



GÜNEŞ ENERJİSİNDEN AKTİF OLARAK YARARLANMADA KULLANILAN FOTOVOLTAİK (PV) SİSTEMLER VE YAPILARDA KULLANIM BİÇİMLERİ

Selçuk SAYIN¹, İlhan KOÇ²

^{1,2}Selçuk Üniversitesi, Müh.-Mim. Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Kampüs/KONYA

¹ssayin@selcuk.edu.tr, ²ikoc@selcuk.edu.tr

Özet: Bu çalışmada öncelikle yenilenebilir enerji kaynaklarının çeşitleri ve bunların kullanımının gerekliliği anlatılmıştır. Daha sonra güneş enerjisinin yenilenebilir enerji kaynakları içindeki önemi vurgulanarak bu enerjiden yararlanma biçimlerinden önemli bir tanesi olan fotovoltaik sistemler incelenmiştir. Bu sistemlerin bileşenleri, malzemeleri, yapıları ve türleri anlatılmıştır. Fotovoltaik sistemler yapılarda kullanım biçimlerine göre gruplandırılmıştır. Bu kullanım biçimleri şekillerle ayrıntılı olarak ifade edilmiştir. Fotovoltaik sistemlerin yapılarda kullanımının avantajları ve dezavantajları sıralanarak sonuçta bu sistemlerin yapılarda kullanımının gerekliliği ifade edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Güneş enerjisi, fotovoltaik paneller (PV), bina kabuğu

Photovoltaic (PV) Panels Which Are Used to Utilize Solar Energy Actively and Their Usage Forms on Buildings

Abstract: In this study first of all, types of renewable energy sources and the necessity of their usage are explained. Afterwards, the importance of solar energy in renewable energy sources is emphasized and photovoltaic systems which have a significant role to utilize solar energy are examined. Components, materials, structures and types of photovoltaic systems are described. Forms of usage of photovoltaic systems in buildings are classified. These usage forms are expressed in depth with the figures. The advantages and disadvantages of usage of photovoltaic systems are articulated and finally necessity of usage of these systems in buildings is stated.

Keywords: Solar energy, photovoltaic panels, building envelope

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Enerji günümüzde bütün dünyanın en önemli sorunlarından birisidir. Enerji ihtiyacı gün geçtikçe birçok nedenden dolayı artmakta ve üretim-tüketim arasındaki fark da gün geçtikçe açılmaktadır. Bu nedenlerin başlıcaları nüfus artışı, teknolojik gelişmeler, sanayileşme ve insanların yaşam konforudur. Bugün, enerji sorunu her ülkenin yaşadığı bağımsız bir sıkıntı olmaktan çıkmış küresel bir sorun haline almıştır. Halen devam etmekte olan savaşlar ve işgaller de küresel enerji sorununun insanlara yansımalarıdır. Enerji yalnızca insanların temel gereksinimlerini karşılayan bir ihtiyaç iken, artık uluslararası politikaları yönlendiren bir güç haline almıştır.

Halen dünyada kullanılmakta olan enerjilerin %90'ı fosil tabanlı dönüşümsüz (konvansiyonel) enerji kaynaklarıdır. Bu enerji kaynaklarının başlıcaları kömür, petrol ve doğalgazdır. Fosil kaynaklı enerjiler sonsuz değildir ve bir gün tükenecekleri sabit bir gerçektir. Bu gerçekten anlaşılabilir ki, fosil kaynakların çalışma prensibi üzerine kurulu birçok teknolojik sistem de çalışamaz hale gelecektir. Bunun sonuçları da bütün dünya ekonomisini etkileyecek kadar büyük olabilecektir (Çelik 2002).

Bunun dışında diğer önemli bir nokta ise, fosil kaynaklı enerjilerin oluşturduğu çevresel kirlenmedir. Dünya üzerinde yaşanan çevresel sorunların önemli bir kısmı fosil kaynakların tüketilmesi sonucu oluşmaktadır.

Bu sonuç bağlamında ortaya çıkan zararlı gazlar hem çevre kirliliği oluşturmakta hem de insan sağlığına zarar vermektedir. Bu etkilerinin dışında küresel ısınma, suların ve toprağın kirlenmesi, bitki örtüsünün zarar görmesi, asit yağmurları, çölleşme ve biyolojik çeşitlilikte azalmalar gibi etkileri de bilinmektedir. Ekolojik dengeyi bozan bu olayların ana sebebi fosil kaynak yakıtlarının büyük miktarlarda kullanılmasıdır.

Yukarıda bahsedilen sorunlar sebebiyle özellikle 1973 petrol krizinden sonra, bilim adamları bu kaynaklara alternatif olabilecek yeni enerji kaynakları arayışına gitmişlerdir. Bu alternatif enerji kaynakları ise, doğada var olan temiz ve yenilenebilir enerji kaynaklarıdır. Bu enerjilerin başlıcaları güneş, rüzgar, jeotermal, hidrojen, biokütle, hidroelektrik (su gücü) ve deniz-dalga enerjileridir.

Bu enerji kaynaklarının kendini yenileyebilir özellikte olmaları, ekonomik olmaları ve çevreye çok az zarar vermeleri, gelişmiş ülkelerin bu tür kaynaklara yatırım yapmalarını sağlamış ve teknolojilerinin hızla gelişmesine neden olmuştur. Yenilenebilir enerji kaynaklarının, enerji tüketilen her yerde kullanılmasının gelecekte bir zorunluluk haline gelmesi beklenmektedir. Beklenmesi gereken diğer bir durum ise, toplumların kalkınmasının başlıca unsurlarından biri olan enerjinin temiz, güvenilir ve ekonomik bir şekilde temin edilmesinin devletler tarafından vazgeçilmez bir enerji politikası olarak benimsenmesidir. Rüstemov ve Demirtaş (2004) bu politika çerçevesinde "gelişmişlik ve enerji" ilişkisini şöyle tanımlamaktadır;

"Enerjinin yeterli, zamanında, kaliteli, ekonomik, güvenilir ve temiz olarak temini günümüzde ülkelerin gelişmişlik düzeylerini belirleyen en önemli göstergelerden biridir."

Gelişmişlik düzeyinin artmasına paralel olarak insan eylemlerinin çoğu yapılarda gerçekleşmeye başlamaktadır. Dolayısıyla gelişmişlik düzeyi arttıkça yapı sayısı artmaktadır. Buradan da anlaşılacağı gibi gelişmişlik, enerji, yapı kavramları arasında doğrudan bir bağ kurulabilmektedir. Yapılar, tükettikleri fosil enerji kaynaklarıyla hem bu kaynakların tükenmesinde hem de çevre kirliliğinin oluşmasına en fazla zarar veren

unsurlarından birisidir. Yapıların tasarımı, yapımı ve kullanımı uzun bir süreci kapsar. Bu süreçte enerji tüketimi sonucunda atık oluşması doğaldır.

Ekolojik dengenin sağlanması açısından bu denli önemli olan yapıların; özellikle nüfus yoğunluğunun fazla olduğu kentlerde sürdürülebilir bir yaşam biçimi oluşturulması açısından, yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanması çok önemlidir. Yapıların faydalanabileceği yenilenebilir enerji kaynaklarının başında da güneş enerjisi gelmektedir. Yapılar, sınırsız ve tükenmeyen bir kaynak olan güneşten birçok açıdan faydalanabilmektedir. Güneş merkezli tasarlanan yapılardan pasif yöntemlerle yararlanıldığı gibi, yapıya eklenecek veya entegre edilecek sistemlerle aktif olarak yararlanmak da mümkündür. Aktif yararlanmada kullanılan en önemli sistemler ise güneş toplacıları ve fotovoltaik (PV) panellerdir (Sayın 2006).

Bu çalışma kapsamında PV sistemlerin genel çalışma prensipleri ve yapılarda kullanım olanakları; uygulama biçimleriyle beraber incelenecektir.

2. PV (FOTOVOLTAİK) SİSTEMLER (PHOTOVOLTAIC SYSTEMS)

Fotovoltaik sözcüğü Yunanca ışık anlamına gelen "photos" ve elektriğin öncüsü Alessandro Volta'dan gelen "voltaic" sözcüklerinin birleşmesinden gelmektedir (www.californiasolarcenter.org/photovoltaics.html). Fotovoltaik güneş pilleri, güneş ışığını doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren düzeneklerdir. Fransız fizikçi Becquerel ilk kez 1839 yılında elektrolit içerisine daldırılmış elektrotlar arasındaki gerilimin (voltajın), elektrolit üzerine düşen ışığa bağımlı olduğunu gözlemleyerek bulmuştur (Oktik 2001). Becquerel fotovoltaik etkiyi şöyle tanımlamaktadır:

"Enerjinin bir formu olan ışık, bir fotovoltaik hücrenin içine girer ve elektronları harekete geçirmeye yetecek enerjiyi ortaya çıkarır. Bu enerji elektronların bir elektrik akımı oluşturabilecekleri kadar voltajı üretmelerini sağlar (Sick ve Erge1996)."

İlk önce sıvı içinde fark edilen fotovoltajik etki katı maddeler üzerinde ilk defa 1876 yılında G.W. Adams ve R.E. Day tarafından selenyum kristalleri üzerinde bulunmuştur. Daha sonra ilk olarak %1 verimli piller 1914 yılında üretilmiş fakat bunlardan tam anlamıyla bir elektrik üretimi sağlanamamıştır. 1956 yılında Chaplin ve Fuller tarafından %6 verimli piller üretilip elektrik üretimi sağlanmıştır (Oktik 2001).

2.1. PV Sistem Bileşenleri (PV System Components)

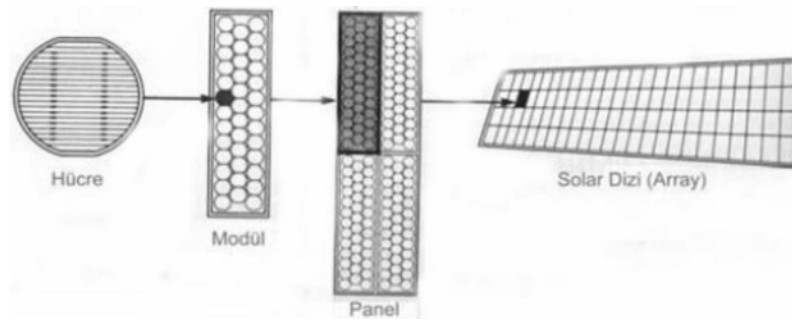
Bir fotovoltajik sistemi oluşturan bileşenler aşağıdaki gibidirler.

- PV modüller
- İnvertörler (Dönüştürücüler)
- Aküler

- Şarj denetim birimleri
- Diğer sistem bileşenleri

2.1.1. PV Modüller (PV Modules)

PV modüller sistemin en önemli parçasıdır. PV hücreler güneşten aldıkları enerjiyle elektrik üreten yarı iletken malzemelerden üretilmişlerdir. Kalınlıkları mikrometreyle ölçülecek kadar ince olan bu hücrelerin boyutları genelde kare, dikdörtgen veya dairesel olup alanları 100cm² civarındadır. Tek bir PV hücreden elde edilen enerji oldukça azdır. Bu nedenle hücreler seri veya paralel bağlanarak modülleri, modüller de birleşerek panelleri oluştururlar. Büyük miktarlarda elektrik üretmek için paneller de birbirine bağlanarak solar PV dizisini meydana getirirler. (Şekil 1)



Şekil 1. PV hücre, modül, panel ve solar dizisi (Çelebi 2002)

Figure 1. PV cell, module ve solar array

2.1.1.1. PV modüllerin yapısı ve özellikleri (Structure and features of PV modules)

Bugün birçok ülkede farklı şirketler tarafından fotovoltajik modüller üretilmektedir. Bu modül tipleri yapılarına göre değişik sınıflara ayrılmaktadırlar.

- Alüminyum çerçeveli ve camlı modüller Güneş enerjisi modülü alüminyum bir çerçeve içerisine bir panel şeklinde oturtulur. Panel, cam bir tabaka ve pilleri çevresel etkilerden koruyacak bir filmle kaplanmış PV pillerinden oluşur. En çok kullanılan modül tiplerindedir (Oluklulu 2001).

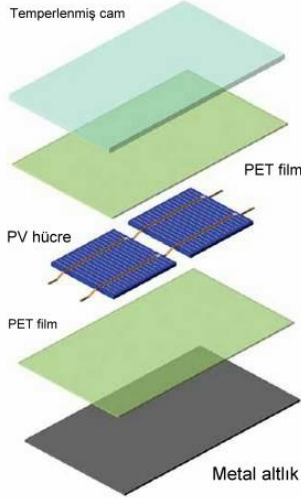
- Çerçevesiz modüller Oldukça yüksek etkinliğe sahip monokristal silikon PV pillerinden yapılırlar ve iki tabaka optik filmle kaplanırlar. Modül, arka kısmında

PET (poly ethylene terephthalate) filminden ortada PV pili ve ön kısmında PET film ya da camdan oluşur. Genellikle trafik ikaz ışıkları veya hibrit sistemler gibi başka bir sistemle bağlantının gerekmediği durumlarda kullanılır (www.intersolar.ru/photovoltaic/).

- Metal tabanlı modüller Metal tabanlı modüller optik film tabakaları arasında ince tabakalara ayrılmış oldukça etkin monokristal silikon güneş enerjisi pillerinden üretilir. Özel yapışkan ve yalıtım yapan kaplama ile kaplanmış paslanmaz çelik, metal üzerine yada alüminyum alaşım üzerine oturtulur. Modüller metal bir taban, PET film, ortada fotovoltajik piller, ön kısmında PET film yada camdan oluşur (www.pvsolmecs.com/modules).

- Çift yüzeyli modüller

Hem ön hem arka yüzeyi ile enerji üreten yeni modüllerdir. Bu modüller her çeşit PV uygulamalarında kullanılabilir ve enerji maliyetinde önemli bir azalma sağlar (www.pvsolmecs.com/modules.html).



Şekil 2. Tipik bir PV modül yapısı (www.ecn.nl)
Figure 2. A typical PV modul structure

2.1.1.2. PV modül malzemeleri (PV module materials)

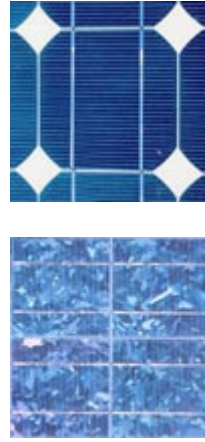
Fotovoltaik güneş pili üretiminde kullanılan başlıca malzeme silisyumdur. Yarı iletken özelliğe sahip olan silisyumun ham maddesi ise silikat yani kumdur. Yeryüzünde büyük miktarlarda kum bulunmasından dolayı ham madde sıkıntısı bulunmamaktadır (Çolak 1997). Farklı tekniklerle ve değişik maddelerinde katkısıyla farklı türlerde güneş pilleri üretilmektedir.

1) Kristal silisyum PV hücreler

Yarı iletken silisyum maddesi kullanım aşamasında kararlılığını korumakta, yapısal, elektriksel ve soğurma özelliklerini uzun süre muhafaza etmektedir. Bu nedenden dolayı silisyum maddesi üzerine yapılan araştırmalar derinleştirilmiş ve üretim teknolojileri geliştirilmiştir. Değişik metotlarla üretilen silisyum hücreler en çok tercih edilen hücre tipleridir. Tek kristal, çok kristal ve ribbon silisyum kristal olmak üzere 3 farklı çeşidi bulunmaktadır (Saritaş 1988).

- Tek kristal güneş pilleri

Tek-kristal silisyum malzeme en yüksek verime sahip olan pillerdir. Silisyum malzemesinin özelliklerini uzun süre muhafaza etmesi ve yapısal ve elektriksel özelliklerinin madde içinde her yerde aynı olup homojen bir yapıya sahip olması bu malzemeyi fotovoltaik piller için en uygun malzeme yapmıştır. Tek-kristal silisyum üretim oldukça pahalı ve zor bir iştir. Siyah koyu kahverengi ve homojen bir görünüme sahiptirler. Verimlilik oranları %24-30 arasında değişse de seri üretilen modüllerde bu oran %16-17'ye kadar düşmektedir (Göksal 1998, Oktik 2001).



Şekil 3. Tek kristal ve çok kristal PV hücre örneği
(www.pv-uk.org.uk)

Figure 3. Example of monocrystal and polycrystal PV cells

- Çok kristalli silisyum güneş pilleri
Gri-mavi renge sahip çok kristalli hücreler tek-kristal silisyum hücrelere göre daha kolay üretilir ve maliyeti düşüktür. En önemli dezavantajı verimliliğin tek-kristal hücreler kadar iyi olmamasıdır. Bunun nedeni çok kristalli madde içinde bulunan damarların yapısal ve elektriksel farklılık göstermesidir. Damarlar arasındaki süreksizlik ve bunun yarattığı kusurlar verimin düşmesinde neden olmaktadır. Homojen bir yapıya sahip olmayan çok kristalli hücrenin laboratuvar ortamında %18 olan verimliliği seri üretimlerde %13-14 oranlarına düşmektedir (Göksal 1998, Oktik 2001).

- Ribbon silisyum PV hücreler
Tek kristal hücre üretiminde bazı malzeme kayıpları olmaktadır. Bu nedenle şekillendirilmiş-şerit yöntemi adlı bir yöntemle bu kayıpların da azaltıldığı yeni hücreler

üretimiştir. Ribbon silisyum isimli bu hücrelerin farklı kalınlıkları mevcuttur. Laboratuvar şartlarında verimlilikleri %15 civarındadır (Goetzberger ve diğ.2002).

2) İnce film güneş pilleri

Güneş gözlelerinde kullanılan malzeme ve işçiliği azaltarak, teknolojiyi de basitleştirerek maliyetlerin düşürülmesi, yarı iletken malzemenin geniş yüzeylerde ince film kaplanarak kullanılmasını ön plana çıkarmıştır. Bu sistemle daha büyük açıklıklı hücreler daha ucuz maliyetle üretilebilmektedir. Uygulanması da kolay olan ince film pillerin verimliliği %18'lere kadar çıkmış olsa da malzeme uzun dönemde kararlılığını koruyamamaktadır. Bu nedenle ince film piller üzerine yapılan yatırımlar kısıtlı kalmıştır. İnce film malzemenin başlıcaları amorf silisyum, kadmiyum tellür ve bakır indiyum-diselenid'dir (Oktik 2001).

- Amorf silisyum güneş pilleri
Bir tür ince film güneş pili olan amorf silisyumun (a-si) soğurma katsayısı çok yüksektir ve rengi kırmızımsı kahverengidir. İlk olarak 1981 yılında kullanılmaya başlanmıştır. Verimliliği laboratuvar ortamında %15'lere kadar çıkarılmış olsa da güneş ışığı altında malzeme bu verimini kaybetmektedir. Bu tür sıkıntılara karşın küçük ölçekli enerji üretmek için en yaygın kullanılan güneş pildir (Oktik 2001).



Şekil 4. Amorf silisyum ve kadmiyum tellür PV hücre örneği (www.pv-uk.org.uk)

Figure 4. Examples of amorphous silicon and cadmium telluride PV cells

- Kadmiyum tellür (CdTe) ince güneş pilleri

Periyodik tablonun ikinci grubunda yer alan kadmiyum elementinden ve altıncı grubunda yer alan tellür elementinden yapılan kadmiyum tellür (CdTe) güneş pilleri de geniş yüzey alanlı üretimlere olanak tanımakla birlikte yüksek soğurma özelliğine sahiptir. Bu pillerin uzun süreli verimlilikleri de henüz istenen seviyeye ulaşamamıştır (Oktik 2001).

- Bakır indiyum diselenid (CIS) güneş pilleri

Periyodik tablonun birinci, üçüncü ve altıncı grubunda yer alan bakır, indiyum ve selenyumdan üretilen bu güneş pillerinin verimliliği de %18'lere ulaşmasına karşın pil ömrü olan 20 yıl süresince verimlilik düşmekte ve %10 sınırını aşamamaktadır (Oktik 2001).

3) Grup III-V bileşik PV hücreleri

Periyodik tablonun üçüncü ve beşinci grubundan elementlerin bir araya gelmesiyle oluşan bileşik yarı iletkenin soğurma özelliği çok yüksektir. Bu hücrelere en iyi örnek galyum arsenitten (GaAs) yapılan güneş pilleridir. En yüksek verime (%24) sahip bu pillerin maliyeti çok yüksek olduğu için yalnızca uzay araştırmalarında kullanılmaktadır (www.eere.energy.gov – Oktik 2001).

4) Çok eklemlili (tandem) PV hücreler

Farklı malzeme türleri güneş ışığının farklı spektrumlarını soğurmaktadır. Bu nedenle ışımandan maksimum düzeyde faydalanmak için değişik malzemeler üst üste kullanılarak çok eklemlili (tandem) hücreler üretilmiştir. (Kazmerski 1997). Tandem hücrelerde en üste bulunan malzeme güneş ışımandan maksimum enerji soğurmaktadır. Yakalayamadığı spektrumdaki ışınımı ise bir alt tabakadaki malzeme soğurmaktadır. Bu tür hücre yapımında genellikle galyum arsenid, amorf silisyum, bakır indiyum diselenid ve galyum indiyum fosfat malzemeleri kullanılmaktadır (www.eere.energy.gov).

5) Organik ve polimer PV hücreler

İnorganik PV hücrelerin üretim teknolojileri her ne kadar gelişse de maliyetleri oldukça

yüksektir. Bu nedenle inorganik hücelere alternatif olabilecek ince film organik ve polimer hücre üretimi için teknikler geliştirilmiştir. Fakat %2.5 gibi bir verimlilikleri olduğundan henüz inorganik hücelere karşılaştırılabilecek ve onlara alternatif olabilecek konuma ulaşamamıştır. Üretiminde daha az toksik madde açığa çıkarması, modüllerin hafif ve esnek olması, maliyetlerinin düşük olması gibi avantajlarından dolayı geleceğin PV hüceleri olarak gözükmektedir (Oktik 2001).

2.1.1.3. PV modül verimliliğini etkileyen faktörler (Factors that affect PV module efficiency)

Modüllerden maksimum verim alınabilmesi için yönlendirilmeleri çok önemlidir. Modüller en yüksek verimi güney cephede vermektedirler. Panellerin hareketli bir konstrüksiyon üzerinde tasarlanmaları durumunda ise güneş ışığını takip edebilmekte ve günün her saatinde en yüksek verim alınabilmektedir.

Güneş ışınımıyla elektrik üreten panellerin aşırı ısınması durumunda performanslarının düştüğü gözlenmiştir. Yapılan deneylerde görülmüştür ki her 10°C sıcaklık artışında PV panelin performansı %1 düşmektedir. Bu sorunun panelin arka yüzeyinin havalandırılması ile de çözülebileceği önerilmektedir (Alaçakır 1999).

PV panellerin etkinliğinin düşmesine neden olan diğer bir faktörde yüzey kirlenmesidir. Çevresel faktörlere bağlı olan bu kirlenmenin etkisinin yapılan bir çalışmada modülün performansını %3.5 oranında düşürdüğü gözlenmiştir (Watt ve diğ. 1999, Eiffert ve Kiss 2000). Bu nedenle PV modülün kullanıldığı yerin yüzeyinin temizlenmeye uygun olması gerekmektedir.

PV panellerin gölgede kalması da modül verimliliğini etkilemektedir. Modülün yerleştirildiği bölgeye yakın konumdaki yüksek binalar, örneğin çatıdaki antenler ve bacalar, ağaç dalları yaptığı gölgelerle fotovoltaik verimin düşmesine neden olmaktadır. Bu nedenle PV modülün güneş ışınını aldığı güney cephesinde gölge oluşturacak herhangi bir engel bulunmamasına dikkat edilmelidir (Çelik 2002).

PV hücelere gelen güneş ışınlarının hepsi soğurulmamaktadır. Soğurulamayan ışınlar ortama yansımakta ve kayıplar oluşmaktadır. Hücrenin yapıldığı malzeme türlerinin soğurma

özellikleri farklı olduğundan yansıma kayıpları da farklıdır. Kullanılan malzemeler içinde en az yansıma kaybına sebep olan malzeme silisyumdur. Bu sorunu azaltmak için hücre yüzeyleri anti-yansıtıcı maddelerle kaplanmaktadır. Bu maddeler saydam olup hücre yüzeyine kimyasal çöktürme, buharlaştırma veya oksitleme yoluyla kaplanmaktadır. Anti-yansıtıcı özelliği dışında hücreyi dış etkilerden korumak gibi bir özelliği de vardır (Oluklulu 2001).

2.1.2. Aküler (Batteries)

PV hücelere tarafından üretilen elektrik enerjisinin tüketilmediği durumlarda depolanması gereklidir. Güneş ışınımı olduğu sürece üretilen enerji akülerde depolanır. Yapılan hesaplamalar sonucunda sistemin kaç adet aküye ihtiyacı olduğu bulunmaktadır. Günümüzde en çok kurşun-asit ve nikel kadmiyum tipi aküler PV sistemlerde kullanılmaktadır (www.eere.energy.gov).

2.1.3. Şarj Denetim Birimleri (Charge Controlling Units)

PV hücelere tarafından üretilen elektriğin direkt olarak aküye gönderilmesi akülere zarar verebilmektedir. Bu nedenle şarj denetim birimleri kullanarak aşırı enerji yüklemesini ve boşalması önlenir. Diğer bir deyişle akülerin şarj ve deşarj olmasını önleyen birimlerdir.

2.1.4. Dönüştürücüler (Invertors)

PV hücelere doğru akım enerjisi üretirler. Bu enerjinin aletlerde kullanılması için alternatif akıma dönüştürülmesi gerekmektedir. Enerji dönüştürücü görevi yapan invertörler şebekeden bağımsız sistemler için düşük gerilimli (12-48V), şebeke bağlantılı sistemlerde yüksek gerilimli (110V ve üstü) olarak kullanılmalıdır (Pearsall ve Hill 2001).

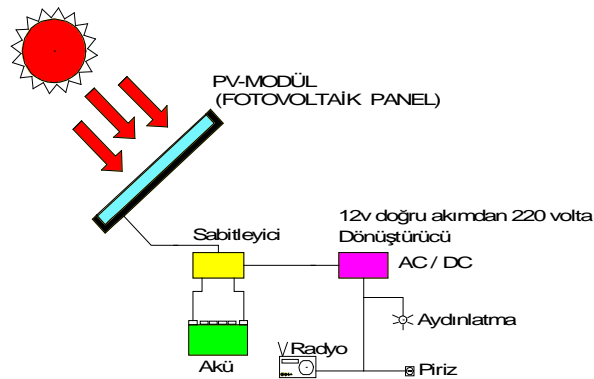
2.1.5. Diğer Sistem Bileşenleri (Other System Components)

PV sistemler modül, akü vb. bileşenler dışında elektrik üretebilmek için başka bileşenlere de

ihtiyaç duyar. Bunlar, diyotlar, kablolama, bağlantı kesme elemanları, sigortalar, topraklama elemanları, aşırı akımdan koruma elemanları ve montaj parçalarıdır. Bloklama diyotu gündüzleri aküye giden elektriğin gece tekrar sisteme dönerek akülerin boşalması engellemek için kullanılan bir bileşendir (Oluklulu 2001).

2.2. PV Sistem Türleri (PV System Types)

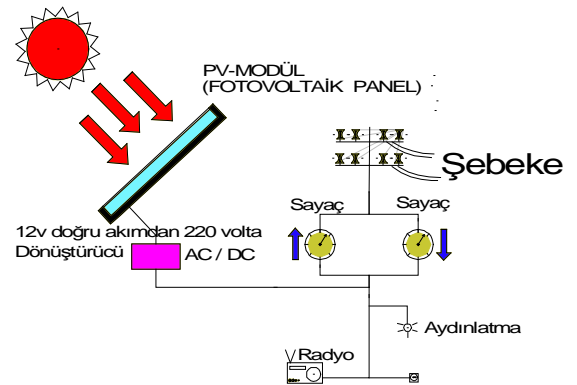
Fotovoltaik sistemler uygulamada iki farklı tipte uygulanmaktadır. Bunlar, şebekeye bağlı ve şebekeden bağımsız ünitelerdir. Şebekeden bağımsız sistemler var olan elektrik şebekesinden uzakta elektrik ihtiyacının olduğu durumlarda uygulanmaktadır. Şebekeye bağlanma maliyeti PV güç sistemi kurmaktan daha fazla olabilmektedir. İlk yatırım maliyeti ardından herhangi bir bakım ve gideri olmayan bu sistemler genellikle kırsal kesimlerde uygulanmaktadır. Şekil 5’de görüldüğü gibi akü kullanılan bu sistemlerin üretimin yapılamadığı durumlarda kullanmak için depolama gereksinimi olmaktadır. Bu da sisteme ek bir maliyet getirmektedir.



Şekil 5. Şebekeden bağımsız PV modül kullanımı
Figure 5. PV module usage detached from electrical network

Şebekeye bağlı sistemler ise güç santrali ve yapılara entegre sistemler olmak üzere 2 ayrı gruba ayrılmaktadır. Şebekeye bağımlı sistemlerde üretilen elektrik şekil 6’da görüldüğü gibi iki yönlü bir sayaçla şebekeye elektriğine bağlanmaktadır. İhtiyacın olmadığı durumlarda üretilen elektrik şehir şebekesine verilmekte, üretimin yapılamadığı durumlarda ise şebekeden elektrik alınmaktadır. İki yönlü sayaç hem şebekeye verilen hem de alınan

elektrik miktarını kontrol etmektedir (Oktik 2001).



Şekil 6. Şebekeye bağlı PV modül kullanımı
Figure 6. PV module usage attached to electrical network

2.3. PV Sistemlerin Avantajları ve Dezavantajları (Advantages and Disadvantages of PV Systems)

Güneş pillerinin gelecekte yaygın olarak kullanılmasını cazip kılan temel avantajları şunlardır:

- PV sistemlerin ömrü, maliyetini amorti edecek kadar uzundur.
- Bakımları kolaydır ve bakım masrafları çok azdır.
- Yakıt olarak güneş enerjisini kullandığı için yakıt satın alma ve nakliye maliyeti yoktur. Ayrıca yakıt piyasasına bağımlılığı olmadığı için maliyet değişimlerinden etkilenmez.
- Çevreye zararlı bir atık bırakmazlar ve sessiz çalışırlar.
- Sistem bileşenlerinin birçoğu taşınabilir bir yapıya sahiptir.
- 1 Watt’tan birkaç Kilowatt’a kadar geniş bir güç bölgesinde uygulanabildiği gibi istenildiği takdirde sistemin genişletilebilme imkanı da vardır.
- Kırsal kesim gibi elektrik şebekesinin ulaşmadığı bölgelerde, binaların, arabaların, yatakların üzerinde küçük birimler halinde kullanılabilme imkanları vardır.
- Hareket eden parçası olmadığı için bir jeneratöre göre daha az arıza yapar. Orta büyüklükteki bir sistemdeki bir modül yada batarya arızalandığı takdirde ise sistemin bütünü etkilenmez ve çalışmaya devam eder.
- Jeneratörlerle karşılaştırıldığında ilk yatırım maliyeti yüksek olmasına karşın

uzun süreli kullanımlarda, yakıt ve bakım masraflarından dolayı onlardan daha az maliyetli olmaktadır.

- Üretilen elektrik bataryalarda depolandığı için istenildiği zamanda ve miktarda kullanılabilme serbestliği vardır oysa bir tek ampul ihtiyacı için bile bir jeneratörün çalışması gereklidir.
- PV sistemlerde tesisat ve kablolama işlemlerinin elektrik kanunlarına uyma zorunluluğu olmadığı için maliyetleri düşüktür.
- Enerjinin üretildiği yerle tüketildiği yer arasında uzun mesafeler olmadığı için enerjinin taşınması sırasında oluşabilecek kayıp miktarı oldukça azdır.
- Sistem, istenildiği takdirde sökülüp kaldırılabilme imkanını verir (Alaçakır 1997, Oluklulu 2001, Çıtroğlu 2000, Yıldız 2003, www.toolbase.org/index-toolbase.asp)

Çok sayıda avantajı olması karşın, PV sistemlerin diğer elektrik üreten sistemlere göre aşağıda sıralanan dezavantajları da mevcuttur:

- İlk yatırım maliyeti yüksektir.
- Yüksek güç gerektiren motorlar ve ısıtma sistemleri için ekonomik değildirler.
- Güneş enerjisini elektriğe dönüştürme oranı düşüktür bu nedenle geniş alanlara ihtiyaç duyar.
- Sistemin üretim potansiyeli mevsimsel ve günlük hava değişikliklerden etkilenmektedir.
- Şebeke bağlantısının olmadığı durumlarda depolama ihtiyacı vardır.
- Doğru akım ürettiklerinden, üretilen elektriğin kullanıma uygun hale gelmesi için alternatif akıma dönüştürülmesi gereklidir.
- Şebeke elektriğine göre pahalıdır (Oluklulu 2001, Roberts 1991).

3. PV MODÜLLERİN YAPILARDA KULLANIM BİÇİMLERİ (USAGE FORMS OF PV MODULES ON BUILDINGS)

PV modüllerden su pompajında, katodik koruma sistemlerinde, iletişimde, aydınlatmada, otoyol kenarlarında ses kesici olarak ve küçük aletlerin çalıştırılmasında yararlanıldığı gibi, almaşık sistemler diye de adlandırılan hibrit sistemlerde de yararlanılmaktadır. Mimarlık

disiplininde ise yapıların geleneksel kabuk işlevini gören yeni bir kabuk sistemi olarak tasarlanabilen PV modüller geleneksel çatı ve cephe elemanlarının yerini almaktadırlar.

Bina kabuğunun işlevleri çok yönlüdür. Bir yapı elemanı olarak adlandırılan kabuk, yapının içinde yaşanabilir konfor şartlarını sağlayan mekanlar oluşturur. Dış mekan ve iç mekan kavramlarının oluşmasının temel prensibi bir ayırıcının olmasıdır. Kabuk, ayırıcı bir yüzey olmanın dışında birçok işlevi de yerine getirmek durumundadır. Artık geleneksel kabuk elemanları yerine PV modüller kullanılarak hem bir kabuğun işlevleri yerine getirilmekte, hem de yapılar güneşten aldıkları enerjiyle kendi enerjilerini üretebilmektedir.

3.1. PV Modüllerin Yapılarda Kullanılması Durumunda Tasarımı Etkileyen Faktörler (Factors That Affect Design in Case of Usage of PV Modules on Buildings)

Yapıya entegre edilecek olan PV modüllerin tasarlanması bir çok faktöre bağlıdır. Temel amaç olan elektrik üretimi dışında mimari olarak estetik kaygıların da duyulması gerekmektedir. PV modülün performansını etkileyecek olan her türlü çevresel ve bölgesel etken dışında, yapının görünümünü etkileyecek olan bu sistemlerin, entegre bir biçimde tasarımlarının yapılabilmesi, aşağıdaki belli başlı kriterleri göz önünde bulundurmak gereklidir:

3.1.1. Arazi Seçimi (Land Choice)

PV modüllerin entegre edileceği yapının arazisinin özellikleri, PV modül tasarımına başlanmadan önce göz önünde bulundurulmalıdır. Arazi üzerinde yapının elde edebileceği maksimum verim yönü belirlenmeli, ve yapı buna göre yönlendirilmelidir. Ayrıca arazinin eğim özellikleri ve çekme mesafeleri (diğer yapılarla olan ilişkileri) de göz önünde bulundurulurken tasarıma başlanmalıdır (Yıldız 2003).

3.1.2. İklim Verileri (Climate Data)

Yapının bulunduğu iklim bölgesi PV modüllerin performansını etkileyecek en önemli

kriterdir. Tasarım yapılmadan önce yapının bulunduğu bölgenin iklim özellikleri incelenmeli; yıllık toplam güneşlenme süresi, ortalama bulutlu gün sayısı, rüzgar yükleri, yağış miktarı ve sismik koşullar gibi veriler ışığında PV sistemin tasarımı yapılmalıdır (Sick ve Erge1996).

3.1.3. Gölgeleme (Shading)

Gölgelemenin PV modülün verimini etkileyen önemli bir faktör olduğundan daha önce bahsedilmişti. Yapılarda uygulanacak olan modüllerin etki alanı ise hem arazi verilerine bağlı olarak tasarlanan yapının diğer yapılarla olan ilişkilerini, hem de yapının kendi elemanlarının yaptığı gölgelenmeleri içermektedir. Özellikle çatıda bulunan bacalar, antenler, depolar ve parapet duvarları yaptıkları gölgelerle modüllerin verimliliğini azaltmaktadır. Bu nedenle, mümkünse bu tip elemanların çatının kuzey yönünde yerleştirilmeleri ve modüllere bir engel oluşturmamaları gerekmektedir (Çelik 2002).

3.1.4. Modül ve Hücre Türleri (Module and Cell Types)

PV hücrelerin üretildikleri malzemeye bağlı olarak değişen görünümü ve rengi, hücrenin geometrik şekli yapının görünümü etkileyecek en önemli kriterdir. Yapı kabuğuna entegre edilecek PV modüller geçirgen, yarı geçirgen ve opak biçimde kullanılabilirler. Geçirgen modüller daha çok pencere amaçlı kullanılmakta yarı geçirgenler ise yapı içinde konforun sağlanmasına yardımcı olmakta ve güneş kontrolünü sağlamaktadır. Amorf silisyum maddeden çökeltme tekniğiyle üretilen ince film, yarı geçirgen modüller %20-30 oranında gün ışığı geçişine izin vermektedir. Silisyum hücrelerin kesiminde kullanılan lazer kesim tekniğiyle üretilen yarı geçirgen modüller ise %18-38 oranında geçişe izin vermektedirler.

Ayrıca modül yapısının özellikleri, yani çerçeveli veya çerçevesiz olması, çerçevenin malzemesi ve montaj teknikleri de yapının görünümünü etkilemektedirler. Cam görümlü çerçevesiz modüller, gizli birleşme detaylarıyla

bir bütün şeklinde görüldüğünden, cephe uygulamaları başarılı olmaktadır. Çerçeveli modüllerde ise modül ve çerçeve rengi aynı renkte seçilerek bir bütünlük sağlanmalıdır (Çelik 2002, Yıldız 2003).

3.1.5. Yapı Tipleri (Building Types)

PV modüller bugün her yapıya uygulanabilmektedirler. PV sistemlerin yapıya kazandırdığı direkt enerji katkısı dışında, enerjinin kullanım sürecinde ekonomik olması da gerekmektedir. Özellikle yüksek katlı ofis binalarının ve otellerin cepheleri ile fabrika binalarının geniş ve eğimli çatıları PV modüllerin entegre olabilmeleri için en uygun yapı kabuğu örnekleridir. Ayrıca, bu tür yapıların enerji tüketimi daha çok gün boyunca olduğundan, depolama maliyetleri de diğer yapı tiplerine göre az olmaktadır. Küçük PV sistemler için konutlarda da çoğunlukla uygulanan PV sistemler özellikle şebeke bağlantısının olmadığı yerlerde ekonomik olmakta, fakat şebeke bağlantısı olmadığı takdirde yoğunlukla akşam saatlerinde kullanılan elektriğin gün içinde depolanmasının maliyeti yüksek olmaktadır. Bu nedenlerle PV sistemlerin tasarımında yapı tiplerinin göz önünde bulundurulması önemlidir (Thomas ve diğ.1999).

Bu tasarım kriterleri dışında yapıya entegre edilecek PV modüllerin boyutlandırılabilmesi için ilk önce yapıda kullanılan elektrikli aletler incelenmeli ve yapının toplam yıllık elektrik yükü hesaplanmalıdır. Daha sonra elektrik yüküne uygun modül tipi ve sayısı seçilmelidir. En son olarak da sisteme uygun diğer elemanların seçimi yapılmalıdır (Oluklulu 2001).

3.2. Cephe Bileşeni Olarak Kullanım (Usage as Facade Component)

Cepheler yapı yüzeyinin büyük bir bölümünü oluşturmaktadırlar. Yapının görünümlerini simgeleyen ve mimarların fikirlerini yansıttığı en önemli yapı elemanlarıdır. Bu nedenle PV modüllerin cephe bileşeni olarak kullanımı çatı bileşeni olarak kullanımına göre daha önemlidir (Yıldız 2003). Cephe yüzeyine entegre edilecek olan PV modüllerin uygulanması karmaşık detaylar gerektirebilir.

Modüllerin boyutlandırması, elektrik sisteminin kurulması ve cepheye entegrasyonunda optimum çözümler bulmak ve maliyeti azaltmak için şu kriterlere dikkat edilmektedir:

- PV modüllerin sisteme getireceği yük yapının tasarım aşamasındayken göz önünde bulundurulmakta ve buna uygun hesaplama yapılmaktadır.
- PV modüllerin verimliliğinin düşmemesi için temizlenmesi gerektiğinden tasarlanacak olan cephenin buna uygun olması gerekmektedir.
- Dış ortamla birebir bağlantı içinde olan PV modüllere su yalıtım uygulanması gerekmekte; bu yalıtım katmanı modülün verimini etkilememelidir.
- Cephe yüzeylerinde gölgelenme, çatılara oranla daha fazla olmaktadır. PV modül veriminin düşmemesi için yapının tasarımında bu durum önem arz etmektedir.
- Farklı modül malzemelerinin farklı avantajları vardır. Örneğin ince film hücrelerle daha büyük açıklıklar kaplanabilmekte ve modülün yapısı esnek olmaktadır. Modülün havalandırılmasının zor olduğu durumlarda ise amorf silisyum hücreler önerilmektedir. Bu gibi kriterler göz önünde bulundurularak yapıya uygun malzeme seçilmektedir.
- Yapının görünümünü oluşturan cephelerde kullanılacak olan modül malzemeleri estetik açıdan bir bütünlük içinde olması gereklidir. Yapının imajını belirleyecek olan modüller, aynı zamanda bir yapının prestijini de yansıtmaktadır (Watt ve diğ.1999).

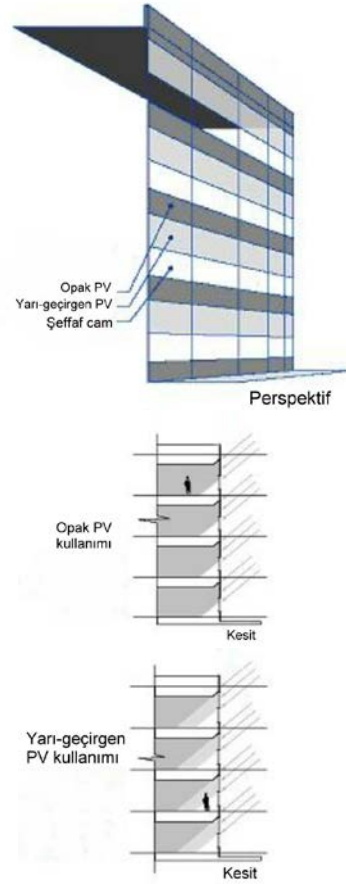
PV paneller, uygulamada doğrudan bina düşey kabuğunu oluşturduğu gibi (giydirmce cephe), geleneksel bir kabuk üzerine (yağmur perdeleme, güneş kırıcı) tespit edilerek de uygulanmaktadır (Oluklulu 2001).

3.2.1. Giydirme Cephe Elemanı Olarak Kullanım (Usage as Curtain Wall)

PV panellerin doğrudan bina kabuğunu oluşturduğu kullanımdır. Biçimsel olarak değişik duvar türleri (düzlemsel, eğimli, kırıklı vb.) oluşturulabilir. Bu duvarları oluşturan PV modüller metal ızgaralara takılmakta ve metal ızgaranın yükü de yapının strüktürel sistemine

taşılmaktadır. Bu tür uygulamalarda geçirimsizlik-sızdırmazlık sorunları geleneksel giydirmce cephe teknolojisinde kullanılan detaylarla ve yöntemlerle çözülebilmektedir (Çelebi 2002). Ayrıca PV modüllerin doğrudan taşıyıcı cephe elemanlarına takıldığı uygulamalar da mevcuttur.

3.2.1.1. Düzlemsel perde duvar (Vertical curtain wall)



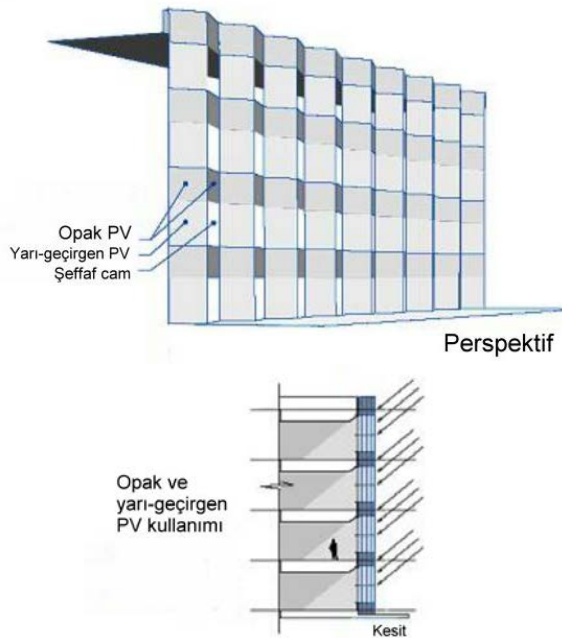
Şekil 7. Düzlemsel perde duvarlarda PV modül kullanımı (Kiss Cathcart1993)

Figure 7. PV module usage on vertical curtain wall

Büyük ofis yapılarında yaygın olarak kullanılan geleneksel cam giydirmce cephelerle aynı strüktüre sahiptir. PV modüller metal ızgaraya takılmakta ve yükleri yapının strüktürel sistemine aktarılmaktadır (Çelebi 2002). Ek bir konstrüksiyon maliyeti yoktur. Opak modüller ve yarı geçirgen modüller bir arada kullanılarak, yapı içinde konforlu bir ortam oluşturmak için güneş kontrolü sağlanabilmektedir. Opak modül ve yarı geçirgen modülün iç mekandaki farklı etkileri Şekil 7'de görülmektedir.

3.2.1.2. Düşeyde kırıklı perde duvar (Sawtooth vertical curtain wall)

Cephenin kırıklı tasarlanmasından dolayı ek bir konstrüksiyonun getirdiği fazladan bir maliyet vardır. Yönlenmenin doğru olması durumunda PV modüllerden iyi elektrik üretim performansı elde edilebilir. Köşe pencerelerinin açılabilir tasarlanması ile cephenin temizlenmesi sağlanabilir (Oluklulu 2001). Şekil 8’de görüldüğü gibi bu biçimde de opak PV modüller ve yarı geçirgen modüller, şeffaf camlarla birlikte kullanılmaktadır.



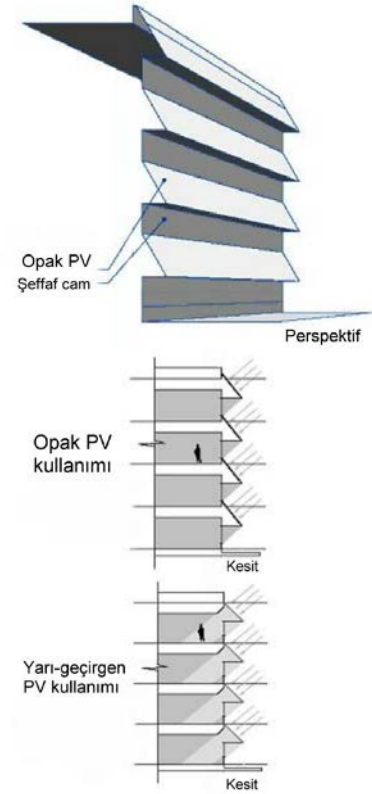
Şekil 8. Düşeyde kırıklı perde duvarda PV modül kullanımı (Kiss Cathcart1993)

Figure 8. PV module usage on sawtooth vertical curtain wall

3.2.1.3. Yatayda kırıklı perde duvar (Sawtooth curtain wall)

PV panellerin yatay bir biçimde kullanılarak oluşturulan kırıklı duvarın uygulanması için ek bir konstrüksiyon maliyeti vardır. Fakat modüller güneş ışığını hem dik hem de açılı olarak aldıklarından düşeyde kırıklı duvarlara göre performansı yüksek olmaktadır. Yatay modüller uygulama biçimi itibariyle pasif gölgeleme etkisi oluşturmakta ve güneş kontrolü sağlamaktadır. Cephenin temizlenmesi sorun olduğundan modül verimlilikleri düşebilir (Çelebi 2002). Opak PV ve şeffaf camın birlikte

kullanımı ile yarı geçirgen PV ve şeffaf camın birlikte kullanımının iç mekanda oluşturduğu farklı etkiler şekil 9’da görülmektedir.

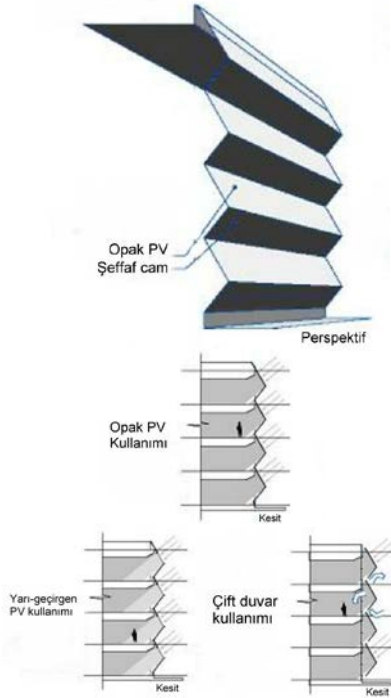


Şekil 9. Yatayda kırıklı perde duvarda PV modül kullanımı (Kiss Cathcart1993)

Figure 9. PV module usage on sawtooth curtain wall

3.2.1.4. Akordeon perde duvar (Accordion curtain wall)

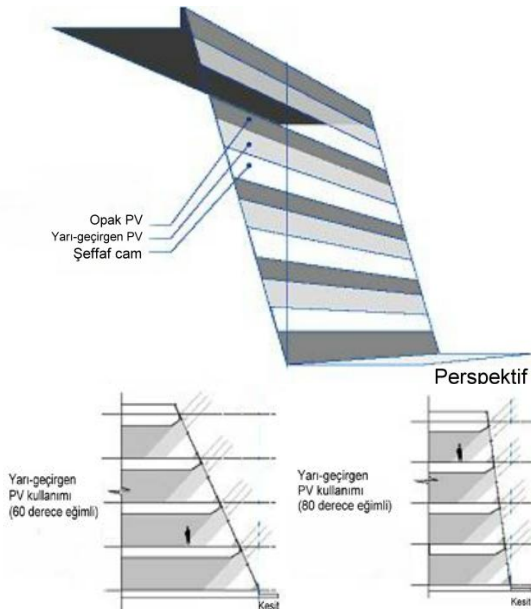
Karmaşık bir konstrüksiyon yapısına sahip olan akordeon perde duvarlar katlanmış plak-katlanmış plak birleşimi şeklinde de uygulanmaktadır. Uygulanması zor olduğu için maliyeti yüksektir ve temizlenmesi de zordur. Ayrıca bu sistemde çift duvar uygulaması da yapılmaktadır. Bu uygulamada dıştaki PV modüllerin oluşturduğu duvar ile iç duvar arasında ısı enerjisi elde edilmekte ve bu kontrollü bir biçimde iç mekana verilmektedir (Şekil 10). Bu tür duvarların performansı diğer düzlemsel duvarlara göre daha fazladır (Kiss Cathcart 1993, Çelebi 2002).



Şekil 10. Akordeon perde duvarda PV modül kullanımı (Kiss Cathcart1993)

Figure 10. PV module usage on accordion curtain wall

3.2.1.5. Eğimli düzlemsel perde duvar (Sloping curtain wall)



Şekil 11. Eğimli düzlemsel perde duvarda PV modül kullanımı (Kiss Cathcart1993)

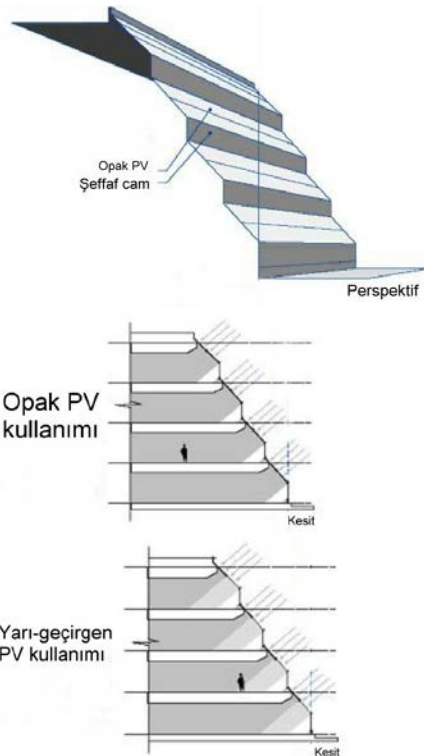
Figure 11. PV module usage on sloping curtain wall

En yüksek performansın elde edilebildiği perde duvar türüdür. Optimum açı olarak 60° önerilmektedir. Farklı açların

oluşturduğu etki Şekil 11' deki kesitlerde görülmektedir. Opak PV, yarı geçirgen PV ve cam bir arada kullanılarak düzlemsel duvarlarda olduğu gibi güneş kontrolü sağlanabilmektedir. Konstrüksiyon olarak maliyetli olmasa da cephe temizliği sorun oluşturmaktadır (Kiss Cathcart1993, Çelebi 2002)

3.2.1.6. Eğimli kırıklı perde duvar (Sloping/stepped curtain wall)

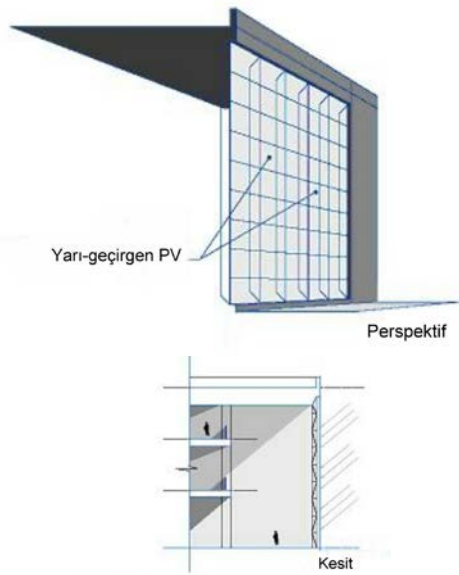
Perde duvarın kırıklı olması sebebiyle maliyeti yüksektir. Eğimli perde duvarlarla performansı aynı olarak görülmektedir ve onlar gibi temizlenme sorunu vardır. Şekil 12' de görüldüğü üzere eğimli kısımda PV modül düşey kısımda ise cam kullanılarak hem yüksek performans elde edilmekte hem de güneş kontrolü sağlanmaktadır. Eğimli duvarlarda olduğu gibi kat planları arasında benzersizlikler oluşmakta ve yapı daha çok arazi üzerine oturmaktadır (Çelebi 2002).



Şekil 12. Eğimli kırıklı perde duvarda PV modül kullanımı (Kiss Cathcart1993)

Figure 12. PV module usage on sloping/stepped curtain wall

3.2.1.7. Taşıyıcı cam cepheler (Structural glazings)



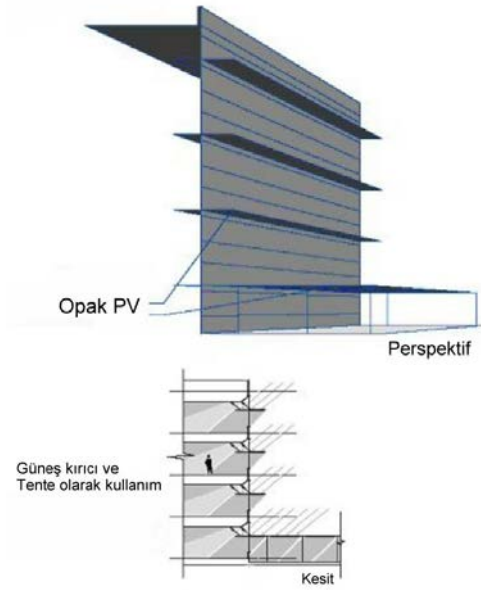
Şekil 13. Taşıyıcı cam cephe olarak PV modül kullanımı (Kiss Cathcart1993)

Figure 13. PV module usage as structural glazing

Bu tür uygulamalarda cephenin taşıyıcı özelliği vardır. Yapının çelik strüktürünün bir parçası olan cephelerin taşıyıcı strüktür aralıklarında PV modüller uygulanmaktadır. Normal taşıyıcı cam cepheler ile aynı teknik altyapıya sahiptir (Şekil 13). Yarı geçirgen PV modül ve cam yüzeyler birlikte kullanılmaktadır (Yıldız 2003).

3.2.2. Güneş Kırıcı Olarak Kullanım (Usage as Light Shelf System)

Güneş kırıcılar hem güneş enerjisini toplamak hem de mekana giren ışığın kontrolünü sağlamak açısından verimli bir kullanıma sahiptir. Binaya sonradan entegre olabilen bu paneller için ek bir konstrüksiyon gereklidir. Yatay olduğu gibi eğimli veya hareketli de düzenlenebilir. Yapıya entegre edilen PV panel gölgeleme sistemleri, hem doğal ışık kontrolü hem de doğal ışıktan yeterince yararlanmayı sağlarlar (Şekil 14). Güneş kırıcıların bina kabuğuyla bütünleşmesinde su sızdırmazlık problemleri ortaya çıkabilmektedir. Bu nedenle özel detaylar ve buna bağlı ek maliyetler olabilmektedir (Oluklulu 2001).



Şekil 14. Güneş kırıcı olarak PV modül kullanımı (Kiss Cathcart1993)

Figure 14. PV module usage as light shelf systems

3.2.3. Yağmur Perdesi Olarak Kullanım (Usage as Rain Shadow)

Geleneksel duvar kaplamaları şeklinde mevcut cephelere monte edilen yağmur perdeleme sistemleri kabuğu atmosferik etkilerden korumaktadır. PV modüller bir ızgara sistemi yardımıyla kabuğa entegre edilmekte ve elektrik üretmektedirler. PV modülle duvar yüzeyi arasındaki boşluk hem kablolama ve bağlantı elemanlarını gizlemekte hem de modülün havalanmasını sağlayarak verimin düşmesine engel olmaktadır (Thomas ve diğ.1999).

3.3. Çatı Bileşeni Olarak Kullanımı (Usage as Roof Component)

PV modüller çatılarda var olan çatının üzerine monte edilerek kullanılacağı gibi, doğrudan çatıyı oluşturan bir bileşen olarak da kullanılmaktadır.

3.3.1. Çatı Sistemine Monte Edilerek Kullanım (Usage as Mounted to the Roof System)

Bu tür uygulamalarda PV modüller, yapının çatısına sonradan monte edilmektedir. Düz çatıların üzerine bağımsız PV santral şekline uygulanabildiği gibi, geleneksel çatı

sistemleri üzerine çatı bitiş malzemesi olarak da uygulanabilmektedir.

3.3.1.1. Çatı kaplaması olarak kullanım (Usage as roof coatings)

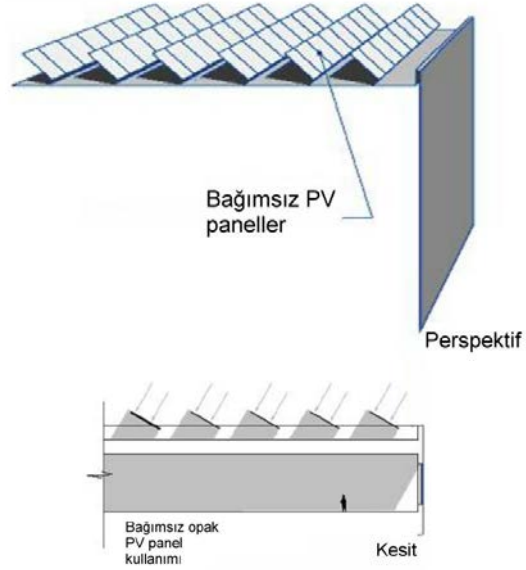
PV modüller bu tür kullanımda gerekli bütün ısı ve su yalıtımları uygulanmış mevcut çatı sistemi üzerine tespit edilirler. Modül verimlilikleri çatının eğimine ve yönlenmesine bağlıdır. PV modüllerin eğimli olarak çatı üzerine yerleştirilmesi dikkat isteyen bir uygulamadır. Bununla ilgili dikkat edilmesi gereken hususlar şunlardır:

- Uygulama sonrasında çatının bitiş kısımlarında boşluk kalmaması için PV modül ile kaplanacak olan çatı boyutlarına uygun modül boyutu seçilmektedir.
- Genellikle yalnızca çatının güneye bakan tarafı PV modüllerle kaplandığından diğer yöndeki geleneksel kaplama malzemeleriyle PV modüllerin birleşme detaylarına önem verilerek özellikle su sızdırmazlığı için özel detaylar oluşturulması gerekmektedir.
- Geleneksel çatı kiremitleri ağırlıkları nedeniyle çatı strüktürüne monte edilmeden bağımsız bir şekilde durabilmektedirler. Fakat PV modüller hafif olması nedeniyle çatı strüktürüne bağlanmaları gerekmektedir.
- Kaplanacak olan PV modüllerin elektrik tesisatlarını dikkatli bir biçimde kurulması gerekmektedir.
- Sıcaklığın artmasına bağlı olarak modül verimliliklerinin düşmemesi için arka yüzeylerinden havalandırılması gerekmektedir. Fakat geleneksel çatı sisteminin yalıtım elemanları bu olanağı vermemektedir.
- Çatılara entegre edilecek PV çatı kaplamasının uygulanmasında elektrik tesisatının ve fiziksel olarak montesinin dikkatli bir şekilde yapılması gerekmektedir. (Watt ve diğ.1999)

3.3.1.2. Düz çatılarda kullanım (Usage on flat roofs)

Şekil 15'de görüldüğü gibi, düz çatılar üzerinde kullanılan PV modüller yapı kabuğundan bağımsızdır. Bağımsız bir PV

santralinden farkları yoktur ve uygulaması en kolay sistemlerdir. İstenen eğimlerde ayarlanabildikleri için maksimum verim elde edilebilmektedir. Fakat, çatıdaki diğer elemanların gölgeleme yapmamasına dikkat edilmelidir. Sistem, istenildiği zaman sökülüp tekrar takılabileceği olanağı sunmaktadır (Kiss Cathcart1993).



Şekil 15. Düz çatılarda bağımsız PV modül kullanımı (Kiss Cathcart1993)

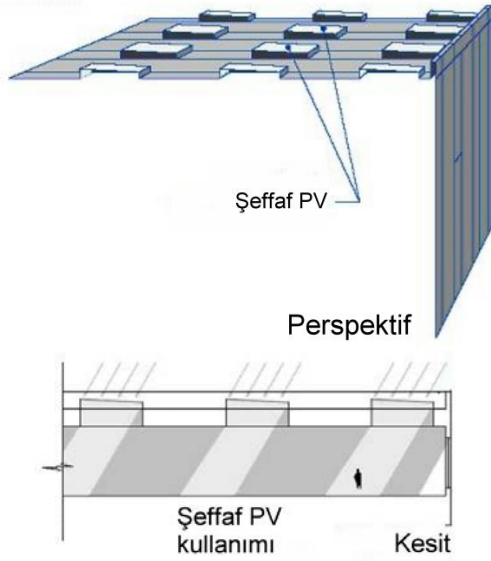
Figure 15. PV module usage as independent rooftop array

3.3.2. Çatı Sistemine Entegre Kullanım (Usage as Integrated to the Roof Systems)

Bu tür kullanımlarda PV paneller; çatı bitiş malzemelerinin yada çatı ışıklarının yerini alabilirler.

3.3.2.1. Düz çatı ışıklıkları (Skylights)

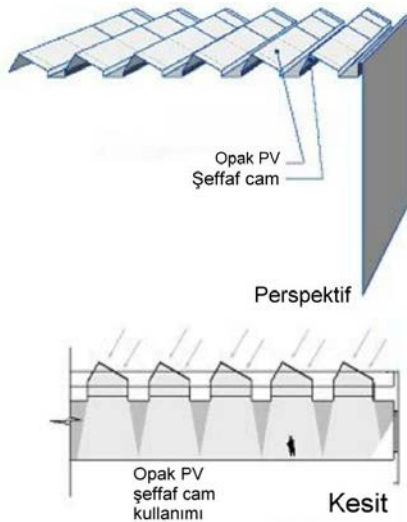
Düz çatı ışıklıklı uygulamalarda PV modüller, çatının bir elemanı olarak yapıya entegre edilirler. Çatıda ışıklık olarak kullanılan modüllerin, iç mekanda aydınlatma sağlaması için yarı-geçirgen özellikte kullanılmaları gerekmektedir. Sistemin verimini artırmak için Şekil 16'da görüldüğü gibi, PV modüller eğimli olarak da tasarlanabilmektedir. Fakat kısım kar yüküne karşı strüktürel hesapların yapılması ve yalıtım önlemlerinin alınması gerekmektedir (Yıldız 2003).



Şekil 16. Düz çatı ışıklığı olarak PV modül kullanımı (Kiss Cathcart1993)
Figure 16. PV module usage as skylights

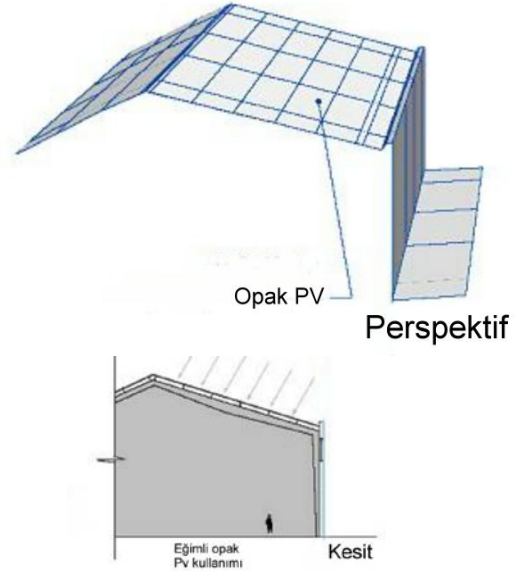
3.3.2.2. Yatay kırıklı çatı ışıklıkları (Sawtooth roof monitors)

Bu tür uygulamalar genellikle büyük çatı alanlarına sahip yapılarda (fabrika veya diğer sosyal yapılar) olmaktadır. PV modüller yine çatı ışıklığı olarak yapıya entegre edilmişlerdir. Eğim oranları tasarım aşamasından düşünülerek maksimum verime göre ayarlanmaktadır. Şekil 17'de opak modül ve şeffaf cam uygulamasının iç mekandaki etkisi görülmektedir (Kiss Cathcart 1993).



Şekil 17. Yatayda kırıklı çatı ışıklığı olarak PV modül kullanımı (Kiss Cathcart1993)
Figure 17. PV module usage as sawtooth roof monitors

3.3.2.3. Eğimli çatılarda kullanım (Usage on slope roofs)

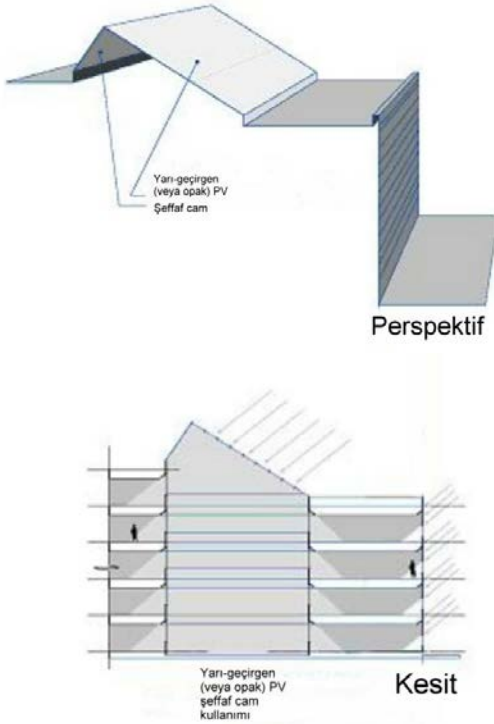


Şekil 18. Geleneksel çatı sistemi üzerinde PV modül kullanımı (Kiss Cathcart1993)
Figure 19. PV module usage as roof panels

Eğimli çatılarda kullanılması şeklindeki uygulamalar çatı kaplaması olarak kullanım uygulamalarından farklıdır. Çatının strüktürüne entegre edilen bu sistemlerde (Şekil 18) PV modüllerin altında su yalıtımı yapılmak zorundadır. Eğimli olması nedeniyle verimlilikleri yüksektir ama soğuk iklimlerde kar yüküne uygun hesaplamalar yapılması gerekmektedir (Sick ve Erge 1996).

3.3.2.4. Atriumlu mekanlar (Atrium spaces)

Büyük alış-veriş merkezlerinde ve otellerde sıkça uygulanan atrium alanlarının üstü genellikle camla kaplanmaktadır. PV modüller cam yerine kullanılacak en uygun sistemlerdir. Yarı-geçirgen PV modül kullanılarak hem elektrik üretilmekte hem de içeride güneş kontrolü sağlanabilmektedir. Genellikle çelik strüktürlerin kullanıldığı atriumlarda kar yükünün hesaplanması ve su yalıtım detaylarının da doğru çözülmesi gerekmektedir (Şekil 19).



Şekil 19. Atriumlu mekanlarda PV modül kullanımı (Kiss Cathcart1993)

Figure 19. PV module usage on atriums

3.4. PV Modüllerin Yapıda Cephe veya Çatı Bileşeni Olarak Kullanılmasının Avantajları (Advantages of the Usage of PV Modules on Buildings as Facade or Roof Component)

- Yapı kabuğunun geleneksel işlevi dışında, enerji üretebilen bir sistem özelliği kazanması yapı tasarımlarına yeni bir boyut kazandırmaktadır.
- PV modüller çok değişken boyutlarda ve yapılarda üretilebildikleri için görünüm olarak çok çeşitli şekillerde tasarlanabilmektedir.
- PV modüllerin yapılara entegre edilebilmeleri için ek bir alana ve modülü destekleyecek herhangi bir mekanizmaya ihtiyacı olmamaktadır.
- PV modüller, geçirgen veya yarı geçirgen olarak tasarlanarak yapının güneş kontrolü sağlamak ve pasif yönden de kazanıma katkıda bulunmaktadır.
- Renkli olarak da üretilebildikleri için görsel açıdan etkileri, kullanımlarını yaygınlaştırabilecektir.

- Yapılara entegre edilen PV modüller, şebekeye bağlı bir sistem olarak tasarlandıklarından, depolama ihtiyacını gören akü maliyetleri de yoktur
- Kırsal kesim gibi şebeke elektriği ulaşım maliyetinin yüksek olduğu bölgelerde alternatif oluşturabilecek bir sistem olarak görülmektedir (Sayın 2006).

4. SONUÇ (RESULT)

Dünya üzerinde tüketilen enerjilerin yaklaşık olarak %50'lik bir kısmı yapılarla ilişkili faaliyetlerden kaynaklanmaktadır. Bu nedenle yapılar tükettikleri enerjilerle hem fosil kaynakların tükenmesinin hem de oluşan çevre kirliliğinin en büyük sebeplerinden biri konumundadır. Bundan dolayı yenilenebilir enerji kaynaklarından mimarlıkta yararlanmak artık kaçınılmaz olmuştur. Özellikle temiz bir kaynak olan güneşten yapılarda yararlanmak sürdürülebilir mimarlık ve sürdürülebilir çevre olgularının devamlılığı için gereklidir.

Güneş enerjisinden yapılarda yararlanmak aktif ve pasif yararlanma olarak iki şekildedir. Aktif yararlanma termodinamik sistemler ve fotovoltaik sistemler olarak ikiye ayrılmaktadır. Bu çalışma kapsamında incelenen fotovoltaik sistemlerde ise kullanılan PV modüller yardımıyla güneş enerjisinden doğrudan elektrik enerjisi elde edilmekte ve yapının elektrik ihtiyacı için kullanılmaktadır. PV modüller, günümüzde yapılara monte edilerek veya entegre edilerek yapı kabuğunu oluşturan bir bileşen olarak kullanılmaktadır. Özellikle yapının düşey kabuğunda kullanımları geleneksel cam-giydirme cephelerden farksızdır ve ek bir konstrüksiyon gerektirmeyen sistemlerdir. Kullanılacak olan yarı-geçirgen ve opak PV modüllerle yapıda hem güneş kontrolü sağlanarak konforlu iç mekan elde edilmekte, hem de üretilen elektrik enerjisi yapılarda kullanılmaktadır.

Günümüzde artık, yapıları enerji korunumlu tasarlamak yeterli değildir. İlk aşamada yapılması gereken yalıtım sistemleri, enerji tasarrufu, geri dönüşümlü malzeme kullanımı gibi önlemler, her ne kadar daha az enerji kullanımını sağlasa da, bu önlemler yeterli olmamaktadır. Bu nedenle, güneşten aktif ve

pasif biçimde yararlanabilecek, etkin enerji kullanımı sağlayan yapılar tasarlanmalıdır.

Aktif sistemlerde yüksek ilk yatırım maliyeti dışında kullanım süresince bakım masrafları az olmakta ve yakıt masrafları olmamaktadır. Özellikle PV sistemlerin ilk yatırım maliyeti yüksek olsa da teknolojilerinin gelişmesiyle birlikte hızla düşmektedir. Gelişmiş ülkeler bu sistemlere destek vererek kullanımlarının artmasını talep etmektedirler.

Sınırlı kaynaklara sahip olan ve enerjisinin büyük bir kısmını ithal etmekte olan ülkemiz enerjide dışa bağımlı bir konumdadır. Ancak bulunduğu coğrafi konum itibariyle güneş enerjisinden aktif olarak yararlanan birçok ülkeden daha fazla yararlanabilecek durumdadır. Halen ülkemizde gelişmiş ve yaygın olarak kullanılan bir termodinamik sistem pazarı mevcuttur. Güneşten aktif biçimde yararlanarak sıcak su elde edilen bu sistemlere herhangi bir teşvik uygulamadan bu hale gelinmiştir. PV sistemlerin de aynı şekilde yaygınlaşması için gerek devlet desteği, gerekse özel sektörün yatırımları gerekmektedir. Uzun

dönemli kullanımlarında ilk yatırım maliyetini amorti eden bu sistemlerin ülkemizde de yaygınlaştırılması için çalışmalar hızlandırılmalıdır.

Yapılara sonradan yapılan ek sistemlerden tam verim alınamamaktadır. Bu nedenle, yapının tasarımından itibaren disiplinler arası işbirliği içinde yapılara entegre edilecek olan sistemlerle, artık yapılar enerji tüketen değil üreten duruma geçeceklerdir. Geleceği de düşünerek, sürdürülebilir mimarlık anlayışı içinde güneş enerjisinden yapılarda yararlanmak artık bir zorunluluktur ve mimarlar bu gerçeği göz ardı etmemelidir.

- ❖ Bu çalışma Selçuk Sayın'ın Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Ana Bilim Dalı'nda 2006 yılında tamamladığı "Yenilenebilir Enerjinin Ülkemiz Yapı Sektöründe Kullanımının Önemi ve Yapılarda Güneş Enerjisinden Yararlanma Olanakları" başlıklı Yüksek Lisans tezinden üretilmiştir.

5. KAYNAKLAR (REFERENCES)

- Alaçakır, B., "Güneş Pilleri", *Çevre ve Enerji Kongresi*, Ankara, 277-282, 5-7 Haziran 1997.
- Alaçakır, B., "Didim'de Kurulan Şebeke Bağlantılı Güneş Pili Sisteminin Tanıtılması ve Performansının İncelenmesi", *Güneş Günü Sempozyumu*, Kayseri, 25-27 Haziran 1999.
- Çelebi, G., 2002, "Bina Düşey Kabuğunda Fotovoltaik Panellerin Kullanım İlkeleri", *Gazi Üniversitesi Müh-Mim Fakültesi Dergisi*, Cilt 17, No:3, ss. 17-33.
- Çelik, B.G., 2002, *Fotovoltaik Modüllerin Mimaride Uygulama Olanakları-Eskişehir İçin Bir Örnek Çalışma*, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Çıtıröğlü, A., 2000, *Güneş enerjisinden yararlanarak elektrik üretimi*, Makine Mühendisleri Odası Yayınları, Ankara, www.mmo.org.tr/muhendismakina/arsiv/2000/haziran/gunes.htm.
- Çolak, M., "Binalarda Güneş Pili Uygulamaları", *Güneş Mimarisi ve Güneş Enerjisi Sempozyumu*, Antalya, 1997.
- Eiffert, P., Kiss, G.J., 2000, *Building-Integrated Photovoltaic Designs for Commercial and Institutional Structures: A Sourcebook for Architects*, www.nrel.gov/docs/fy00osti/25272.pdf.
- Goetzberger, A., Luther, J., Willeke, G., 2002, "Solar cells: past, present, future", *Solar Energy Materials & Solar Cells*, Vol. 74, ss. 1-11.
- Göksal, T., 1998, *Mimaride Güneş Enerjisi*, Anadolu Üniversitesi Yayınları, Eskişehir.
- Kazmerski, L.L., 1997, "Photovoltaics: a review of cell and module technologies", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol.1, ss. 71-170.
- Kiss Cathart Anders Architects, 1993, *Building-Integrated Photovoltaics*, NREL, Colorado.
- Oktik, Ş., 2001, *Güneş-Elektrik Dönüşümleri Fotovoltaik Güneş Gözeleri ve Güç Sistemleri*, Temiz Enerji Vakfı Yayınları, Ankara.

- Oluklulu, Ç., 2001, *Güneş Enerjisinden Etkin Olarak Yararlanmada Kullanılan Fotovoltaik Modüller, Boyutlandırılmaları ve Mimari Kullanım Olanakları Üzerine Bir Araştırma*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Pearsall, N.M., Hill, R., 2001, "Photovoltaics modules, system and applications", *Clean Electricity From Photovoltaics*, Sydney.
- Roberts, S., 1991, *Solar Electricity*, Prentice Hall, New York.
- Rüstemov, S., Demirtaş, M., "Rüzgar Enerjisinin Bugünü ve Yarını", *V. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu*, İstanbul, 26-28 Mayıs 2004.
- Sarıtaş, M., "Review paper on Solar Cell Technology", *Proceedings of ECA Electronics Technology Workshop*, TUBITAK, Gebze, 1988.
- Sayın, S., 2006, *Yenilenebilir Enerjinin Ülkemiz Yapı Sektöründe Kullanımının Önemi ve Yapılarda Güneş Enerjisinden Yararlanma Olanakları*, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Sick, F., Erge, T., 1996, *Photovoltaics in Buildings: A Design Handbook for Architects and Engineers*, James & James Ltd, London.
- Thomas, R., Grainger T., Gething, B., Keys, M., 1999, *Photovoltaic in buildings-a design guide*, ETSU, DTI, Report S/P2/00282/REP, London.
- Watt, M., Kaye, J., Travers, D., Macgill, L., 1999, *Opportunities for the Use of Building Integrated Photovoltaics*, Photovoltaics Special Research Centre, University of NSW, www.pv.unsw.edu.au/miscpapers/BIPV/Chap2.pdf.
- Yıldız, A., 2003, *Fotovoltaik Modüllerin Binalarda Kullanımı ve PVSYST 3.21 Yazılımı ile Bir Binanın Simülasyonu*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, , Ankara.

İnternet Kaynakları (Web References)

- www.californiasolarcenter.org/photovoltaics.html
- www.ecn.nl
- www.eere.energy.gov
- www.intersolar.ru/photovoltaic/
- www.pvsolmecs.com/modules
- www.pv-uk.org.uk
2003. Photovoltaics: basic design principles and components, National Renewable Energy Laboratory (NREL), Colorado, www.toolbase.org/index-toolbase.asp