enerji ve doğaya duyarlı yapılar konusunda bilinçlendirmek amacıyla bir dizi yenilemeden geçirilmiştir. Bu yenileme sırasında genel olarak geri dönüşümlü malzemeler kullanılmış, enerji tüketimini azaltan önlemler alınmış doğal ışıktan ve havalandırmadan daha verimli yararlanma yoluna gidilmiştir. Yapının giriş saçağına

uygulanan cam üzerine lamine kristal silisyum güneş pilleri, A.B.D. 'de bir devlet yapısına uygulanan ilk güneş pili olmuştur (Şekil 3.17).

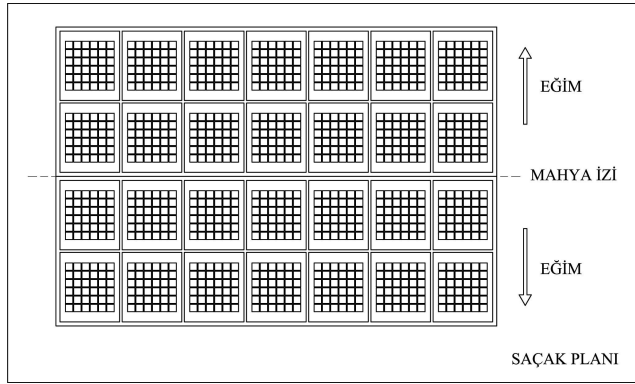


Şekil 3.17: Giriş alanı saçağı

Sistem güneşli bir günde, doğru akımdan alternatif akıma çevrilen 1300 Watt'lık enerji üretimine sahiptir. Sabit parçalardan oluşan bir sistemdir. Thoreau Merkezi, doğu ve batıya hafif eğimleri olan saçağıyla birlikte dikdörtgen şeklinde bir giriş alanına sahiptir (Şekil 3.18). Saçak tamamen aluminyum doğramalı camdan oluşturulmuştur. Güneş pili hücreleri, 24 adet aluminyum çerçeveli cam modül üzerine laminasyonla yerleştirilmiştir . Hücreler arasındaki boşluk, üzerlerine düşen güneş ışığının %17'lik kısmının aşağıya geçişine izin vererek giriş mekanının yapay aydınlatma ihtiyacını azaltır . Her bir modülün boyutları 81x94 cm'dir ve üzerinde 36 adet güneş pili hücresi bulunmaktadır. Hücreler arası minimum aralık 1.25 cm'dir. Giriş alanı saçağının toplam alanı 18.8 m²'dir. Güneş pili sisteminin getirdiği ek yükü taşıyabilmesi için, saçak taşıyıcı sisteminin desteklenmesi gerekmiştir (Şekil 3.19).



Şekil 3.18: Giriş alanı saçağı alttan görünüşü



Şekil 3.19: Saçak planı

3.2.12. New York Eyalet Üniversitesi'nde Güneş Kırıcı Uygulaması, Albany, A.B.D.

Albany'de bulunan New York Eyalet Üniversitesi'nin yeni yapılmakta olan Çevre Bilimleri ve Teknoloji Yönetimi Merkezi binası için, enerji korunumu stratejisi güden bir proje hazırlanmıştır. Bu projede, hem yapı üzerinde, hem de yapı çevresinde yeralan peyzaj öğelerinde güneş pili uygulamaları yer almaktadır.

Bunlardan biri de, 15kWp'lik üretim kapasitesine sahip güneş pili panellerinden oluşturulmuş güneş kırıcılardır (Şekil 3.20). Güneş pillerinin güneş kırıcılar üzerine yerleştirilmesi ile panellerin ısınmasının yapıya getireceği ek soğutma yükleri azaltılırken, güney cephesinde günışığı kontrolü de sağlanmış olmaktadır.



Şekil 3.20: Güneş pili panelleriyle güneş kırıcı uygulaması

Bu sistem, 2 kW gücünde alternatif akım modülünü biraraya getiriyor oluşuyla A.B.D.'de, alternatif akım modüllerinin güneş kırıcılarda kullanılıyor oluşuyla da tüm dünyada türünün ilk örneğidir. Güneş kırıcı üzerinde 59 adet alüminyum çerçeveli modül bulunmaktadır. Her modülün kendi mikro-invertörü mevcuttur. İnvertörler, ulaşım kolaylığı açısından bina içine yerleştirilmişlerdir.

4. YAPI SİSTEMİ VE ALT BİLEŞENLERİ

Güneş pili panellerinin yapılarla ekonomik, estetik ve fonksiyonel yönden doğru bütünleştirilebilmesi, onların yapı sistemlerinin alt bileşenlerinin görevlerini de yerine getirebilmeleriyle mümkün olacaktır. Bunun gerçekleşmesi için öncelikle yapının alt bileşenlerinin iyi incelenmesi, seçilecek sistemin yapı üzerinde yerleştirileceği noktaya göre iyi detaylanması, yapının karşılaması gereken performans kriterlerinin gözönünde bulundurulması çok önemlidir.

Bu nedenle, öncelikle yapı sistemi ve alt bileşenleri ele alınmalı, özellikleri ve performans gerekleri tanımlanmalıdır.

4.1. Yapı Sistemi Alt Bileşenlerinin Sınıflandırılması

Bir yapıyı oluşturan alt sistemlerin sınıflandırılmalarında kullanılan pekçok yöntem mevcuttur; üretim sırasına göre sınıflandırma, yapı bütününde üstlendikleri işlevler yönünden sınıflandırma, taşıyıcılık yönünden sınıflandırma, yapım sistemine göre sınıflandırma bu yöntemlerden bazılarıdır. Güneş pillerinin yapıyla bütünleştirilmesi açısından ele alındığında, bu sınıflandırmanın alt bileşenlerin yapıdaki işlevlerine göre yapılması doğru olacaktır.

İşlevlerine göre yapı sistemi alt bileşenleri;

- Yapı taşıyıcı sistemi
- Yapı kabuğu
- Yapı içi bölücü elemanlar ve iç bitirme işleri olarak üçe ayrılırlar.

Güneş pili sistemlerinin tasarımı ve bütünleştirilmesi yapı kabuğu üzerinde gerçekleştirilmektedir. Bu nedenle yapı kabuğu ve alt bileşenlerinin daha ayrıntılı olarak ele alınması gereklidir.

4.2. Yapı Kabuğu

Yapı üzerinde güneş pili panelleri için en uygun uygulama alanı, binanın iç ve dış çevre koşullarını ayıran, en önemlisi de doğrudan güneş ışınlarına maruz kalan ve geniş yüzeylere sahip bölümü olan yapı kabuğudur. Bölümün başında da belirtildiği gibi, güneş pili sistemlerinin yapıyla bütünleştirilmesinde verim sağlanabilmesi için, panellerin yerini aldıkları yapı alt bileşenlerinin görevlerini de eksiksiz olarak üstlenebilmeleri gereklidir. Bu nedenle yapı kabuğunun yerine getirmesi beklenen performans kriterlerinden de sözetmekte fayda vardır.

Hava koşulları karşısında performans gereksinimleri;

- Yağmurdan korumak
- Neme dayanıklılık
- Buzdan, kardan ve doludan korumak
- Donmaya dayanıklılık
- Isı kalkanı oluşturmak
- Isı soğurmak ve depolamak
- Güneşten korumak
- Güneş ışığı girişi sağlamak ve ışığı istenen düzeyde sağlamak
- Işık yansıtıcılığı, geçirgenliği ve kontrolü
- Yazın soğutma amacıyla rüzgar geçişine izin vermek
- Kışın soğuk ve sert rüzgarlardan korumak
- Rüzgar ve diğer dış ortam seslerinden izolasyon
- Kamaşmadan korumak

Strüktürel yönden performans gereksinimleri;

- Strüktürel yönden kararlılık, sağlamlık
- Yük taşıma kapasitesine sahip olma
- Kar yükü, rüzgar emme ve basıncı gibi iç ve dış yüklere karşı dayanım
- Mekanik ve kimyasal hasar riskine karşı dayanıklılık

- Kolay ve ucuz(bedava) sürdürülebilirlik
- Uzun ömürlü olmak
- Vandalizme karşı dayanıklı olmak
- Yangından korunmayı sağlamak
- Acil kaçış sağlamak

Kullanıcı açısından performans gereksinimleri;

- Doğal ışık sağlamak
- Dış mekanla görsel bağlantı ve iletişim sağlamak
- Mahremiyet sağlamak
- Uzaysal bölüntü sağlamak
- Geçiş sağlamak
- Dış seslerin denetimini sağlamak

Kentsel planlama ve tasarım açısından performans gereksinimleri

- Kentsel çevreyle diyalog sağlamak
- Uzaysal imaja sahip olmak
- Görünüş
- Tasarım olasılıkları sunmak
- Uygun materyal, doku ve form seçimi
- Örnek olmak
- Tüzel kimliğe hizmet etmek

Geçirim yönünden performans gereksinimleri

- Isı geçişini minimumda tutmak
- Bina içi sesleri içerde tutmak
- Dışarıya koku geçişine izin vermemek
- Doğal ışık geçişini kontrol etmek

Yapı kabuğu tasarımında ve uygulamasında büyük önem taşıyan performans kriterlerinin herbiri, yapı kabuğunun farklı noktalarında farklı öncelik sırasına sahip olabilirler. Örneğin kar yükü cephe için büyük bir sorun oluşturmazken, çatılarda bu konuda yapılabilecek hesap hataları, can ve mal kaybına yol açabilmektedir. Aynı şekilde rüzgardan oluşan basınç yüklerinin cepheye ve çatıya etkileri, hatta cephenin farklı yüksekliklerdeki noktalarına etkileri de değişmektedir [12]. Bu nedenle tasarımcının yapı kabuğunun tasarımına ve uygulamasına yaklaşımı da en az yapı taşıyıcı sistemine gösterilen titizliğe ve sorumluluğa sahip olmalıdır. Yapı kabuğunu yapı üzerindeki konumuna göre üç bölüme ayırabiliriz;

- Çatı (Yatay kabuk)
- Cephe (Düşey kabuk)
- Güneş kırıcılar (Kabuk yardımcı elemanları)

4.2.1. Çatı

Çatı, yapı kabuğunun en üst parçasıdır. Yapıyı yağmur, kar gibi atmosfer etkilerinden korur.

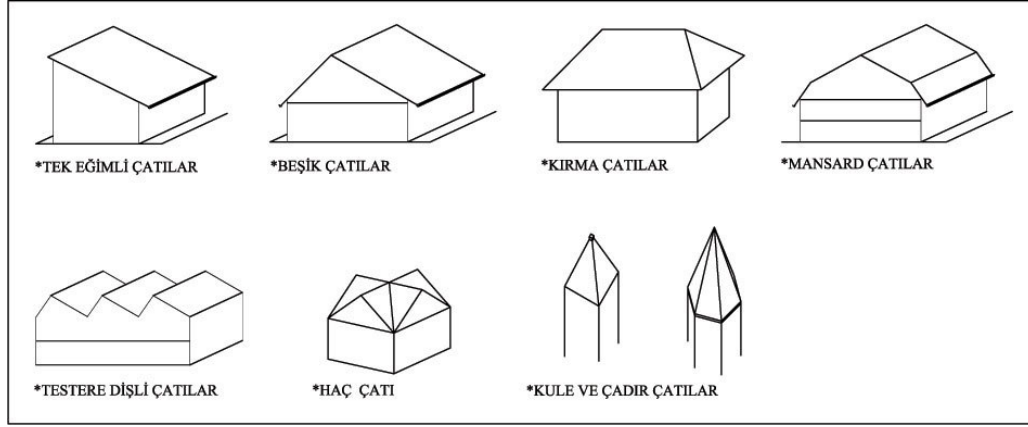
Çatılar yapısal yönden üç bölümden oluşur

- Taşıyıcı sistem (İskelet-çubuk sistem / Kabuk sistem-eğik betonarme plaklar); Çatı örtüsünü, kar yükü, rüzgar basıncı ve kendi yükünü taşır.
- Çatı örtüsü (Kaplama ve yalıtım malzemeleri); Çatıyı ve binayı dış etkenlere karşı korur.
- Su drenajı için oluk, dere, yağmur iniş boruları ve tamamlayıcı elemanları.

Biçimsel yönden ise çatıları iki ana grupta toplamak mümkündür [19];

4.2.1.1. Eğik çatılar

Eğik çatılar; beşik, kırma, tek eğimli, mansard, haç, şed, çadır ve kule çatılar olmak üzere sekiz ana grupta toplanmaktadır (Şekil 4.1).

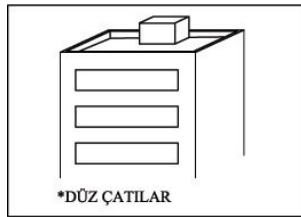


Şekil 4.1: Eğik çatı tipleri

Eğik çatılarda, eğimlerine göre, kaplama malzemesi olarak kiremit, arduaz gibi parçalı kaplamalar veya oluklu asbestli çimento plakalar, oluklu plastik-polikarbon plakalar(eternit), bükümlü metal(bakır, sac, çinko, alüminyum, galvanize sac vb.) gibi panel kaplamalar kullanılır. Betonarme yapılarda iskelet taşıyıcı yerine eğik betonarme plaklar da kullanılmaktadır. Eğimli çatılar, içlerinde yaşama mekanları barındırabilecekleri gibi, bina ile aralarında bir yalıtım bölgesi ve dış koşullardan korunaklı bir servis-teknik hacim bölgesi oluşturacak şekilde içinde yaşanılmayan strüktürler de olabilirler.

4.2.1.2. Düz çatılar

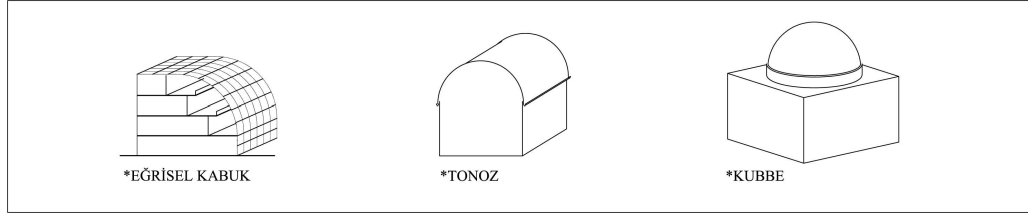
Düz çatılar eğimleri 5° ye kadar olan çatılardır (Şekil 4.2). Üzerinde gezilebilen ve gezilemeyen teras çatılar olarak ikiye ayrılırlar. Döşeme veya oluşturulan iskelet taşıyıcı üzerine uygulanan yalıtım katmanları ve kaplama malzemelerinden oluşurlar. Üzerlerinde gezilebilir düz çatılar, dış hava koşullarına açık teknik hacim ve servis mekanları sağlayabilir. Mekanik donanım dış üniteleri, güneş ısı panelleri ve lokal güneş kırıcılar burada kurulabilir.



Şekil 4.2: Düz çatılar

4.2.1.2 Eğrisel çatılar

Eğrisel çatılar, eğrisel kabuklar, tonoz ve kubbe çatılar olarak üçe ayrılır (Şekil 4.3).



Şekil 4.3: Eğrisel çatı tipleri

Çatılara etkileyen ve tasarımda göz önüne alınması gereken birtakım yükler vardır. Bunlar, çatı örtüsünün, yani kaplama malzemesinin ağırlığı, kar yükü ve rüzgar basıncından doğan yüklerdir.

Kullanılan kaplama malzemesinin ve bağlantı elemanlarının çatı taşıyıcısına yansıtacağı m^2 'ye düşen yükleri saptanmalıdır. Örneğin, kaplama malzemesi olarak kiremit kullanıldığı durumlarda bile kullanılacak kiremit tipine göre m^2 'ye etkiyecek yük farklı olabilmektedir. Makine (Marsilya) kiremidi kullanılması durumunda $1m^2$ 'de 15 adet 2,5 kg ağırlığında kiremit döşenmekte, $37,5 \text{ kg}/m^2$ 'lik kaplama yükü elde edilmektedir. Alaturka kiremit kullanılması durumunda ise $1m^2$ 'de 2 kg'lık 25 adet kiremit döşenmekte, kaplama malzemesinin taşıyıcıya etkisi $50 \text{ kg}/m^2$ olmaktadır [19]. Çatı kaplama malzemelerinin güneş pili panelleriyle yer değiştirmesi durumunda da mevcut taşıyıcıya etki edecek yükteki değişikliklere özellikle dikkat edilmesi, gerekli durumlarda taşıyıcının takviyesi hatta yeniden oluşturulması oldukça önemlidir.

Kar yükü çatının eğimi ile ters orantılı etki eden bir faktördür. Eğim azaldıkça ve taşıyıcı aks açıklıkları büyüdükçe, taşıyıcı sisteme etki eden kar yükünde artış gözlenir. Kar yükünün m^2 'ye etkisi, eğim dilimlerine göre aşağıdaki gibi değişiklik gösterir;

$0^\circ - 25^\circ : 75 \text{ kg}/m^2$

$30^\circ : 70 \text{ kg}/m^2$

$35^\circ : 65 \text{ kg}/m^2$

$40^\circ : 60 \text{ kg}/m^2$

45° : 50 kg/m²

50° : 40 kg/m² [19]

Rüzgar yükü için de benzeri kabuller olmasına karşın, yapının bulunduğu coğrafyaya, iklime, mevsimsel koşullara ve yapının yönlenişine göre rüzgar rejimi değişkenlik göstereceği için, bu konuya fiziksel çevresel koşullar başlığı altında daha detaylı değinilmektedir.

4.2.2. Cephe

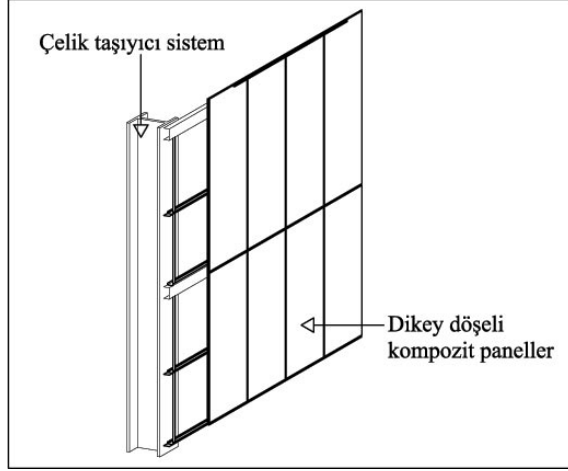
Cepheler, yapı kabuğunun düşeydeki bileşenleridir. Kullanılan yapım tekniğine, malzemeye ve alt bileşenlerinin yapısal özelliklerine göre, cepheleri farklı şekillerde sınıflandırmak mümkündür. Cepheler yapısal yönden iki bölümden oluşur;

- Taşıyıcı sistem (Yapı iskeleti / Taşıyıcı karkas)
- İç ve dış ortamı ayırıcı cidar (Örgü veya panel duvar sistemleri / Ağır veya hafif giydirme cephe sistemleri)

Örgü ve panel duvar sistemlerinin yapı iskeletine bağlantıları da ikiye ayrılır;

- Yatay ve düşey taşıyıcıların bir çerçeve olarak kullanılması ve dış duvarların bu çerçevelerin içinde oluşturulması
- Dış duvarların bina iskeletinin önünde veya bina iskeletine asılarak oluşturulması

Cepheler yatay düzleme göre dik veya açılı, kendi içlerinde de düz veya kırıklı olarak tasarlanabilirler. Günümüzde cephelerin oluşturulmasında kullanılan pekçok malzeme ve sistem alternatifi vardır; metal, cam, betonarme, plastik ve kompozit panellerden oluşan önüretimli duvar sistemleri, örgü duvar sistemleri bunlardan bazılarıdır. Şekil 4.4’de çelik taşıyıcı sisteme bağlanan kompozit panellerden oluşan cephe prensibi görülmektedir.



Şekil 4.4: Çelik taşıyıcılara bağlanan kompozit panellerle oluşturulan cephe sistemi

Giydirme cephe sistemleri, yapı taşıyıcı sistemine bağlanan taşıyıcı bir ızgaraya bağlanan önüretimli panellerden oluşur. Cephenin tamamı veya belli bir kısmı bu sistemle oluşturulabilir. Cephenin önüretimli panellerden oluşması, iç-dış çevre fiziksel koşullarının kontrolünü ve bina kabuğuna çeşitli güvenlik veya konfor amaçlı fonksiyonların yüklenmesini mümkün kılar. Diğer taraftan panel-panel, panel-taşıyıcı birleşimlerinde su ve hava sızdırmazlık detaylarının iyi çözümünü gerektirir. Giydirme cephe sistemleri bina üzerindeki boşluklar kadar dolu yüzeyler üzerine de uygulanarak bina cephesinde süreklilik sağlanır. Giydirme katmanla bina arasında bir havalandırma boşluğu bırakılarak ısı ve buhar yalıtımı sağlanır. Güvenlik, havalandırma-soğutma, güneş kontrolü gibi kalem bu sistemler içine rahatlıkla entegre edilebilirler.

Giydirme cephe sistemlerinde günümüzde pekçok kompozit malzeme seçeneği mevcuttur. Bu kompozit malzemelerin yanı sıra cam, metal(aluminyum, galvanizli sac, paslanmaz çelik, bakır, çinko), ahşap (doğal veya işlenmiş ahşap lifleri), taş, prekast beton elemanlar da yaygın olarak kullanılmaktadır.

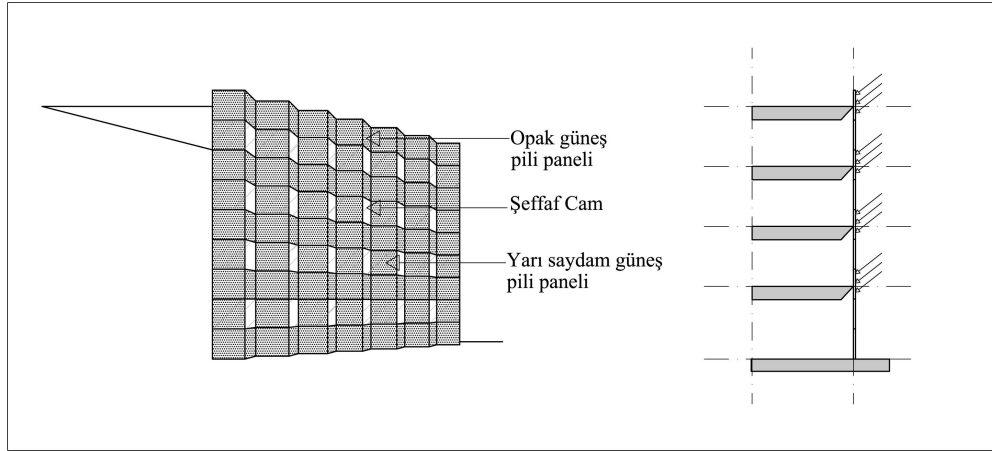
Giydirme cepheler formlarına göre iki gruba ayrılırlar.

4.2.2.1. Düşey düzlemsel ve kırıklı yüzeyli giydirme cepheler

- **Düzlemsel giydirme cepheler;** Standart cam giydirme cephe taşıyıcı ızgarası kullanılabilir (Şekil 4.5). Elektrik üretimi, güneş ışınlarına olan açının elverişsizliği nedeniyle eğimli yüzeylere göre daha düşüktür. Çift cidarlı bir cephe oluşturulursa, içteki cidarı yapı içinden açarak panelleri temizlemek mümkündür. Temizlik için

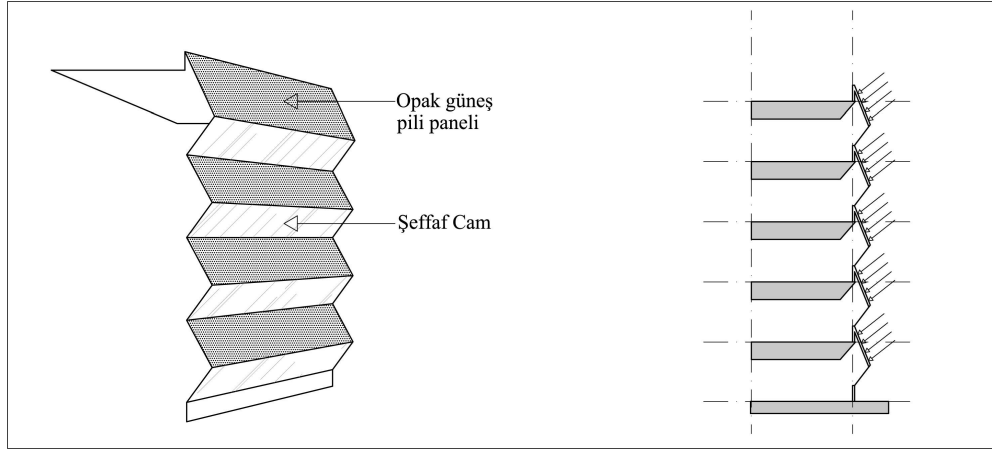
A technical cross-section drawing of a sliding door system. The drawing shows a horizontal track with rollers supporting a door profile. The door profile is labeled 'Açılabilir alüminyum doğramalı iç cidar' (Internal frame of openable aluminum). The track is labeled 'Gömme cıvatalı birleşimli dış cidar' (External frame with hidden screws). The drawing includes dashed lines indicating the door's movement path and solid lines showing the internal components and rollers.

- **Düşeyde kırıklı giydirme cepheler;** Cephe yüzeyini arttıran bir form olsa da, ek taşıyıcı konstrüksiyon masrafının sistem maliyetine olumsuz etkisi vardır. Güneşe uygun yönlendirme sağlandığında iyi elektrik üretim performansına sahiptir. Köşe noktalardan pencere açarak yüzey temizliği sağlanması mümkündür (Şekil 4.7).



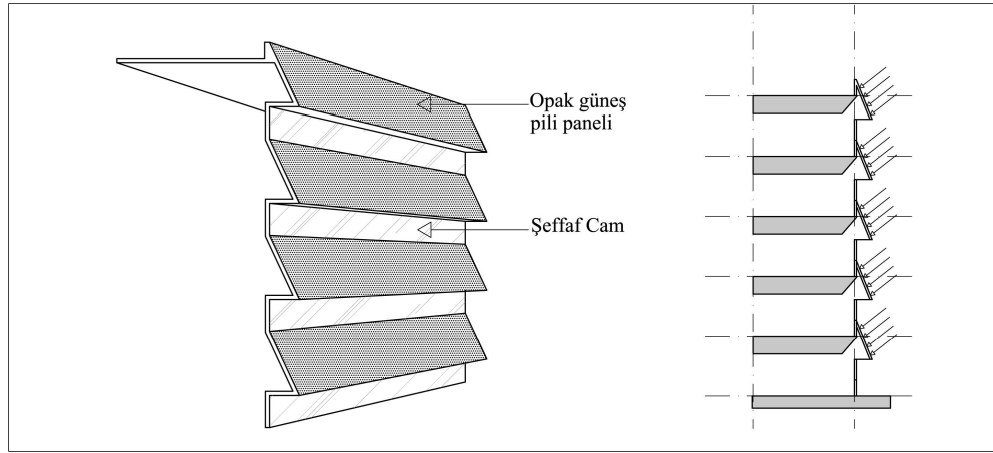
Şekil 4.7: Düşeyde kırıklı giydirme cepheler [7]

- **Akordeon giydirme cepheler;** Formu nedeniyle karmaşık bir taşıyıcı konstrüksiyonu vardır (Şekil 4.8). Ek taşıyıcı masrafı fazladır. Diğer taraftan güneşe göre açı ayarı yönünden daha esnek olduğu için performansı oldukça yüksektir. Temizlik dışarıdan yapılabilir.



Şekil 4.8: Akordeon giydirme cephe [7]

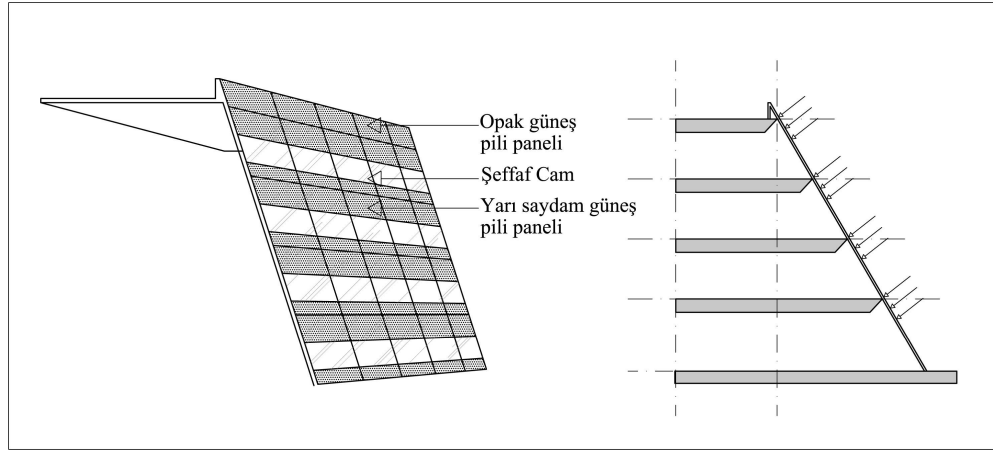
- **Yatayda kırıklı giydirme cephe;** Akordeon giydirme cepheler gibi taşıyıcı masrafı yüksektir. Güneş karşılama açısı düşey kırıklı giydirme cephelere göre daha iyidir. Cephe şekillenışı pasif gölgelenme ve güneşliği denetimi yönünden başarılıdır (Şekil 4.9). Ancak bu tip cephelerin temizliğinin sağlanması problemlidir.



Şekil 4.9: Yatayda kırıklı giydirme cephe [7]

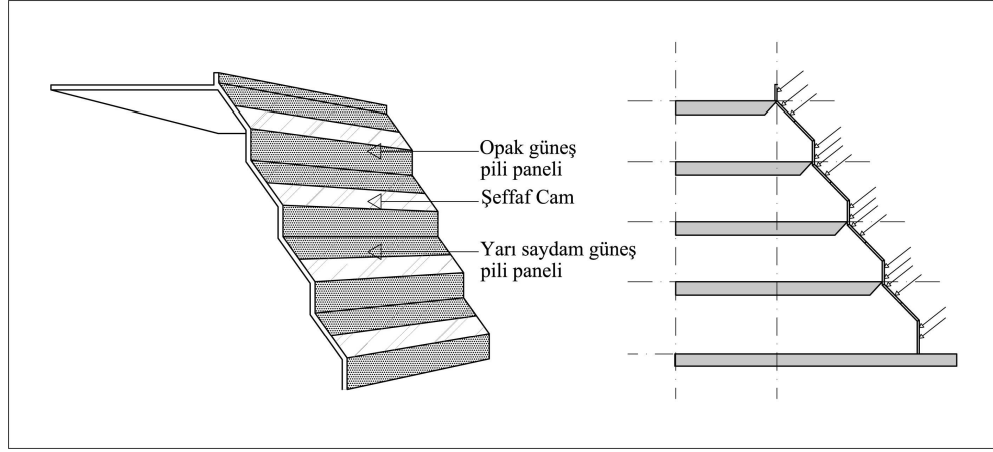
4.2.2.2. Açılı eğimli yüzeyli giydirme cepheler

- **Eğimli düzlemsel giydirme cepheler;** 40° - 60° arası açılarda en yüksek güneş pili performansı sağlayan giydirme cephe biçimidir (Şekil 4.10). Opak ve yarı geçirgen güneş pili panelleri ile geçirgen veya seçici cam yüzeyler kullanılarak etkin sistemler elde edilmesi mümkündür. Temizlik sorunu vardır. Enerji sağlama performansı yüksektir.



Şekil 4.10: Eğimli düzlemsel giydirme cepheler [7]

- **Eğimli kırıklı giydirme cepheler;** Kırıklar nedeniyle ek konstrüksiyon maliyeti vardır. Eğimli yüzeyde opak, dikyüzeyde saydam cam kullanılır. Eğimli düzlemsel giydirme cephe ile hemen hemen aynı performansa sahip olduğu kabul edilir (Şekil 4.11).



Şekil 4.11: Eğimli kırıklı giydirme cephe [7]

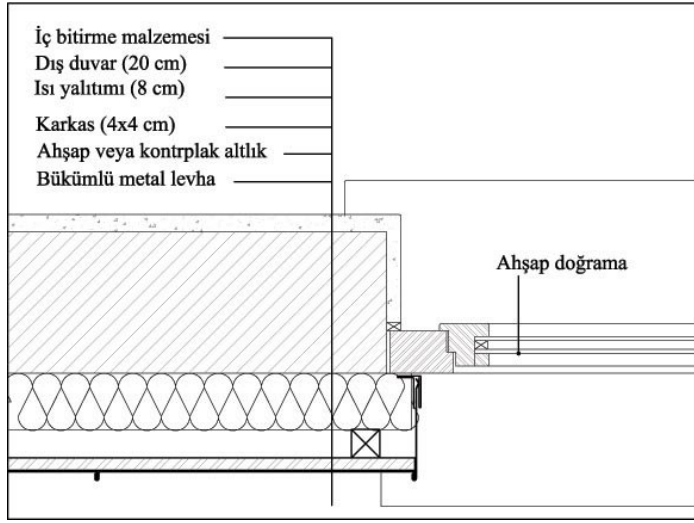
Ancak cepheyi oluşturan malzeme veya sistem ne olursa olsun, yapı içinde konfor koşullarının sağlanabilmesi, yapının doğal etkenlerin zorlayıcı koşullarından korunabilmesi ve öngörülen görevlerini yerine getirebilmesi için cephedeki yalıtım önlemlerinin doğru düşünülmesi ve uygulanması gerekir. İç ve dış ortamdaki sıcaklık ve basınç farklarından doğacak su, hava ve buhar sızıntıları yapının kalitesinde bozulmalara yol açacaktır. Özellikle yüksek yapılarda katlar arasında oluşması kaçınılmaz olan sıcak ve soğuk hava yer değiştirmeleri, farklı yüksekliklerde cephelere etkiyen iç ve dış basınç dengesinde oynamalara neden olacaktır. Ayrıca, rüzgarın yapının her bir cephesinde farklı basınç bölgeleri yarattığı da bilinen bir gerçektir. Cephenin formu (+) ve (-) basınç bölgelerinin oluşmasında ve kontrolünde önemli rol oynamaktadır [20]. Tüm bunlar, cephede kullanılan yapım sistemlerini ve malzemeleri zorlayıcı faktörler olarak karşımıza çıkmaktadır. Tasarımcının da bu noktaların farkında olarak çalışması, sorunsuz bir uygulamanın gerçekleşmesinde önemli rol oynayacaktır.

Günümüzde yapım teknolojileri hemen her problem için çözümler getirmiş durumdadır ve enerji korunumu amaçlı akıllı yapıların oluşturulmasına yönelik teknolojik gelişmeler, yapı kabuğunu enerji üreten, konfor koşullarını düzenleyebilen bir yüksek teknoloji ürünü haline getirmektedir.

Son yıllarda hem konut hem de ticari yapılarda hızlı ve kalite esaslarına uygun yapı üretimi açısından betonarme prekast cephe elemanları kullanımı yaygınlaşmıştır. Duruma göre hem taşıyıcı özelliğe sahip yapı elemanı olarak hem de taşıyıcı özelliği olmayan giydirme cephe paneli olarak kullanılabilirler. Taşıyıcı özelliğe sahip

prekast cephe panelleri, çok katmanlı ağır asma paneller olarak da adlandırılırlar. Yüksek ısı ve hava yalıtımı sağlarlar ve yangına karşı yüksek dayanıma sahiptirler. Bir araya gelerek monolitik bir taşıyıcı duvar oluştururlar. Taşıyıcı olmayan betonarme prekast cephe panelleri ise yalın ağır asma paneller olarak da bilinen, tasarım özgürlüğü sağlayan, görsel açıdan daha çok tercih edilen yapı elemanlarıdır.

Cepheler yapı kabuğunun en geniş yüzölçümlü ve düşeyde çalışan bölümüdür. Yığma yapılarda cephe yapı için taşıyıcı öneme de sahiptir . Türkiye’de en yaygın uygulama şekli tuğla, briket veya gazbeton örgü duvar üzerine uygulanan yalıtım ve özel dış cephe sıvaları ya da kaplamalarıdır. Cephe kaplamaları harçla duvar üzerine yapıştırılarak veya duvar üzerine bağlanan karkaslara monte edilerek uygulanabilirler. Şekil 4.12’de kenet birleşimli metal plaka kaplamalı cephe prensip detayı görülmektedir. Ayrıca panel şeklindeki cephe kaplamalarıyla yağmur perdeleri oluşturulması da mümkündür.



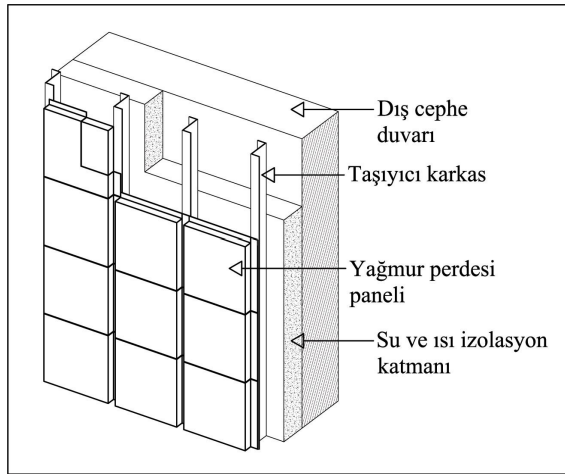
Şekil 4.12: Kenet birleşimli metal plaka kaplı cephe detayı

Yağmur perdeleri, yapı kabuğunun dışında binayı atmosferik etkilerden korumak amacıyla oluşturulan düşey cephe elemanlarıdır. Çoğunlukla cephede oluşturulan bir ızgaraya ya da taşıyıcı sisteme bağlanan panellerden oluşurlar. Kompozit, cam, dolu veya perfore metal, taş, ahşap gibi çok çeşitli panel tipi yağmur perdesi oluşturmada kullanılabilir. Karmaşık formlu cephelerde daha çok bakır ve kalay gibi yerinde şekillendirilebilecek metaller uygulama kolaylığı ve ekonomi sağlarken, sahip oldukları dalgalı ve düzensiz dokuyla, metal ve alüminyum kompozit panellerin

yarattığı düz ve homojen görüntüden oldukça farklıdır. Bu tip paneller çatılarda da kullanılan geleneksel kenet sistemle birbirlerine bağlanırlar.

Son dönemde, yağmur perdesinin arkasındaki boşluğu dış ortama tamamen kapatan yarı binili birleşimler de çok tercih edilir olmuşlardır. Bu tip birleşimlerde derzler diğer birleşim şekillerine göre daha görünür durumdadır. Bu nedenle gizli çözülmüş bağlantı detaylarına sahiptirler. Şekil 4.13’de yarı binili birleşime sahip yağmur perdesi aksonometrik prensip detayı görülmektedir.

Yapı cephesiyle yağmur perdesi arasında hava sirkülasyonuna izin verecek bir boşluk bırakılması gereklidir. Panellerin arkasından dolaşan hava hem cephede yoğunlaşmayı engeller, hem de su yalıtımına yardımcı olur. Özellikle güneye bakan cephelerde tasarlanan yağmur perdeleri, direkt güneş ışınımının cephe duvarına ulaşmasını engelleyerek, yaz aylarında ısı yalıtımı da sağlarlar.



Şekil 4.13: Yarı binili birleşime sahip yağmur perdesi aksonometrik prensip detayı

4.2.3. Güneş kırıcılar

Güneş ışınımı, pasif solar ısınma sağlaması için kış aylarında yapı içinde istenen, yaz aylarında ise kontrol edilmesi gereken bir unsurdur [21]. Kontrolün cephe içinde veya dışında sağlanması tasarımcının tercihinine bağlı bir durumdur. Diğer taraftan, güneş ışınlarının cephe dışında kontrol edilmesi, iç mekanın soğutma yüklerinin hafifletilmesini ve çalışma mekanlarında fazla ışık düzeyinden oluşacak rahatsızlığın önlenmesini sağlayacağı için, cepheye bağlanan güneş kırıcıların yapı cephesinin bir parçası olarak tasarım aşamasının en başından ele alınması gerekir [22].

Güneş kırıcıların cephe bütününe bir parçası olarak ele alınması gerekliliği, onların cephe formunda yarattıkları dominant etkilerden de kaynaklanmaktadır. Farklı yönlerde bakan cephe yüzeylerindeki güneş kırıcı karakterleri de, o cephelere düşen güneş ışınımı açılarına bağlı olarak, farklı olacaktır ve bu da cephe tasarımında hassasiyetle üzerinde durulması gereken bir noktadır.

Güneş kırıcılar iki ayrı şekilde sınıflandırılırlar;

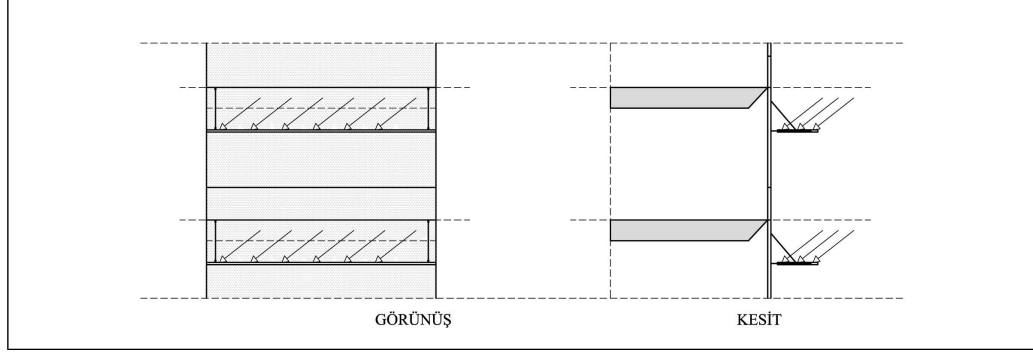
1. Formlarına göre yatay, dikey ve karma güneş kırıcılar olarak
2. Sabit veya hareketli güneş kırıcılar olarak

Hem güneş pili panellerinin performansı hem de daha verimli gölgeleme elde edilmesi açısından güneş kırıcıların hareketli olması daha çok tercih edilmektedir. Bunun dışında, güneş kırıcı formları cephe oluşumunda ve güneş pili panellerinin bütünleştirilmesinde daha büyük önem taşımaktadır ve güneş kırıcılar daha sonraki bölümlerde de bu özellikleriyle ele alınacaklardır.

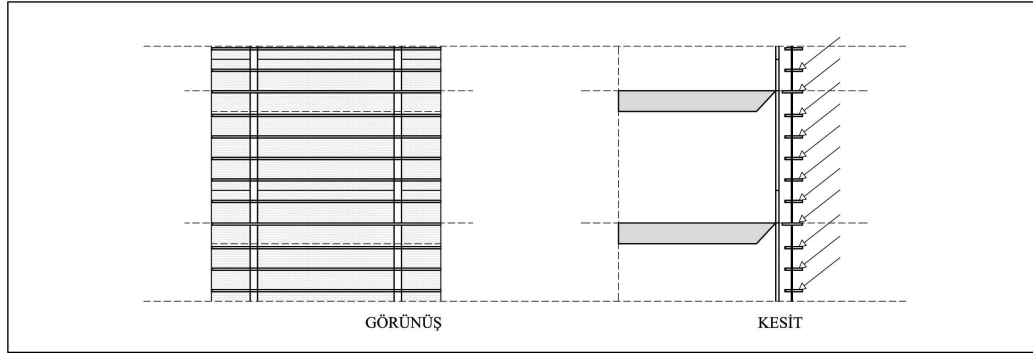
4.2.3.1. Yatay güneş kırıcılar

Yatay güneş kırıcılar güneşe bakan yapı kabuklarında güneş kontrolü amacıyla tasarlanan elemanlardır. Güneş ışınlarının dik açıyla geldiği, direkt ışınların iç konfor koşullarını olumsuz etkilediği yaz aylarında güneş ışınlarını kesmek, kış aylarında ise yatık gelen güneş ışınlarını maksimum derecede içeri almak, iç mekan ısı ve aydınlık düzeyini arttırmak için kullanılırlar [23].

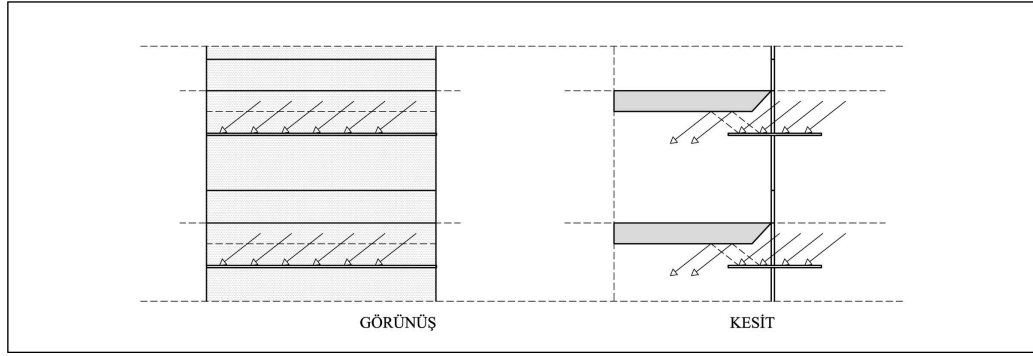
İlk olarak balkon, cumba kullanımı şeklinde ortaya çıkmışlardır. Büyüyen yapı ölçekleri ve giydirme cephelerin gelişimiyle beraber cephelerde değişik malzemelerle yatay güneş kırıcılar kullanılmaya başlanmıştır. Kumaştan yapılma tenteler ve panjurlar, ahşap storlar bunun ilk örneklerini oluşturmuştur [23]. Pencere üstlerinde tek ve büyük elemanlar şeklinde olduğu kadar, daha küçük ve tekrarlı elemanlar halinde de tasarlanmışlardır. Günümüzde metaller, özellikle alüminyum, güneş kırıcı malzemesi olarak en çok tercih edilen malzemedir. Alüminyumun hafif bir malzeme olması, daha ince kesitli elemanlar yapılabilmesi, hem cepheleri hafifletmiş, hem de güneş kırıcılardan kaynaklanan ısı köprülerini minimize etmiştir. Şekil 4.14-4.16 yatay güneş kırıcı tiplerinden bazılarını göstermektedir.



Şekil 4.14: Cepheden bağımsız yatay güneş kırıcı



Şekil 4.15: Cepheden bağımsız yatay ızgara güneş kırıcı



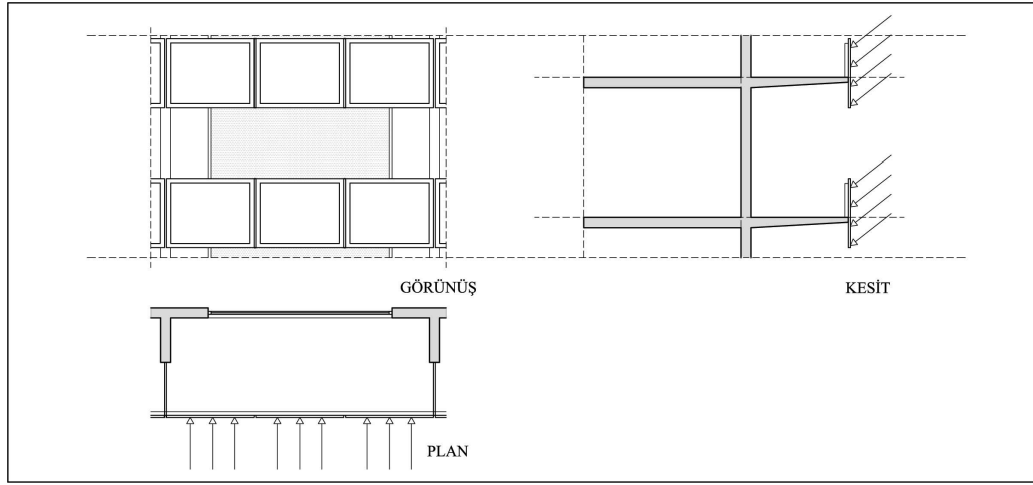
Şekil 4.16: Cepheyle bütünleşik yatay güneş kırıcı (ışık rafı)

4.2.3.2. Düşey güneş kırıcılar

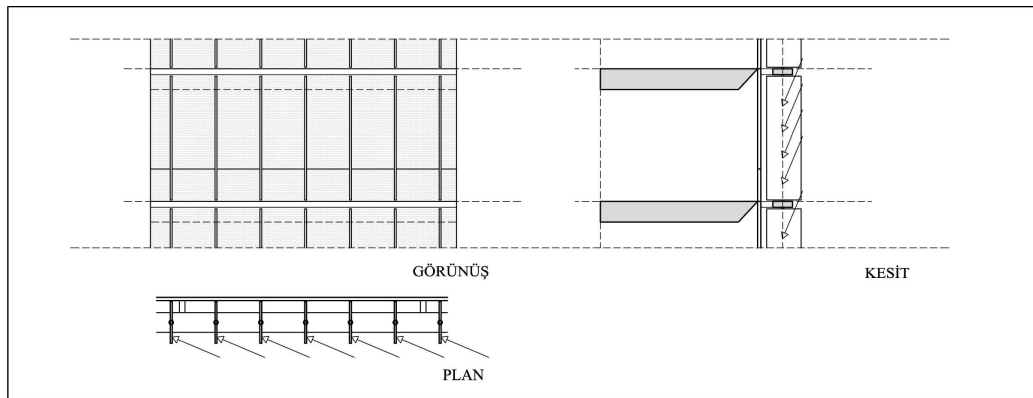
Düşey güneş kırıcılar, karma güneş kırıcı elemanlarla birlikte yapı kabuğunun doğu ve batı cephelerinde dar açıyla cepheye vuran güneş ışınlarını kontrol etmek için kullanılırlar. Cephe açıklığının görüş açısını etkilemeyen yatay güneş kırıcıların aksine, düşey güneş kırıcılar görüşü kısıtlayan cephe elemanlarıdır [23].

Düşey güneş kırıcılar yapı cephesinde dominant düşey etkiye sahiptirler. Dört şekilde tasarlanırlar;

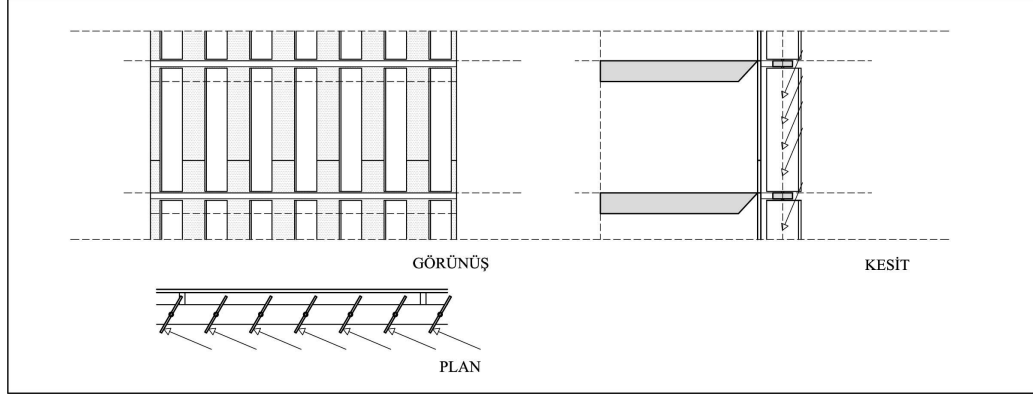
1. Yapı kabuğuna paralel, kalkan şeklinde tasarlanan paneller. İç mekanın görüş açısını önemli ölçüde keserler. Böyle bir etkinin istendiği durumlarda tercih edilirler.(Şekil 4.17)
2. Yapı kabuğuna dik olarak tasarlanan paneller. Dış mekanın görüntüsü daha az kesilir ve cephede daha ince kesitli düşey hareketler oluştururlar.(Şekil 4.18)
3. Yapı kabuğuna göre plan düzleminde açılı olarak tasarlanan paneller. Güneşin geliş açısına göre tasarlanan elemanlardır. Görüş açısını önemli ölçüde kısıtlamaları söz konusudur. (Şekil 4.19)
4. Hareketli olarak tasarlanan paneller.



Şekil 4.17: Yapı kabuğuna paralel düşey güneş kırıcılar



Şekil 4.18: Yapı kabuğuna dik düşey güneş kırıcılar



Şekil 4.19: Yapı kabuğuna açılı düşey güneş kırıcılar

4.2.3.3. Karma güneş kırıcılar

Karma güneş kırıcı sistemleri, yatay ve düşey güneş kırıcıların birlikte kullanılmasıyla oluşan cephe elemanlarıdır. Çoğu zaman, balkonların yan duvarlarının da döşeme hizalarına kadar uzatılmasıyla ortaya çıkarlar. Yatay ve düşey güneş kırıcı panellerin birarada kullanımı da söz konusu olabilir. Cephede ızgara şeklinde bir etki yaratırlar [23].

5. GÜNEŞ PİLLERİNİN MEVCUT VE YENİ BİNALARDA UYGULAMA ŞEKİLLERİ

Önceki bölümlerde sırasıyla güneş pilleri ve yapı sistemi alt bileşenleri incelenmişti. Bu bölümün amacı ise, güneş pillerinin yapı sistemi alt bileşenleriyle hem mevcut yapılarda, hem de yeni tasarlanmakta olan yapılarda bütünleştirilme yöntemlerinin incelenmesidir.

5.1. Güneş Pillerinin Mevcut Yapılardaki Uygulama Şekilleri

Mevcut bir yapıda güneş pili sisteminin uygulaması, hem kullanıcı hem de yüklenici açısından çekincelerle dolu bir süreçtir [24]. Güneş pili sistemleri uzun vadeli kullanımları olduğu kadar yüksek önyatırım maliyetlerine de sahiptirler. Yapının yaşı ve fiziksel durumu, çoğu zaman standart malzeme çözümlerine uyum göstermeyebilir. Bu nedenle, güneş pili sisteminin kurulacağı yapıların iyi analiz edilmesi, kullanılmış olan inşaat teknikleri ve malzemelerine uygun güneş pili sistemlerinin seçilmesi gerekir.

İstenen düzeyde enerji üretim performansı sağlanabilmesi için, yapının içerdiği fonksiyon şeması da iyi değerlendirilmeli, yapıda enerji kullanımının yoğun olduğu saatler ve senelik enerji kullanımı tespit edilmelidir. Yapının sağlayabileceği panel yüzeyine göre de sistem seçimine gidilmelidir. Özellikle küçük m²'lerde uygulama yapılıyorsa, yüksek performanslı güneş pili panelleri tercih edilmelidir.(örn. performansları %15 - % 20 olarak tespit edilmiş olan metal plaka üzerine monte edilmiş opak güneş pili panelleri)

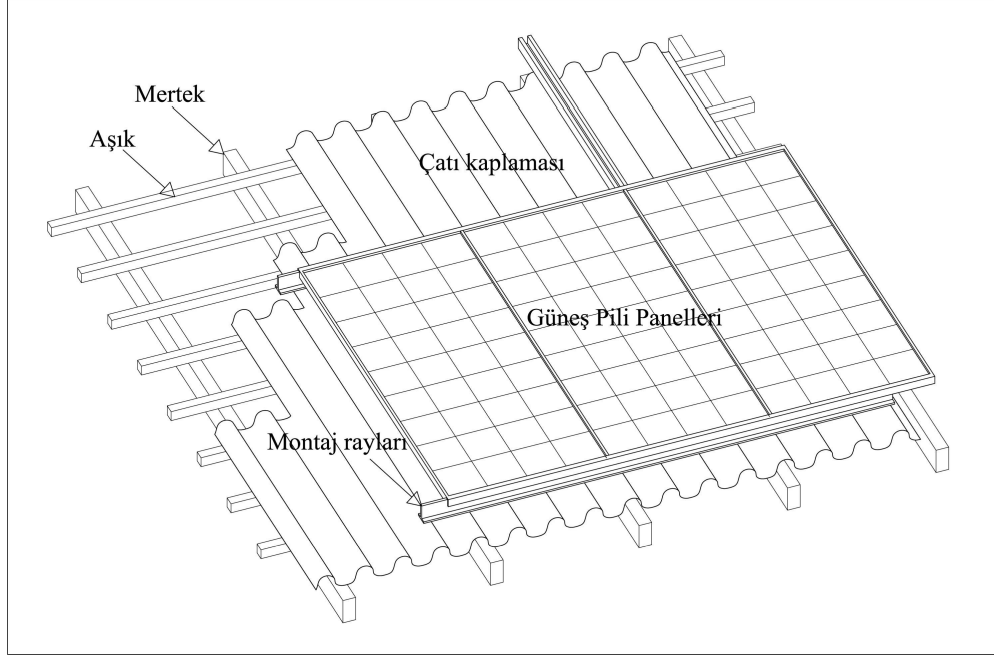
Mevcut yapı üzerinde güneş pili panellerinin bütünleştirilebileceği noktalar; çatılar,giydirmce cephe panelleri,cephede yer alan güneş kırıcı, yağmur perdesi gibi elemanlar ve pencerelerdir.

5.1.1. Güneş pili panellerinin mevcut çatı sistemi ile bütünleştirilmesi

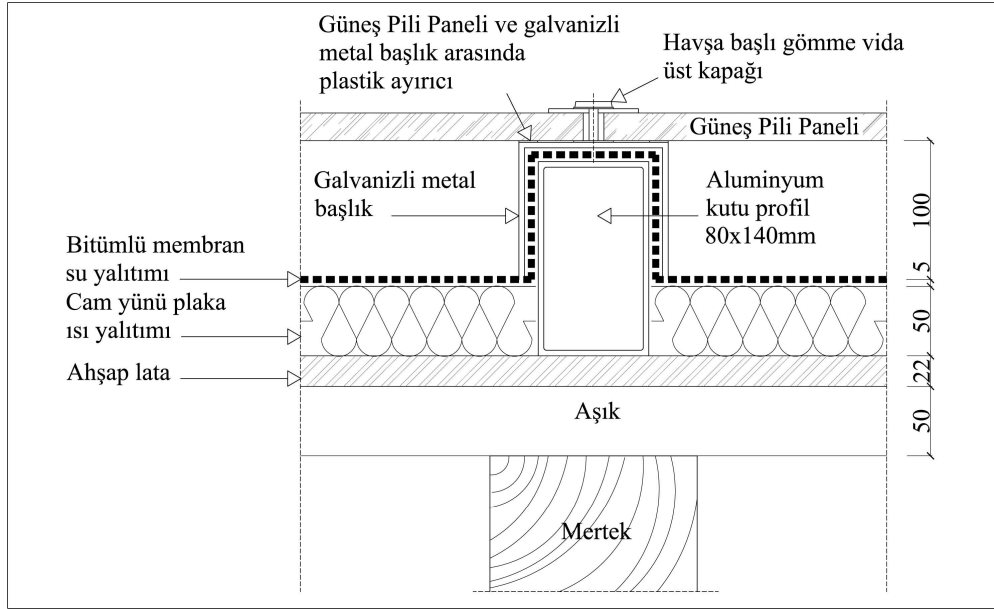
Çatılarda kullanılabilecek güneş pili panelleri iki tiptir:

1. Bir çerçeveye oturan ya da metal plakalara uygulanan saydam, yarı saydam ya da opak güneş pili panelleri
2. Mevcut parçalı örtü malzemesiyle birlikte ya da onun yerine çatıya döşenen parçalı örtü malzemesi modüllerine uygun ölçü ve detayda üretilmiş güneş pili çatı levhaları

İlk seçenekte taşıyıcı sistemin yük dayanımı kontrol edilmelidir. Bölüm 4.2.1.'de bahsedilen, rüzgar ve kar yüklerinden kaynaklanan zorlamalar kadar, bağlanacak yeni malzemenin getireceği ekstra malzeme ve altyapı yükleri de alttaki çatı taşıyıcı sistemi tarafından karşılanabiliyor olmalıdır. Bunların yanısıra, panel boyutlarının mevcut sisteme adapte edilebiliyor olması gerekir. Paneller, mertekler üzerine bağlanan montaj raylarına ya da oluşturulacak taşıyıcı çerçevelere takılırlar. Şekil 5.1'de mevcut oluklu panel kaplı çatı üzerine güneş pili paneli montaj prensibi görülmektedir. Güneş pili panellerinin altında 10 cm'lik bir havalandırma boşluğu bırakılarak altta latalar üzerinde su ve ısı izolasyonu döşenmesi gereklidir. Havalandırma boşluğu, panellerin arka yüzeylerinde 80 C°'a kadar yükselen sıcaklığın bitümlü membran yalıtımı eriterek bozmasına engel olur. Şekil 5.2'de mevcut çatı taşıyıcı sistemi üzerine güneş pili paneli montajı prensip detayı görülmektedir.



Şekil 5.1: Mevcut oluklu panel kaplı çatı üzerine güneş pili paneli montajı



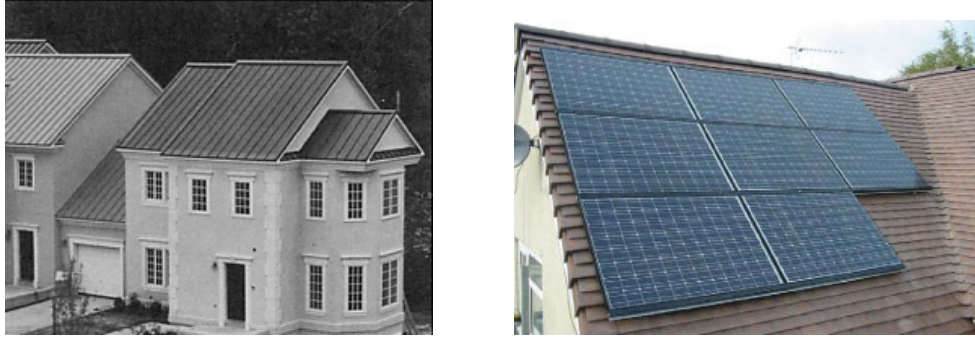
Şekil 5.2: Mevcut çatı taşıyıcı sistemi üzerine güneş pili paneli montajı prensip detayı.

Çatı tiplerine göre kullanılabilecek güneş pili sistemi tipleri aşağıdaki gibidir;

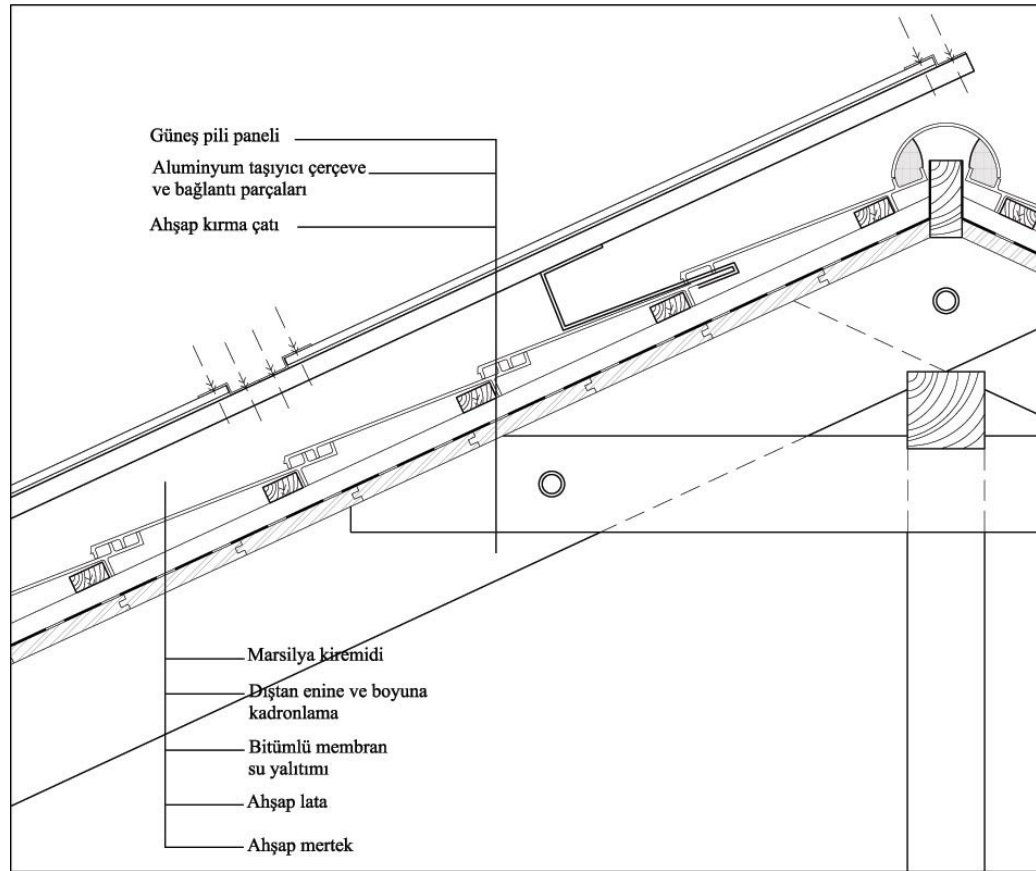
Eğik çatılar;

1. Güneş pili panelleri ; Mevcut taşıyıcı sistemle bütünleştirilerek, dik kenet çatılarda, bölüm 3.2.3’de de örneği görülen, kenet birleşimli metal levhalar üzerine

uygulanan amorf silisyum veya parçalı örtü malzemeli eğik çatılarda kristal silisyum paneller kullanılabilir (Şekil 5.4).



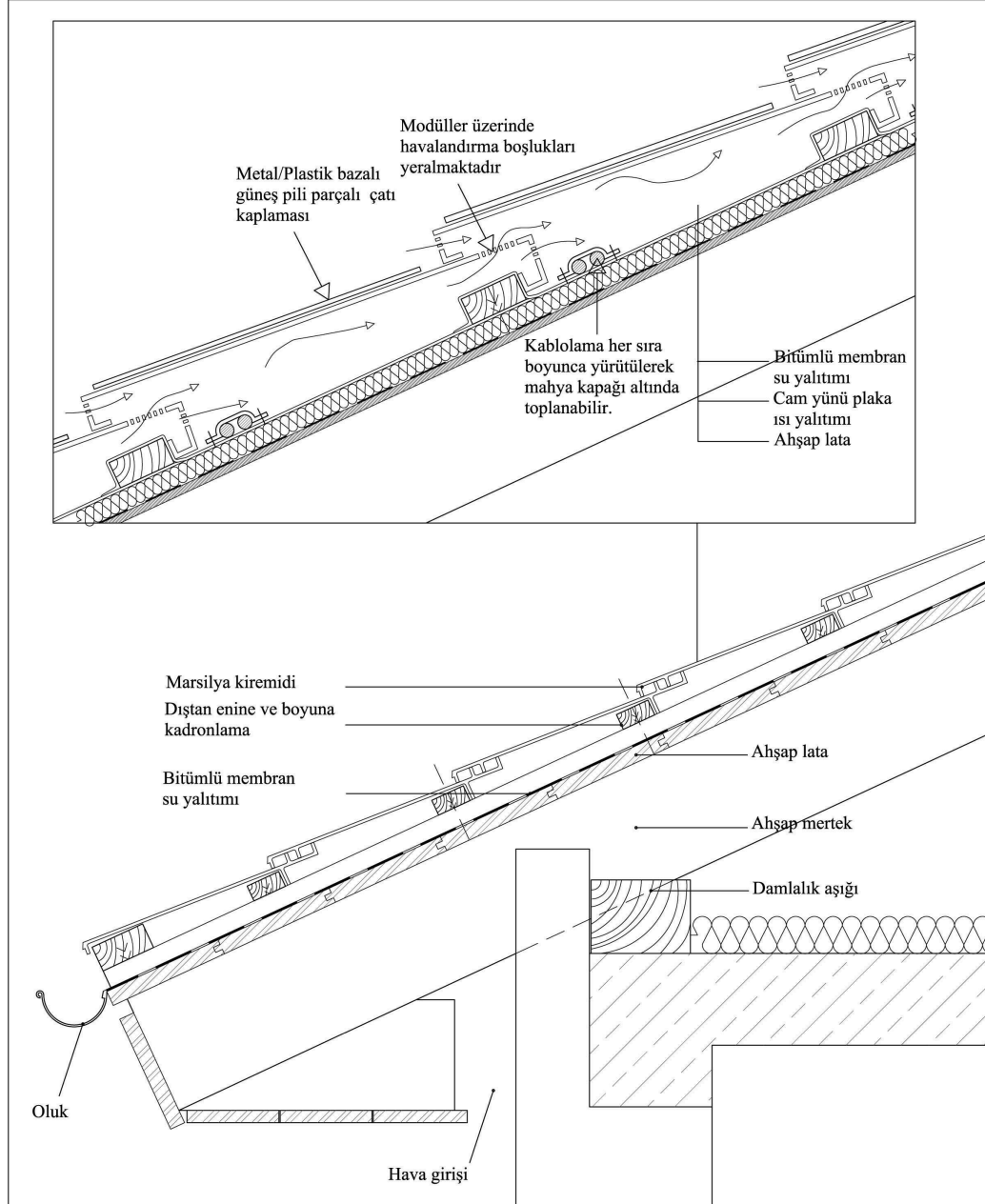
Şekil 5.3: Eğik çatılarda güneş pili paneli uygulama örnekleri



Şekil 5.4: Kiremit kaplı kırma çatılarda güneş pili paneli uygulama detayı

2. Güneş pili parçalı çatı kaplamaları; metal, plastik ya da sentetik plakalar üzerine uygulanan kristal silisyumdan ya da amorf silisyumdan oluşurlar. Montaj ve birbirleriyle kenetlenme detayları yönünden, hem kiremitlerle hem de diğer parçalı kaplama sistemleriyle uyumlu farklı tipleri mevcuttur. Bu sayede, tercihe göre hem

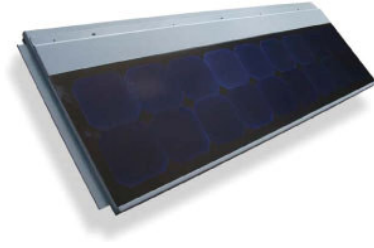
bölgesel hem de bütün çatı üzerinde uygulama yapma olanağı sağlarlar. Piyasadan sağlanması ve yerinde uygulanması en kolay olan güneş pili paneli tipidir. Herhangi bir çatı ustası güneş pili parçalı çatı kaplamalarının uygulamasını rahatlıkla gerçekleştirebilir. Şekil 5.5'te güneş pili parçalı çatı kaplamalarının montaj prensip detayı görülmektedir.



Şekil 5.5: Güneş pili çatı levha kaplamaları montaj prensip detayı.

Güneş pili parçalı çatı kaplamalarının bir diğer özelliği de, yapının el değiştirmesi gibi mülkiyet sorunlarında rahatlıkla yerinden sökülüp başka bir çatıya yeniden

monte edilmelerinin kolay oluşudur. Bu özellikleri, kullanıcının yatırımını gittiği her yere taşıyabilmesini ve ikinci el güneş pili pazarının oluşmasını sağlayarak güneş pili sistemlerini daha ucuz ve cazip kılacak bir unsurdur [14]. Şekil 5.6 ve Şekil 5.7’de hem kristal silisyum hem de amorf silisyumla üretilmiş güneş pili parçalı çatı kaplama örnekleri görülmektedir.



Şekil 5.6: Güneş pili parçalı çatı kaplama örnekleri



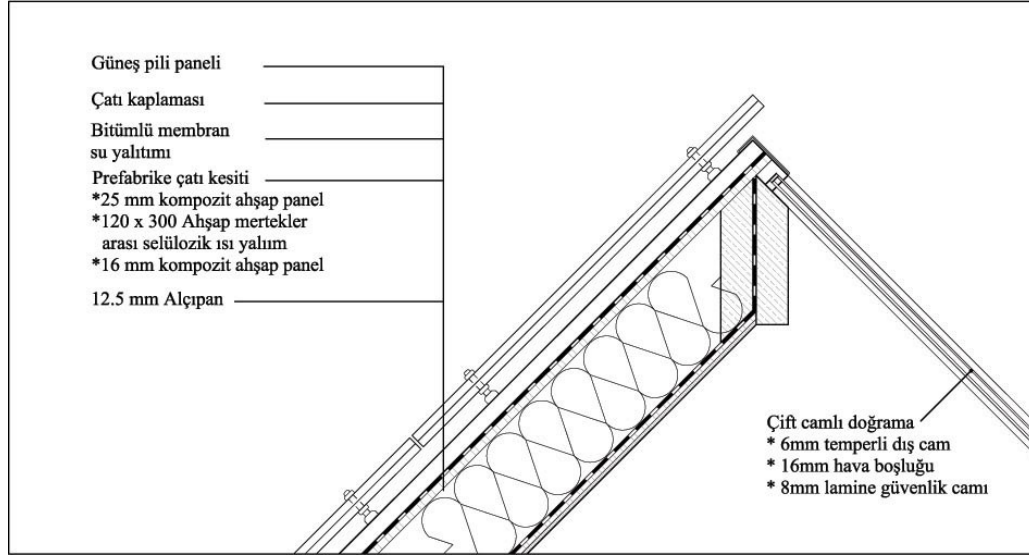
Şekil 5.7: Eğik çatılarda güneş pili parçalı çatı kaplama uygulama örnekleri (Bölüm 3.2.6)

Testere dişli çatılar ;

Testere dişli çatılar, yapı içine daha fazla güneş ışığı almak amacıyla yapılan çatılardır. Kuzeye bakan ışıklıklarında yarı saydam ya da saydam, güneye bakan eğimli yüzeylerinde de opak güneş pili panelleri kullanılması mümkündür.



Şekil 5.8: Testere dişli çatıda güneş pili paneli uygulama örneği (Bölüm 3.2.8)



Şekil 5.9: Testere dişli çatıda güneş pili paneli uygulama detayı

Eğrisel çatı ;

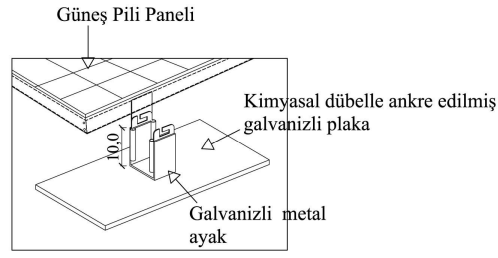
Eğrisel çatılarda metal sac veya sentetik esnek malzemeye uygulanmış amorf silisyum, ince film ya da eğrisel düzenlenmiş opak, yarı saydam veya saydam rijid güneş pili modülleri kullanılmaktadır.



Şekil 5.10: Eğrisel çatıda güneş pili paneli uygulama örneği (Hollanda)

Teras çatılar;

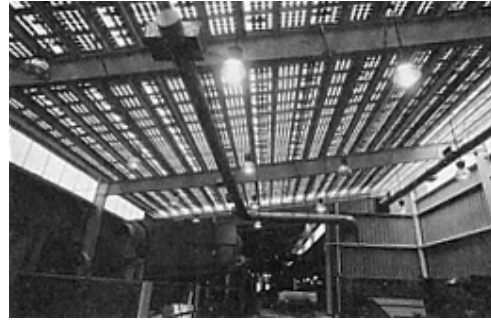
Teras çatılarda alüminyum ya da paslanmaz çelik ayaklarla zemine bağlanan, kendi içinde 5° eğimli alüminyum ya da paslanmaz çelik çerçeveli opak güneş pili panelleri kullanılmaktadır (Şekil 5.11).



Şekil 5.11: Teras çatıda güneş pili paneli uygulama örneği ve montaj detayı (A.B.D.)

Cam çatılar ve çatı ıslıklıkları ;

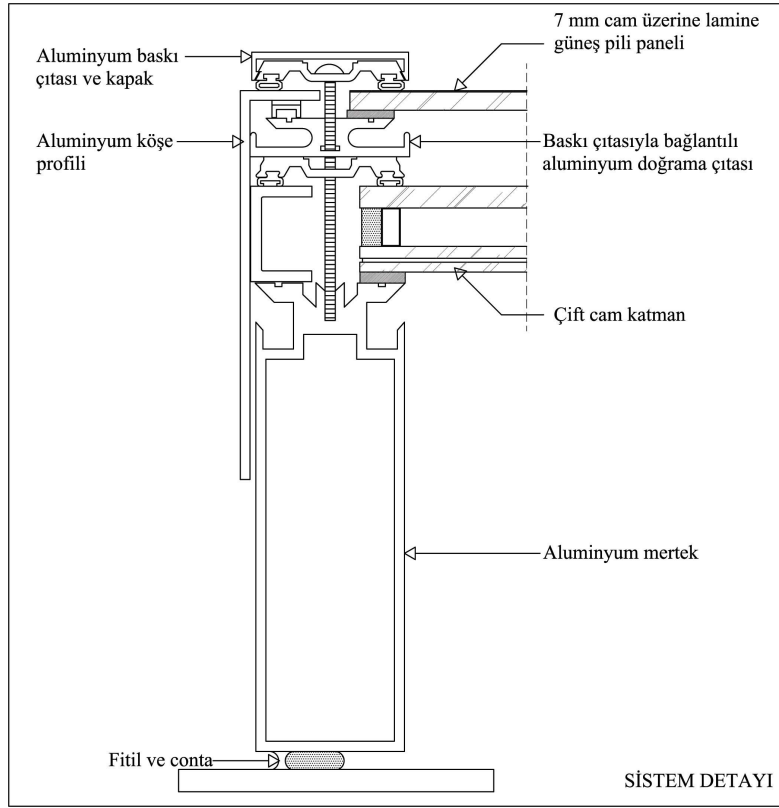
Cam çatılar ve çatı ıslıklıklarında, cam veya polikarbonat levha üzerine lamine kristal silisyum ya da saydam/yarı saydam amorf silisyum güneş pili panelleri kullanılmaktadır (Şekil 5.12).



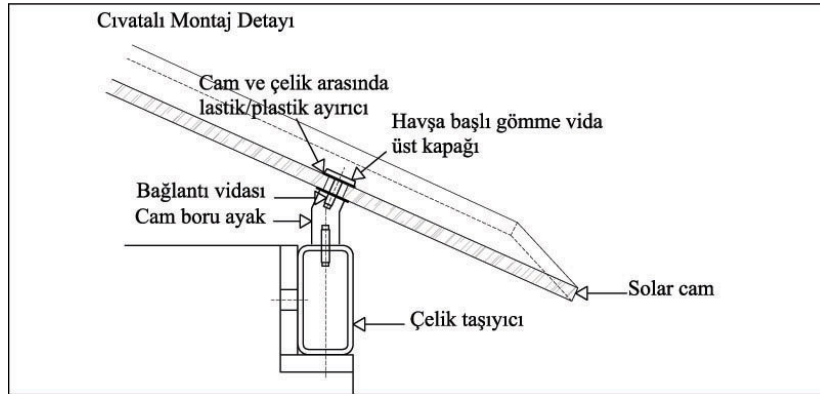
Şekil 5.12: Saydam/Yarı saydam güneş pili paneli uygulama örnekleri (Bölüm 3.2.4)

Bunlar dışında, rüzgarlık ya da pergolaların güneş pili panelleriyle oluşturulması (Şekil 5.13), kış bahçesi gibi ışık geçirimli örtülerde saydam/yarı saydam ince film uygulamasına gidilmesi, mevcut çatı pencereleri, çatı çıkış kapaklarının saydam/yarı saydam güneş pili panelleri ya da ince film uygulamalarıyla sisteme dahil edilmesi mümkündür. Şekil 5.14’de saydam/yarı saydam güneş pili panelinin bir pergola strüktürüne cıvatalı montaj detayı görülmektedir.

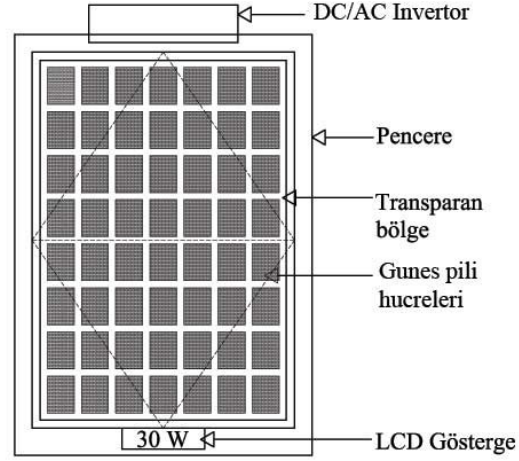
Çatılarda modüler sistem olarak kullanılmakta olan güneş pili çatı pencereleri de pazarlama ve uygulama kolaylığına sahip, geliştirilme çalışmaları devam eden güneş pili sistemlerinden biridir. Güneş pili çatı pencerelerine yönelik İsviçre’de gerçekleştirilen bir çalışma, bölüm 3.2.9’da yer almaktadır (Şekil 5.15).



Şekil 5.13: Alüminyum doğramalı saydam/yarı saydam güneş pili paneli pergola saçacağı montaj detayı (Bölüm 3.2.11)



Şekil 5.14: Cıvatalı saydam/yarı saydam güneş pili paneli pergola saçacağı montaj detayı



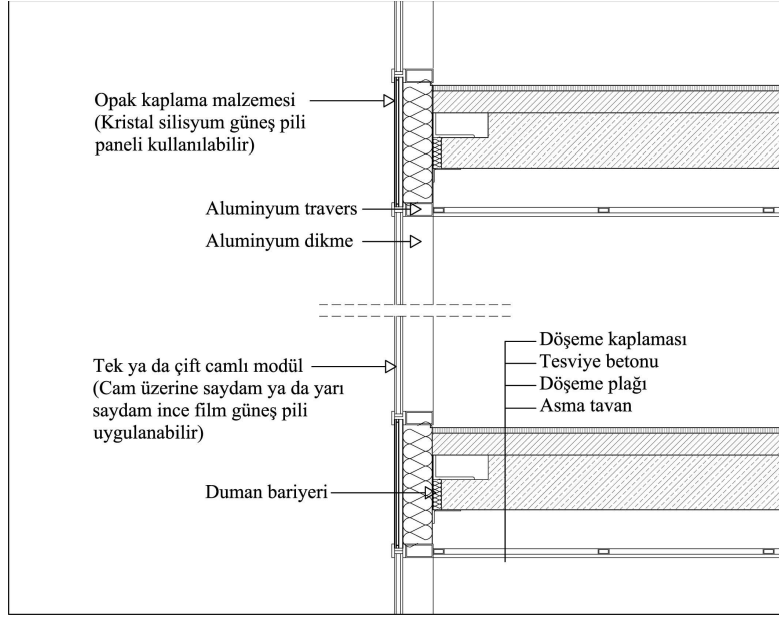
Şekil 5.15: Çatı penceresine yarı saydam güneş pili panel uygulama örneği (Bölüm 3.2.9) [19]

5.1.2. Güneş pili panellerinin mevcut cephe sistemi ile bütünleştirilmesi

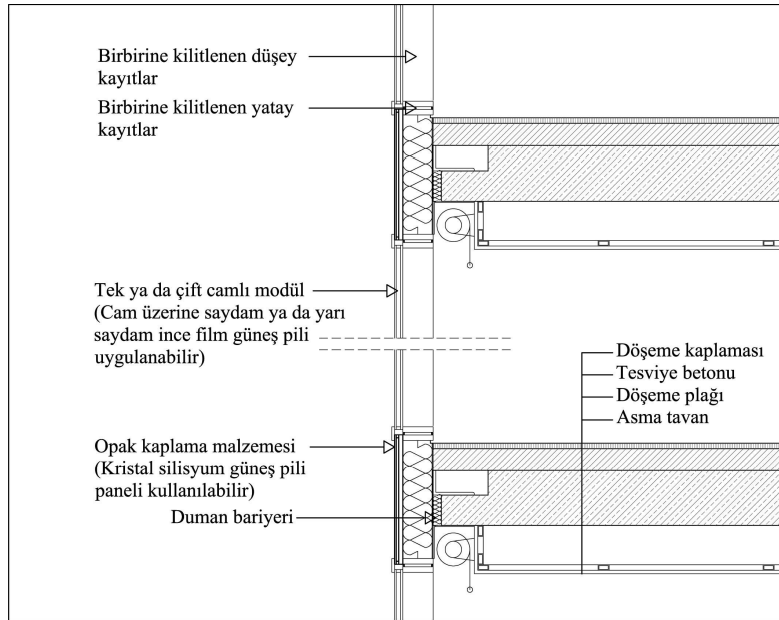
Mevcut cephelerle güneş pili panellerinin bütünleştirilmesinde kullanılmakta olan en yaygın yöntemler, giydirme cephe yapılarında cephe panellerinin güneş pili panelleriyle yer değiştirmesi veya yağmur perdelerinin güneş pili panelleriyle oluşturulmasıdır. Giydirme cephelerin taşıyıcı sistemleri ve bağlantı detayları cephenin düşey düzlemsel, kırıklı veya açılı eğimli yüzeyli olmasına göre değişkenlik gösterebilir. Ancak tüm cephe formlarında standart paneller yerine kat kalınlıklarında opak, parapet ve pencere hizalarında yarı saydam ve saydam ince film güneş pili panellerinin kullanılması mümkündür.

Cam giydirme cephelerde, panel birleşim detayı cephenin önüretimli modüler cam panellerden ya da sahada birleştirilen cam panellerden oluşmasına göre değişkenlik gösterir. Şekil 5.16'da sahada birleştirilen cam cephe prensip kesiti görülmektedir. Bu tip cam cepheler, beş veya altı kata kadar yükselen yapılarda, sahada montaj ve çok çeşitli modülasyon olanakları sağladığı için tasarım esnekliği ve ekonomiklik açısından daha çok tercih edilebilen bir sistemdir. Diğer taraftan, önüretimli modüler cam cepheler de yüksek yapılarda uygulama kolaylığı ve kalite garantisi sağlayan sistemlerdir. Modüllerin alt katlardan başlayarak yukarı doğru ve yanyana dizilerek birbirlerine kilitlenmeleri yoluyla cephe oluşturulmaktadır [25]. Şekil 5.17'de önüretimli cam giydirme cephe detayı görülmektedir. Her iki cam giydirme cephe sisteminde de saydam ve yarı saydam ince filmler dıştaki cam cidarın dış yüzeyine

lamine edilerek uygulanabilirler. Kat kalınlıklarına denk gelen cephe modüllerinde de yarı saydam veya opak güneş pili panelleri uygulanabilir. Panellerin kablo bağlantıları taşıyıcı dikmelerin içinden ya da benzeri şekilde oluşturulacak şaftlardan yürütülerek çözümlenebilir. Cepheelerde bu tip uygulamalar tasarlanırken, cephenin rahat temizlenebilmesine izin verecek çıkış noktaları sağlanmalıdır. Panel yüzeylerinin temizlenememesi verimi düşürecek önemli bir etkidir [8].



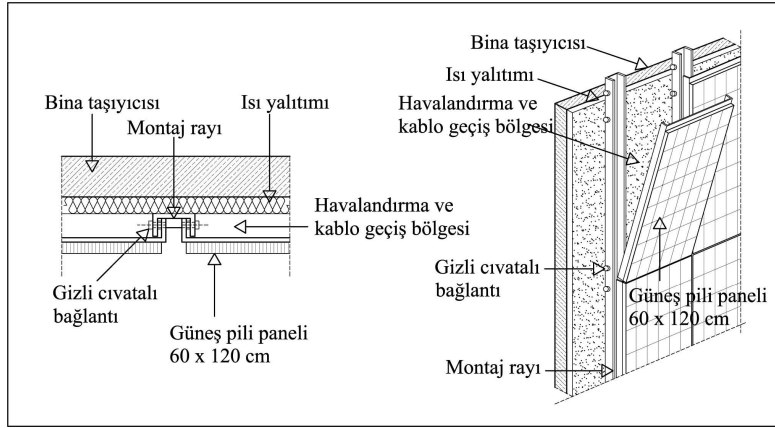
Şekil 5.16: Sahada birleştirilen cam giydirme cephe prensip kesiti



Şekil 5.17: Önüretimli cam giydirme cephe prensip kesiti

Mevcut yapı cephesine güneş pili panellerinin entegrasyonunda, yapı üzerinde oluşturulacak yağmur perdeleri ve güneş kırıcılar da sıkça tercih edilen yöntemlerdir.

Yağmur perdeleri; Yağmur perdeleri, yapı üzerine monte edilen taşıyıcı ızgaraya ya da montaj raylarına, tercihen klipslerle ya da tırnaklı geçme detaylarıyla bağlanan panellerle oluşturulan, yapıyı hava koşullarının olumsuz etkilerinden koruyucu katmanlardır. Yağmur perdelerinin oluşturulmasında panellerle yapı arasında minimum 10 cm hava boşluğu bırakılması gerekir [9]. Hava boşluğu, panellerin arkasında havalandırma ve su tahliyesi sağladığı gibi, güneş pili panellerinin arasında kurulması gereken kablo geçişleri için de ideal bir alan oluşturur. Şekil 5.18’de güneş pili panelleriyle yağmur perdelerinin oluşturulma prensibi görülmektedir.

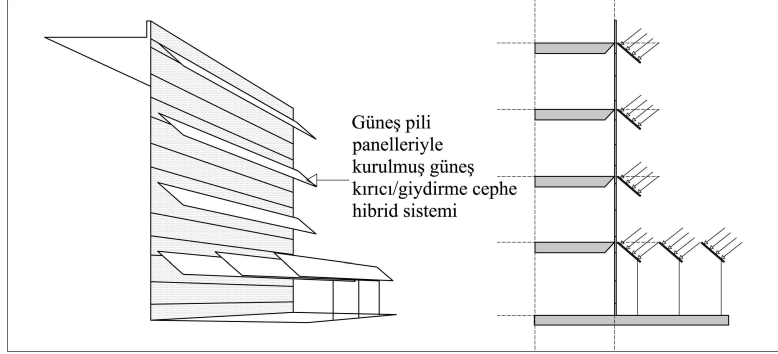


Şekil 5.18: Güneş pili panelleriyle yağmur perdelerinin oluşturulma prensibi

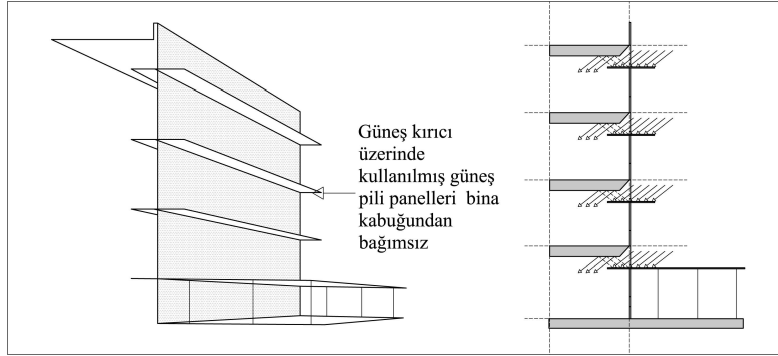
Güneş kırıcılar; yapıya gelen güneş ışığının kontrolünü sağlayan güneş kırıcılar, güneş pili panellerinin yapıyla bütünleştirilmesinde en sık kullanılan yöntemlerden biridir. Güneş pili panellerinin güneş kırıcılarda kullanılması, panellerde açığa çıkan ısıнын yapıya akışını engelleyeceği için, yapının soğutma yüklerini de hafifletmektedir. Bu da enerji tüketiminin minimize edilmesi açısından önemli bir avantaj sağlamaktadır.

Güneş kırıcılar, opak ya da ince film amorf silisyum panellerden oluşturulabilir. Paneller sabit ya da güneş ışınlarının geliş açısına göre hareketli olabilir. Güneş kırıcının hareketli olarak tasarlanması güneş pili panellerinin performansının yükselmesini sağlar.

Güneş ışınlarına olan açısal uygunlukları nedeniyle daha çok yatay güneş kırıncılar üzerinde güneş pili panel uygulaması yapılmaktadır. Şekil 5.19 ve Şekil 5.20’de güneş pili panellerin güneş kırıncılarda kullanış seçenekleri görülmektedir.



Şekil 5.19: Güneş pili panelli yatay güneş kırıcı ve giydirme cephe hibrid sistem [8]



Şekil 5.20: Yapı kabuğundan bağımsız güneş pili panelli yatay güneş kırıcı sistemi [8]

Cephedeki açıklıklardan da yararlanılmak isteniyorsa, kısmi ışık ve görüntü geçirimli amorf silisyum kaplı malzeme uygulamaları ya da pencere düzenlemelerine gidilebilir.

Mevcut yapı koşullarıyla güneş pili panellerinin bütünleştirilmesinde önemli bir diğer nokta da teknik altyapı için gerekli hacimlerin yaratılmasıdır. Kurulacak panel sisteminden regülatöre, aküye ya da invertöre kadar gerekli hat kurulumlarının doğru yapılabilmesi, kurulan teknik altyapının dış koşullardan etkilenmemesinin sağlanması gerekir.

5.2. Yeni Yapıların Tasarımında Güneş Pili Panellerinin Kullanılması

Güneş pillerinin yeni yapılacak bir yapının parçası olarak tasarlanması, mevcut yapı üzerinde yapılacak uygulamalara göre bazı avantajlar taşımaktadır. Mimari tasarımın sistemin performansını arttıracak şekilde kurgulanması mümkündür. Yapının güneşe göre yönelişi, formu ve detayları, güneş pili panellerine uygun olarak tasarlanabilir.

5.2.1. Yapı çatısının doğrudan güneş pili panellerinden oluşturulması

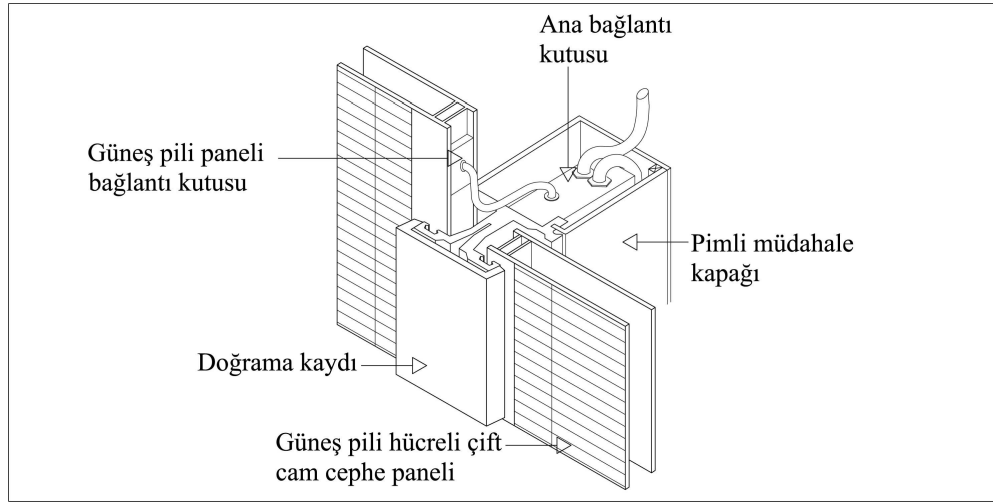
Yeni tasarlanmakta olan bir yapının çatısında uygulanabilecek güneş pili paneli tipleri mevcut yapıda kullanılanlardan farklı değildir. Ancak farklı olan şey, mevcut bir yapının koşullarına bağımlı kalınması zorunluluğu bulunmadığı için tasarımda ve sistem seçiminde daha özgür davranılabilmektedir. Yapının öngörülen fonksiyon şeması uyarınca hesaplanacak enerji ihtiyacı doğrultusunda ve montaj yüzeyine uygun bir panel tipi seçilmelidir. Çatı taşıyıcı sistemi de seçilen panel tipinin getireceği yüklere, montaj detaylarına göre oluşturulmalıdır. (bkz. Bölüm 4.1.2)

5.2.2. Yapı cephesinin doğrudan güneş pili panellerinden oluşturulması

Yapı cephesi, dış ortam ile iç ortamı birbirinden ayıran, iç mekan konfor koşullarının sağlanmasında ve kontrolünde birinci derecede rolü olan bir yapı alt bileşenidir.

Doğrudan güneş pili panelleriyle oluşturulan yapı cephelerinde en yaygın kullanılan sistem, giydirme cephe sistemleridir. Giydirme cepheler, özellikle çok katlı ofis binalarında kullanılmaktadırlar. Güneş pili panelleri, hem opak hem de saydam modüllere fabrika üretim aşamasında çift cidarlı panel sistemiyle rahatlıkla entegre edilebilir. Dış cidar lamine cam-güneş pili-yalıtım-cam kompozit, iç cidar ise camdan oluşur. Arasında bırakılan hava boşluğu ile birlikte çift cidarlı bir panelin kalınlığı yaklaşık olarak 30 mm'dir [9]. Şekil 5.21'de giydirme cepheye ait birleşim detayı görülmektedir.

Giydirme cepheler, farklı güneş pili paneli tiplerinin birlikte kullanılabilesine oldukça elverişli cephe sistemleridir. Giydirme cephe tasarımında dikkat edilmesi gereken en önemli nokta, paneller arasındaki bağlantı kutularının ve kablo geçişlerinin uygun şekilde yerleştirilebilmesi, güç kaybına neden olmayacak şekilde çözülebilesidir.



Şekil 5.21: Güneş pili panelleriyle oluşturulan giydirme cephe birleşim detayı [9]

Giydirme cephe sistemlerinden sonra gelen bir diğer modüler cephe türü de betonarme prekast cephe elemanlarıdır. Çok katmanlı ağır asma paneller ve yalın ağır asma paneller olarak başlıca iki türde üretilirler. Betonarme prekast cephe panelleri, üzerlerine güneş pili panellerinin yerleştirilmesi açısından elverişli olmayan yapı sistemleridir. Önüretimli hazır elemanlar olarak fabrikadan çıkan paneller üzerine ikinci bir panel sisteminin asılması teknik zorluklar ve sakıncalar taşımaktadır. Betonarme prekast cephe sistemlerinin kullanıldığı bir yapıda güneş pili panellerinin cepheyle bütünleştirilmesinde, cephe panelleri haricindeki cephe elemanlarından ve çatılardan yararlanmak yoluna gidilmelidir.

Fonksiyonel kaygılar kadar estetik kaygılar da mimarın yapı kabuğunu şekillendirmesinde etkili olmaktadır. Cephenin doğrudan güneş pili panelleriyle oluşturulmasında uygulanabilecek form alternatiflerine bölüm 4.2.2’de değinilmektedir.

Güneş pili panelleriyle cephe tasarımında yapının formu kadar, uygulanacak panel sisteminin yapı kabuğundan beklenen performans kriterlerini de karşılayabilmesi önem taşır (Bkz. Bölüm 3.3). Panel-panel, bina-panel birleşimleri gereken hava, su ve ısı izolasyonunu sağlayabilmelidir. Mevcut bir yapı cephesiyle güneş pili panellerinin bütünleştirilmesinde yapı formundan doğabilecek sorunlar, tasarım aşamasında güneş pili panellerinden oluşturulması öngörülen bir yapı cephesinde rahatlıkla çözülebilmektedir. Hatta güneş pili sistem seçiminin yapı cephesinin formuna yansiyarak doğrudan etkileyebildiğini söylemek de mümkündür.

5.3. Güneş Pili Panellerinin Yapı Elemanları ile Bütünleştirilmesi

Güneş pili panelleri, yapı kabuğunun hemen her noktasında yapı kabuğu elemanları ve alt bileşenleriyle birlikte veya onların yerlerine kullanılabilirler. Gerek çatılarda gerekse cephelerde hem saydam hem de opak özellikte alt bileşenler birarada kullanılmaktadır. Bu durumda bir yapının kabuğunda birden fazla güneş pili panel tipinin uygulanması söz konusu olmaktadır. Önceki bölümlerde ve verilen örneklerde buna benzer durumlara değinilmektedir.

Yapı kabuğu üzerinde kullanıldıkları bölgelere ve yapı kabuğunun formuna göre güneş pili paneli tiplerinde, hammadde yönünden olduğu kadar biçim yönünden de değişkenlikler görülmektedir. Tablo 5.1’de, önceki bölümlerde değinilen bilgiler ışığında, üzerinde kullanıldıkları yapı kabuğu alt bileşenine, tipine ve fiziksel özelliklerine (formu, opak ya da saydam oluşu) göre güneş pili paneli tiplerinden hangilerinin tercih edilmesi gerektiğine dair bir sınıflandırma yapılmıştır.

Tablo 5.1.a:Yapı elemanları ve güneş pili paneli tipleri entegrasyon diyagramı (1)

KABUK BİLEŞENİ	ŞEKİL	ALT BİLEŞEN	YAPIM SİSTEMİ	(K) Kristal silisyum		(A) Amorf silisyum		(F) İnce film	
				(KP) Kristal silisyum panel	(KK) Kristal silisyum karo	(AP) Amorf silisyum esnek metal/plastik panel	(AC) Amorf silisyum cam/polikarbon lamine panel	(FY) Yarı saydam ince film + Cam	(FS) Sıydam ince film + Cam
ÇATI	EĞİK *Beşik çatı *Kırma çatı *Tek eğimli çatı *Mansard çatı *Haç çatı *Sed çatı *Çadır ve kule çatılar	OPAK	PARÇALI ÖRTÜ MALZEMELERİ	+	+	+			
			PANEL KAPLAMA	+		+	+		
			EĞİK B.A. PLAKLAR	+					
		SAYDAM/ YARI SAYDAM	ÇATI IŞIKLIKLARI				+	+	+
			ÇATI PENCERELERİ				+	+	+
		OPAK	PANEL KAPLAMA	+					
EĞRİSEL	DÜZ *Üzerinde gezilebilen *Üzerinde gezilemeyen	SAYDAM/ YARI SAYDAM	B.A. PLAKLAR	+					
			ÇATI IŞIKLIKLARI				+	+	+
		OPAK	ÇATI PENCERELERİ				+	+	+
			PREKAST PANELLER			+			
			EĞRİSEL B.A. PLAKLAR			+			
			ÖRGÜ						
		SAYDAM/ YARI SAYDAM	SAYDAM/YARI SAYDAM PANELLER				+	+	+
			ÇATI IŞIKLIKLARI				+	+	+
			ÇATI PENCERELERİ					+	+

Tablo 5.1b:Yapı elemanları ve güneş pili paneli tipleri entegrasyon diyagramı (2)

KABUK BİLEŞENİ	ŞEKİL	ALT BİLEŞEN	YAPIM SİSTEMİ	(K) Kristal silisyum		(A) Amorf silisyum		(F) İnce film	
				(KP) Kristal silisyum panel	(KK) Kristal silisyum karo	(AP) Amorf silisyum esnek metal/plastik panel	(AC) Amorf silisyum cam/polikarbon lamine panel	(FY) Yarı saydam ince film + Cam	(FS) Sıydam ince film + Cam
CEPHE	EĞİK	OPAK	ÖNÜRETİMLİ DUVAR SİSTEMLERİ	+		+	+		
			GIYDIRME CEPHELER	+		+	+		
		SAYDAM/ YARI SAYDAM	PENCERE/DOĞRAMA					+	+
	DÜZ	OPAK	CAM GIYDIRME CEPHELER					+	+
			ÖRGÜ DUVARLAR	+		+			
			ÖNÜRETİMLİ DUVAR SİSTEMLERİ	+		+			
GÜNEŞ KIRICILAR	YATAY	OPAK	GIYDIRME CEPHELER	+		+	+		
			PENCERE/DOĞRAMA					+	+
			CAM GIYDIRME CEPHELER					+	+
	DİKEY	OPAK		+		+	+		
			SAYDAM/ YARI SAYDAM					+	
			GIYDIRME CEPHELER	+		+	+		
KARMA	KARMA	OPAK	SAYDAM/ YARI SAYDAM			+	+		
			GIYDIRME CEPHELER	+		+	+		
			PENCERE/DOĞRAMA					+	

Tablolarda görüldüğü gibi güneş pilleri, kristal silisyum, amorf silisyum ve ince film olarak üç sınıfa ayrılmışlardır. Her bir güneş pili sınıfı kabuk bileşenleriyle eşleştirilerek o kabuk bileşeni üzerinde uygulanabilirlikleri gözden geçirilmiştir. Yukarıdaki tablolardan yola çıkarak aşağıdaki sonuçlara varmak mümkündür:

1. Kristal silisyum güneş pili panelleri; çatı, cephe ve güneş kırıcılarda opak yüzeylerde kaplama bileşeni ya da örtü sistemi bileşeni olarak kullanılırlar. Kristal silisyum karo sadece eğik çatıların opak yüzey kaplama bileşeni olarak kullanılır. Kristal silisyum panel ise tüm çatı, cephe ve güneş kırıcı tiplerinde kullanılabilir.
2. Amorf silisyum güneş pili panelleri esnek metal ya da plastik arkalıkla uygulanarak eğik ve eğrisel çatıların, eğik ve düz cephelerin, tüm güneş kırıcı tiplerinin opak yüzey kaplama bileşenleri olarak kullanılmakta, cam ya da polikarbon panellere lamine olarak uygulandığında ise çatılarda hem opak panel kaplama, hem de çatı ışıklığı, çatı penceresi ve saydam/yarı saydam panel gibi saydam ve yarı saydam yüzey bileşeni olarak kullanılabilir. Ayrıca cam ya da polikarbon panellere lamine olarak uygulanan amorf silisyum, tüm cephe tiplerinde önüretimli duvar sistemleri, giydirme cephelerde ve tüm güneş kırıcı tiplerinde opak yüzeylerde opak yüzey kaplama bileşeni olarak da kullanılabilirler. Bu da amorf silisyumun en esnek kullanıma sahip güneş pili panel tipi olduğunun göstergesidir.
3. İnce film güneş pili panelleri cam veya polikarbon paneller üzerine uygulanarak tüm çatı, cephe ve güneş kırıcı tiplerinde saydam ve yarı saydam yüzey alt bileşeni olarak kullanılırlar.

6. SONUÇLAR

Fosil yakıtları, Sanayi Devrimi'nin başlangıcından günümüze Dünya ekonomisinin belkemiği olagelmıştır. Diğer taraftan, fosil yakıtlarının sonsuz bir enerji kaynağı olmayışları, açığa çıkarttıkları toksik atıkların çevre kirliliğinin en büyük sebebini oluşturmaları, insanlığı daha temiz ve uzun vadeli enerji kaynağı arayışlarına itmiştir. Güneş, su ve rüzgar bu anlamda fosil yakıtlarına en uygun alternatifleri oluşturmaktadır.

Fotovoltaik prensibin keşfi ile güneş ışınlarından elektrik enerjisi üretimi olanağı doğmuştur. Son 30 yıldır güneş pili teknolojilerinin hızlı gelişimi, güneş ışınlarını geleceğin en temiz ve sürdürülebilir enerji kaynaklarından biri haline getirmiştir. Güneş pili panelleri yapı kabuğuyla bütünleşik olarak kullanılabilmekte, bağımsız konstrüksiyonlar üzerine takılabilmekte, istenirse şehir elektrik şebekesiyle bağlantılı, istenirse de şebekeden uzakta tek başına ya da başka enerji üreteçleriyle birlikte kullanılabilir.

Güneş pili sistemi tasarımında fizibilitenin yanı sıra, fonksiyon ve estetik adına doğru tasarımın yapılabilmesi de büyük önem taşır. Bunun gerçekleştirilmesi için öncelikle güneş pili paneli tiplerine, montaj tekniklerine ve hangi panel türünün yapı kabuğunun hangi bölgelerinde kullanılabileceğine dair bilgi edinilmesi gerekmektedir. Güneş pili panellerinin yapı kabuğuyla bütünleşik olarak kullanılma biçimleri Dünya'nın çeşitli ülkelerinden uygulamalarla örneklenmiş, sonraki bölümlerde güneş pillerinin yapı kabuğuyla bütünleştirilmesine yönelik verilecek bilgiler için somut bir zemin hazırlanması amaçlanmıştır.

Seçilecek sistemin yerini aldığı yapı elemanının tüm performans kriterlerini de karşılayabilmesi çok önemlidir. Bunu vurgulamak açısından, öncelikle yapı kabuğunu oluşturan alt elemanlar ele alınmış, performans kriterleri ortaya konmuş ve güneş pili panellerinin yerini alabileceği yapı elemanları alt bileşenleri incelenmiştir.

Güneş pili sistemi uygulamaları hem mevcut yapı kabuklarında hem de yeni tasarlanan yapı kabuklarında gerçekleştirilebilmektedir. Yeni tasarlanan bir yapıda güneş pili sistemi tasarımının mevcut bir yapıda yapılacak uygulamaya göre bazı avantajları vardır. Yapı tasarımı aşamasında güneş pili sistemi kullanımı öngörülmesi halinde, yapının formu, yönelişi, taşıyıcı sistemi ve diğer yapısal özellikleri güneş pili sistemlerine göre şekillenecektir. Bu da mevcut yapılarda gerçekleştirilen güneş pili sistemi bütünleştirme çalışmalarında yaşanabilecek uyum problemlerinin ve performans düşüşlerinin, bir yapının kabuğunun tasarımı aşamasında doğrudan güneş pili panelleriyle oluşturulmasının öngörülmesi durumunda yaşanmayacağı anlamına gelir.

Yapılan kaynak araştırmalarında karşılaşılan belli başlı prensipler aşağıdaki gibidir:

1. Güneş pili sistemleri, ister kırsal kesim olsun, ister yoğun şehir merkezi merkezi, her türlü yerleşim çevresinde kullanılabilmektedir.
2. Güneş pili sistemleri hem malzeme bazında, hem de önüretimli kabuk sistemi alt elemanı bazında uygulanabilmektedir. Bu durum güneş pilleri için sonsuz uygulama esnekliği sağlamaktadır. (Cama ya da yumuşak metale lamine amorf silisyumdan, invertörü ve göstergesiyle paket olarak üretilen çatı penceresi ünitelerine kadar geniş bir yelpaze söz konusudur.)
3. Güneş pili hücrelerinin standart giydirme cephe ya da çatı kaplama modülleri üzerine veya bu modüllerin birleşim detaylarıyla uygulanabiliyor oluşu, pekçok yalıtım ve uyum problemini ortadan kaldırmaktadır. Bu durum, mevcut yapıların kabuk malzemelerinin güneş pili modülleriyle değiştirilmelerini mümkün kılmaktadır.
4. Güneş pili sisteminin tasarımında ön planda tutulması gereken prensipler (güneş ışınım değerleri ve açısına, çevredeki gölge yaratan öğelere ya da hakim rüzgarlara uygun yerleşim) her zaman tasarımcının estetik öngörülerıyla uyuşmayabilmektedir. Ancak bunun, sistem verimini olumsuz etkileyeceği unutulmamalı, mimari tasarım ve verimli sistem kurulumu arasında denge sağlanmalıdır.

5. Çatılar güneş pili panelleri için ideal güneşe bakış açısını sağlarken, cepheler de çok daha geniş yüzeyler sunarlar.

Diğer taraftan, güneş pillerinin gelişimi ve Türkiye koşullarına uyarlanabilmesi yönünden atılabilecek adımlar bulunmaktadır:

1. Türkiye'nin farklı iklim bölgeleri için güneş pillerinin verimlerinin tespit edilmesi, fizibilitelerinin araştırılması.
2. Türkiye'de yaygın olarak kullanılmakta olan inşaat teknikleri ve bina tipolojilerinin güneş pili panelleriyle bütünleştirilebilme olanaklarının incelenmesi.
3. Güneş pili sistemlerinin yaygınlaştırılması ve ucuzlatılması amacıyla Devlet destekli toplu konut projelerinde ve diğer projelerde kullanılabilmeye olanaklarının araştırılması.

Güneş ışıınımı yönünden pekçok ülkeden daha şanslı durumda olan ülkemizde güneş pili sistemleri henüz pazar bulamamışlardır. Bunun en önemli sebebi, güneş pili sistemlerinin henüz oldukça yüksek maliyetli teknolojiler olmalarıdır. Avrupa ve A.B.D.'de de bu bir problemdir ve güneş pili sistemlerinin maliyetlerinin aşağı çekilmesi için çalışmalar devam etmektedir.

Güneş pili sistemlerinin Türkiye'de henüz kullanılmıyor olmasının diğer bir sebebi ise, bu teknolojinin pek fazla tanınmıyor olmasıdır. Temiz enerji kavramı, ülkemizde yeni yeni tanınmaya başlayan bir kavramdır. Güneş enerjisi kullanımı, bazı bölgelerimizde çatılara yerleştirilen su ısıtıcı güneş kolektörleriyle sınırlıdır.

Daha önce de belirtildiği üzere, güneş pili sistemi uygulamaları mimari tasarım aşamasında öngörülebileceği gibi, mevcut bir yapı üzerinde de gerçekleştirilebilmektedir. Her iki durumda da, yapıya ve yapının fiziksel çevresine ait verilerin toplanması ve analiz edilmesi gereklidir. İngiltere, A.B.D. gibi ülkelerde, güneş pillerinin o bölgelerdeki performanslarının ölçülmesine yönelik çalışmalar yürütülmekte, özellikle yapı elemanları alt bileşenleriyle bütünleştirilmiş güneş pillerinin tasarımında kullanılmak üzere çeşitli simulasyon programları

geliştirilmektedir. Bu tip çalışmaların Türkiye koşulları gözönünde bulundurularak güncellenmesi durumunda, ülkemiz koşullarında güneş pillerinin fizibilitesine dair somut verilerin elde edilmesi mümkün olabilecektir.

Ülkemizde yürütölmekte olan pekçok devlet destekli toplu konut projesi mevcuttur ve toplumun güneş pilleri ile tanışması adına bu projelerden yararlanılması mümkündür. Bu konuda A.B.D. ve Almanya'da örnek çalışmalar yapılmaktadır. Devlet destekli geliştirilen toplu konut projelerinde güneş pili paneli sistemleri uygulanarak hem kullanıcı başına düşen maliyeti minimize edilmiş temiz enerji kullanımı, hem de uzun dönemde büyük kamusal yarar sağlanmaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] **Santamouris M. ve Hestnes A. G.**, 2002. Office passive retrofitting of office buildings to improve their energy performance and indoor working conditions, *Building and Environment*, 6, s. 555-556
- [2] **Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü Güneş Enerjisi Şubesi**, EİE'nin Güneş Enerjisi Çalışmaları, <http://www.eie.gov.tr/turkce/gunes/eiegunes.html>
- [3] **Giro Solar Ltd. Türkiye**, Yurtiçi ve yurtdışı projeler, Galeri, <http://www.girosolar.com.tr>
- [4] **Ezinç Metal A.Ş.**, <http://www.ezincmetal.com>
- [5] **Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsü**, <http://www.eusolar.ege.edu.tr>
- [6] **Solar Design Associates and the Renewable Energy Laboratory**, 1997. Photovoltaics in the Built Environment, A Design Guide for Architects and Engineers, U.S. Department of Energy, Washington, s. 65, 69, 72, 77, 124, 148
- [7] **Çelebi G.**, 2002. Bina Düşey Kabuğunda Fotovoltaik Panellerin Kullanım İlkeleri, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, Cilt 17, No 3, s. 19
- [8] **Eilfert P., Ph.D., Kiss, G. J.**, 2000. Building Integrated Photovoltaic Design for Commercial and Institutional Structures, A Source Book for Architects, U.S. Department of Energy , s. 58,63.
- [9] **Max Fordham&Partners in Assosiation with Fielden Clegg Architects**, 1999. Photovoltaics in Buildings, A Design Guide, London, s. 15-21,26,27.
- [10] **LBNL Laboratory**, 2005. Energy Plus, Input-Output Reference, s. 1054-1055.

- [11] **Borand B.**, 1997. Mevcut Binalarda Güneş Enerjisinden Yararlanmak için İyileştirme Önerileri, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [12] **Türkiye Bilisel ve Teknolojik Araştırmalar Kurumu İnşaat Teknolojileri Araştırma Grubu**, 1995. Enerji Etkin Konut ve Yerleşme Tasarımı, *Araştırma Projesi*, TÜBİTAK, İstanbul.
- [13] **Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü**, Güneş Işınımı, <http://www.eie.gov.tr/turkce/gunes/gunesisinim.html>
- [14] **Bahaj A.S. and James P.A.B.**, 1998. Photovoltaic Roof Tiles: Design and Integration in Buildings, *Proceedings of A BEPAC+EPSRC Conference*, Abingdon, England, February 1997, s. 4. <http://www.energy.soton.ac.uk/publications/bepac.pdf>
- [15] **Yoo S. ve Lee T.**, 2002. Efficiency characteristics of building integrated photovoltaics as a shading device, *Building and Environment*, 6, s. 615-623.
- [16] **Natural Resources Canada**, Photovoltaic: Integrating Photovoltaic Arrays in Buildings, http://www.canren.gc.ca/tech_appl/index.asp?CaID=5&PgID=266
- [17] **Yoo S., Lee J. ve Lee T.**, 1998. Building Integrated Photovoltaics: A Korean case study, *Solar Energy*, 4-6, s. 151-161.
- [18] **Baumgartner F. P. and Sutter D.**, 1997. The Solar Roof Window, *14th European Photovoltaic Solar Energy Conference*, Barcelona, Spain, 30 June-4 July 1997.
- [19] **Binan M., Prof. Dr.**, 1990. Ahşap Çatılar, İstanbul, s. 3-6, 11-13.
- [20] **Nashed F.**, 1996. Time Saver Details for Exterior Wall Design, AIA, McGraw-Hill Companies, New York, s. 3-26.
- [21] **Johnson T. E.**, 1981. Solar Architecture, The Direct Gain Approach, Massachusetts Institute of Technology, s. 86.

- [22] **Gugliermetti F. ve Bisegna F.**, 2006. Daylighting with external shading devices; design and simulation algorithms, *Building and Environment*, 2, s. 136-149.
- [23] **Timoçin A. S.**, 2001. Bina Cephe Oluşumu ve Bina Ekonomisi Açısından Güneş Kontrol Sistemlerinin İrdelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [24] **Rıfat S.B., Ömer S.A., Wilson R.**, 2001. Monitoring of PV systems at the centre for renewable energy and eco-energy house; School of Built Environment, University of Nottingham, s.4.
- [25] **Watts A.**, 2005. Modern Construction Facades, Holzhausen Druck&Medien GmbH, Viyana, s. 66-72.

ÖZGEÇMİŞ

Mimar Ekin Moral, 1975 Karabük doğumludur. İlk ve ortaöğrenimini Karabük'te tamamlamasının ardından, 1993-1994 Akademik Yılı'nda girdiği İ.T.Ü. Mimarlık Fakültesi Mimarlık Bölümü'nden 1997-1998 Kış Dönemi'nde mezun olmuştur. Halen İstanbul'da iş ve öğrenim hayatına devam etmektedir.