

**DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**GÜNEŞ ENERJİSİNİN BİNALARDA AKTİF VE
PASİF OLARAK BİR ARADA
KULLANILMASININ İRDELENMESİ**

Serhat YALÇINKAYA

**Ekim, 2019
İZMİR**

**GÜNEŞ ENERJİSİNİN BİNALARDA AKTİF VE
PASİF OLARAK BİR ARADA
KULLANILMASININ İRDELENMESİ**

**Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Yüksek Lisans Tezi
Mimarlık Anabilim Dalı, Yapı Bilgisi Programı**

Serhat YALÇINKAYA

**Ekim, 2019
İZMİR**

YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

SERHAT YALÇINKAYA, tarafından DOÇ. DR. MÜJDE ALTIN yönetiminde hazırlanan “GÜNEŞ ENERJİSİNİN BİNALARDA AKTİF VE PASİF OLARAK BİR ARADA KULLANILMASININ İRDELENMESİ” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

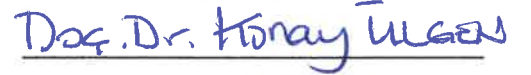


Doç. Dr. Müjde ALTIN

Yönetici



Jüri Üyesi



Jüri Üyesi



Prof. Dr. Kadriye ERTEKİN

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

TEŐEKKÖR

Tez çalıřmam sűresince akademik bilgisini ve deneyimini paylařarak beni yűnlendirmesi sayesinde çalıřmamın tamamlanmasında en bűyűk katkıya sahip deęerli danıřman hocam Doç. Dr. Műjde ALTIN'a, manevi desteęini benden hiçbir zaman esirgemeyerek yanımda olan sevgili eřim Beril YALÇINKAYA, sevgili annem Gűlten YALÇINKAYA ve sevgili babam İsmail YALÇINKAYA'ya teőekkűrű borç bilirim.

Serhat YALÇINKAYA

GÜNEŞ ENERJİSİNİN BİNALARDA AKTİF VE PASİF OLARAK BİR ARADA KULLANILMASININ İRDELENMESİ

ÖZ

Küreselleşme, nüfusun artması, teknolojik gelişmeler, kaynakların tükenmesi, fosil yakıtların çevreye zarar vermesi ve artan enerji ihtiyacı, tüm dünyayı yenilenebilir enerji kaynakları kullanımına yönlendirmiştir. Enerji verimliliği artışı, sermaye maliyetinin, bakım ve çevresel etkinin düşük olması ve Türkiye'nin yüksek potansiyeli göz önünde bulundurulduğunda, güneş enerjisinin önemi günümüzde daha da artmıştır.

Bu çalışmada, binalarda güneş enerjisi sistemlerinden pasif, aktif ve her iki sistemin bir arada kullanımını incelemek ve her iki sistemin bir arada kullanımını dünyadan örneklerle irdelemek amaçlanmıştır. Çalışmada literatür tarama yöntemi kullanılarak ulaşılan tezler, dergiler, makaleler, bildirimler, resmi kurumların yayınları ve internet kaynaklarından faydalanılmıştır. Dünyada aktif ve pasif sistemlerin bir arada kullanıldığı 12 adet bina örneği incelenmiş ve binalar mimari özellikleri, enerji üretimi ve sistem bileşenleri bakımından karşılaştırılmıştır.

Çalışma sonucunda, PV bileşenler ile güneş termal sistemlerin, özellikle de doğal havalandırmanın, bir arada kullanımının binalarda temiz enerji üretimi ve estetik görünüm sağlayarak bina kabuğunun temel parçaları olarak geliştirilebileceği görülmüştür. Teknik ve estetik olarak yüksek performansla sahip bu karma sistemlerin entegrasyonu ile yapım maliyetlerinin de azaltılabileceği belirlenmiştir. Ayrıca tasarımcıların tercihleri doğrultusunda, diğer bina elemanlarıyla bütünlük bir mimari formun da yaratılabileceği tespit edilmiştir. Bu farklı formların oluşturulmasında karma sistemlerin boyutu ve konumu, rengi, dokusu, malzeme ve modül bileşenlerine göre farklı tasarım ve üretim düzenlemeleri önerilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Güneş enerjisi, fotovoltaikler, aktif sistemler, pasif sistemler, PV/T sistemleri

EXAMINATION OF SOLAR ENERGY COMBINED USE IN BUILDINGS AS ACTIVE AND PASSIVE

ABSTRACT

Globalization, population growth, technological developments, depletion of resources, harmful environmental effects by fossil fuels and increasing energy demand have led the whole world to use renewable energy resources. When the energy efficiency increment, decreased cost of capital, maintenance and environmental impact and high potential of Turkey have considered, the importance of solar energy has increased recently.

The purpose of this study is to investigate the use of passive, active and both active and passive systems together in buildings and to examine the use of both systems with examples from all around the world. In this study, theses, journals, articles, reports, publications of official institutions and internet resources were used by using literature review method. 12 examples of buildings where active and passive systems are used have been examined and compared in terms of architectural features, energy production and system components.

In conclusion, it has been observed that the combination of PV components and solar thermal systems, especially natural ventilation, can be developed as essential parts of building envelope, providing clean energy production and aesthetic appearance. It has been determined that construction costs can be reduced with the integration of these hybrid systems which have high technical and aesthetics performance. In addition, in accordance with the preferences of the designers, it has been determined that an architectural form integrated with other building elements can be created. In designing process of these different forms, different design and production arrangements should be suggested according to the size and location, color, texture, material and module components of the hybrid systems.

Keywords: Solar energy, photovoltaics, active systems, passive systems, PV/T systems



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZ	iv
ABSTRACT.....	v
ŞEKİLLER LİSTESİ	x
TABLolar LİSTESİ.....	xiii
BÖLÜM BİR – GİRİŞ	1
1.1 Çalışmanın Amacı ve Önemi	2
1.2 Çalışmanın Yöntemi ve Kapsamı.....	3
BÖLÜM İKİ – BİNALARDA KULLANILAN PASİF VE AKTİF SİSTEMLER	4
2.1 Pasif Sistemler.....	4
2.1.1 Güneş Duvarları.....	5
2.1.1.1 Trombe Duvarı.....	6
2.1.1.2 Bidon (Su) Duvar Sistemi	8
2.1.1.3 Metal Güneş Duvar Sistemi	9
2.1.2 Güneş Pencereleri	10
2.1.3 Çatı Havuz Sistemi	11
2.1.4 Güneş Bacaları.....	12
2.1.5 Seralar - Kış Bahçeleri.....	14
2.1.6 Binanın Tasarımı	14
2.1.6.1 Binanın Yönlenmesi ve Konumu.....	15
2.1.6.2 Binanın Formu	16
2.1.6.3 Peyzaj	16
2.2 Aktif Sistemler	18
2.2.1 Güneş Kollektörleri	19

2.2.2 Fotovoltaik (PV) Sistemler	21
2.2.2.1 PV Sistemlerin Bileşenleri	23
2.2.2.1.1 PV Modüller	23
2.2.2.1.2 Aküler	23
2.2.2.1.3 İnvörtörler	24
2.2.2.1.4 Diğer Bileşenler	25
2.2.2.2 PV Sistemlerin Binalarda Kullanım Şekilleri	25
2.2.2.2.1 Cephe Bileşeni Olarak Kullanım	27
2.2.2.2.2 Çatı Bileşeni Olarak Kullanım	29
2.2.2.3 PV Sistemlerin Avantaj ve Dezavantajları	31
2.3 Aktif - Pasif Bir Arada Kullanılan Sistemler	32
2.3.1 Fotovoltaik/Isıtma (PV/T) Sistemleri	34
BÖLÜM ÜÇ – PASİF VE AKTİF SİSTEMLERİN BİRARADA KULLANIMINA YÖNELİK ÖRNEKLERİN İNCELENMESİ	41
3.1 Mont Cenis Akademisi	41
3.2 Washington Enerji Departmanı Güneş Çadırı	44
3.3 Mataro Kütüphanesi	45
3.4 Roma Çocuk Müzesi	48
3.5 Keşif Bilim Merkezi Güneş Küpü	51
3.6 Concordia Üniversitesi John Molson İşletme Fakültesi	53
3.7 BP Solar Skin	56
3.8 Paul Horn Arena	59
3.9 Solar XXI	62
3.10 Solar Office Doxford International	65
3.11 Soft House	67
3.12 Diyarbakır Güneş Evi	70
3.13 Örneklerin karşılaştırılması	73
BÖLÜM DÖRT – SONUÇLAR.....	77

KAYNAKLAR 79

EKLER

EK-1 Kısaltmalar ve Semboller Dizini 89



ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 Güneş duvarının sırasıyla perspektif ve sağdan görünümü açısından binaya konumlandırılması	5
Şekil 2.2 Trombe duvarı.....	7
Şekil 2.3 Trombe duvar uygulamasının şematik gösterimi	7
Şekil 2.4 Trombe duvarı uygulamaları a) ABD Colorado’da bulunan NREL, b) Utah’ta bulunan Zion Ulusal Parkı Ziyaretçi Merkezi	8
Şekil 2.5 Su duvarı uygulamasının şematik gösterimi	9
Şekil 2.6 Metal malzemeden üretilen güneş duvar sistemi.....	10
Şekil 2.7 Güneş penceresi uygulamasının şematik gösterimi	11
Şekil 2.8 Çatı havuzu sistemi	12
Şekil 2.9 Güneş bacası uygulamasının şematik gösterimi	13
Şekil 2.10 İspanya’daki Manzanares güneş bacası (200 m yükseklik, 10 metre çap, 50 kW güç)	13
Şekil 2.11 Geleceğin daireleri olarak tanımlanan oturma alanları.....	17
Şekil 2.12 “Sun Altar” kendi enerjisini kendi üreten havuz sistemine sahip su yapısı ve güneş enerjisi üretebilen peyzaj elemanı	17
Şekil 2.13 Avusturya’nın başkenti Viyana’da ortaya çıkan Solar Tree- Aydınlatma Elemanı Örneği	18
Şekil 2.14 Bir havalı güneş kolektör kesiti	20
Şekil 2.15 Üretimi tamamlanmış bir havalı güneş kolektörünün dış görünüşü.....	20
Şekil 2.16 Düzlemsel bir güneş kolektörünün iki boyutlu yapısı	21
Şekil 2.17 PV hücre, modül, panel ve güneş hücresi dizisi	23
Şekil 2.18 PV sistemlerde DC-DC dönüştürücü kullanımı	24
Şekil 2.19 Kavisli kil görünümü güneş kiremidi	26
Şekil 2.20 Binaya entegre şeffaf PV modüllerinden oluşan cam tavan	26
Şekil 2.21 Yarı saydam bina entegre PV/T şematik diyagramı	27
Şekil 2.22 Hollanda Petten’de bulunan ECN'deki yenilenen laboratuvarın 31. binasının güney cephesi (Dikey jaluzilerin perdeleri 35 kWp PV sistemini içerir. Tasarım: BEAR Architects, Gouda, Hollanda)	28

Şekil 2.23 Kaohsiung Dragon stadyumu a) Kuşbakışı görüntü ve b) çatıdaki BIPV modüller	30
Şekil 2.24 Tesla tarafından üretilen güneş kiremidi	30
Şekil 2.25 Farklı güneş dönüşüm teknolojileri ağı	34
Şekil 2.26 Su ve hava kullanılan PV/T panelleri	36
Şekil 2.27 Tipik bir su PV/T kollektörü.....	37
Şekil 2.28 Tipik bir hava PV/T kollektörü.....	37
Şekil 3.1 Mont Cenis Akademisinin Dış Mekân Görünüşleri	42
Şekil 3.2 Mont Cenis Akademisinin İç Mekân Görünüşü	43
Şekil 3.3 Mont Cenis Akademisi Yaz ve Kış Mevsimlerindeki Bina Havalandırma Şeması	43
Şekil 3.4 Washington Enerji Departmanı Güneş Çadırı Dış Mekân ve İç Mekân Görünüşü	44
Şekil 3.5 Washington Enerji Departmanı Güneş Çadırı Yaz Mevsimi Havalandırma Şeması	45
Şekil 3.6 Mataro Kütüphanesi Dış Görünüşü,	46
Şekil 3.7 Mataro Kütüphanesinin İç Mekan Görünüşü	47
Şekil 3.8 Roma Çocuk Müzesi Dış ve İç Görünüşleri	48
Şekil 3.9 Roma Çocuk Müzesi sabit ve hareketli gölgeleme elemanları şeması.....	49
Şekil 3.10 Binanın giriş ve güney cephesindeki PV saçaklar ve çatıya yerleştirilen PV modüller	50
Şekil 3.11 Keşif Bilim Merkezi Güneş Küpü ve İç Yapısı	51
Şekil 3.12 Keşif Bilim Merkezi Güneş Küpü Dış ve İç Görünüşü	52
Şekil 3.13 JMSB binasının cephesine entegre PV/T sisteminin sokak seviyesinden görünümü	54
Şekil 3.14 Bina cephesine entegre güneş termal hava kollektörüne takılan özel PV modülleri ve yakından görünüşü	55
Şekil 3.15 Fakültenin iç mekan görünümü ve kütüphaneden bir görüntü	56
Şekil 3.16 Cam cephede monokristal PV kaplamalı BP Solar Binası	57
Şekil 3.17 Trondheim'daki BP Solar Skin duvarında kullanılan entegre fotovoltaik hücreleri.....	58

Şekil 3.18 Çift cephenin hava hareketlerini ve ısı dengesi, bir ofisle olan mesafesi, platformlar, menfezler ve hava hareketleri (üstte) ve çift cephenin detaylı görünümü (altta)	59
Şekil 3.19 Paul Horn Arena'daki renkli polikristal güneş hücrelerinin entegrasyonu	60
Şekil 3.20 Paul Horn Arena binasının iç mekan görünümü ve havalandırma-ışıklandırma sistemleri	61
Şekil 3.21 SOLAR XXI binasının güney cephesinden dış görünümü	63
Şekil 3.22 Binaya entegre PV/T ve pencere gölgelemesi	63
Şekil 3.23 Havalandırmayı desteklemek için fotovoltaik panellerin çalışma modu .	65
Şekil 3.24 Solar Ofis Doxford International binasının dış görünümü	66
Şekil 3.25 Solar Ofis Doxford International binasının iç mekan görünümü	67
Şekil 3.26 Güneş hücrelerinin yakından görünümü	67
Şekil 3.27 Soft House'un Uyarlanabilir PV tekstil membran gölgelendirmesinin görünümü	68
Şekil 3.28 Cephe pozisyonlarına ilişkin örnekler (a) fırtınalı havada düz (b) fırtınalı havada döndürülmüş (c) kış ayında döndürülmüş.....	69
Şekil 3.29 Soft House'da bulunan yaşam alanları ve diğer yapı unsurları	70
Şekil 3.30 Diyarbakır Güneş Evinin güney cephesinden dış görünümü	71
Şekil 3.31 PV sistemin çatıya monte edilme biçimi	72
Şekil 3.32 Güneş Evine ait tromp duvarı ve sera	72

TABLULAR LİSTESİ

Sayfa

Tablo 2.1 PV sistemlerin avantaj ve dezavantajları	31
Tablo 2.2 Farklı PVT sistem uygulamalarının karşılaştırması	38
Tablo 3.1 Mont Cenis Akademi Binasının Künyesi	42
Tablo 3.2 Washington Enerji Departmanı Güneş Çadırının Künyesi.....	44
Tablo 3.3 Mataro Kütüphanesinin Künyesi	46
Tablo 3.4 Güneş Enerjisi/Termal Kollektörlerin Özellikleri	47
Tablo 3.5 Roma Çocuk Müzesinin Künyesi	48
Tablo 3.6 Projenin genel maliyet bileşenleri.....	50
Tablo 3.7 Keşif Bilim Merkezi Güneş Kúpünün Künyesi.....	52
Tablo 3.8 Concordia Üniversitesi John Molson İşletme Fakültesi Künyesi.....	53
Tablo 3.9 BP Solar Skin Künyesi	57
Tablo 3.10 Paul Horn Arena Künyesi	60
Tablo 3.11 Solar XXI Binasının Künyesi	62
Tablo 3.12 Solar Office Doxford International Binasının Künyesi	66
Tablo 3.13 Soft House binasının künyesi	68
Tablo 3.14 Diyarbakır Güneş Evinin künyesi.....	71
Tablo 3.15 Pasif tasarımlı yapı örneklerinin karşılaştırılması	74
Tablo 3.16 Fotovoltaik teknolojinin kullanıldığı yapı örneklerinin karşılaştırılması	75

BÖLÜM BİR

GİRİŞ

Enerjinin kullanımı ve sürdürülebilir enerji kaynakları, dünya literatüründe köklü geçmişe sahip bir konu olup, enerjinin sürdürülebilirliğinin sağlanması tüm dünya ülkeleri için önemli bir problemdir. Hızla tükenen enerji kaynakları, kömür, nükleer enerji ve petrol gibi yenilenemeyen enerji kaynaklarının bilinçsiz şekilde kullanımı, kaynakların çevreye ve atmosfere yönelik oluşturduğu kirlilik, insanları yenilenebilir enerji kaynakları kullanımına yöneltmiştir (Külekçi, 2009).

Geçmiş yüzyıllardaki sanayileşme, yenilenemeyen enerji kaynaklarını tüketerek kirlilik ve doğal çevreye zarar verme gibi istenmeyen sonuçlar doğurmuştur. 20. yüzyılın ikinci yarısında, nükleer kaynaklardan enerji eldesi popülerlik kazanarak sınırlı fosil yakıtlara yönelik bazı talepleri azaltmış, ancak aynı zamanda güvenlik ve siyasi sorunları ortaya çıkmıştır (Lisserre, Sauter ve Hung, 2010). Ortaya çıkan bu siyasi sorunlar ve güvenlik sorunları, yenilenebilir enerji kaynakları kullanımını tekrar gündeme getirmiş ve ülkeler çevreye en az zarar ve maliyetle en fazla enerjiyi üretebilme yollarını araştırmaya yönelmişlerdir.

Petrol, kömür ve doğalgaz kaynaklarından elde edilen enerjinin ekonomide önemli bir yeri bulunmaktadır. Ancak bu kaynakların çevre ve insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkileri de mevcuttur. Bu etki, bu kaynakların piyasada sürekli üretilmesi ve kullanımı nedeniyle bir döngü halindedir (Herzog, Lipman ve Kammen, 2001). Bu nedenlerle hem ekonomik açıdan verimli hem de çevreye duyarlı enerji kaynaklarının kullanımı için başta hükümetler olmak üzere akademisyenler ve girişimciler de seferber olmuşlardır. Dünyadaki bu gelişmeler doğrultusunda, Türkiye’de de coğrafi konumu ve kaynak zenginliği sayesinde birçok yenilenebilir enerji projeleri yürütülmeye başlanmıştır.

Türkiye’nin birincil enerji kaynakları açısından dışa bağımlılığı %72,6 oranındadır. Türkiye’nin gelecek yıllarda enerji fiyatlarında yüksek artışlar ve enerji kıtlığı-güvensizliği sorunları ile karşı karşıya kalacağı öngörülmektedir. Bu nedenle yenilenebilir enerji kaynaklarının ve teknolojilerinin geliştirilmesi, Türkiye’nin

sürdürülebilir ekonomik gelişme bakımından gittikçe önem kazanan bir olgudur (Topal ve Arslan, 2008).

Dünya nüfusunun giderek artış göstermesi ve teknolojik gelişmelere paralel biçimde sürekli artan enerji gereksinimi, özellikle fosil temelli mevcut enerji kaynaklarının tükenmeye yaklaşması, araştırmacıları yeni enerji kaynakları bulmaya yöneltmiştir. Ayrıca son yıllarda fosil yakıtların etkilerine ilişkin yapılan çalışmalarda, bu yakıtların tüketiminin çevreye olumsuz etkileri nedeniyle enerjinin kullanımı, iletimi ve tüketiminin çevreye en az zarar verecek şekilde azaltılmasına odaklanılmıştır. Bu kapsamda, güneş enerjisinden yararlanmanın önemi gün geçtikçe artmaktadır (Özdoğan ve Hıraoğlu, 2011).

Özetle; enerji kullanımında dışa bağımlılığın azaltılarak verimliliğin artırılması, çevreye zarar vermeyen ya da en az düzeyde zarar veren yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının yaygınlaşması, farklı teknolojilerle kombine sistemlerin oluşturularak kaynakların etkin kullanımı ve bu sistemlerin yapılara estetik bir biçimde uygulanabilmesi çalışmanın temel problemleri arasında yer almaktadır.

1.1 Çalışmanın Amacı ve Önemi

Bu çalışmanın amacı güneş enerjisinin pasif ve aktif olarak bir arada kullanılmasının irdelenmesidir. Bu amaç doğrultusunda güneş enerjisinden binalarda pasif olarak, aktif olarak ve hem pasif hem de aktif yöntemlerin bir arada kullanılmasıyla daha etkin enerji üretimi, fazla kaynak kullanımının önüne geçilmesi ve yüksek miktarlardaki enerji talebinin karşılanabilmesi hedeflenmektedir.

Güneşten sıcaklık ve ışık olarak gelen güneş enerjisi; su ısıtma, su arıtma, pişirme, kurutma, elektrik üretimi ve diğer uygulamalar gibi termal uygulamalar için kullanılabilirken ayrıca aydınlatma, iletişim, pompalama ve güç kaynağı gibi fotovoltaik uygulamalarda da kullanılabilir. PV sistemler, tüm yenilenebilir enerji kaynakları arasında en yüksek sermaye maliyetlerinden birine sahiptir, ancak çok düşük bakım ve onarım ihtiyaçları nedeniyle en düşük işletme maliyetine sahiptir. Artan verimlilik, düşük sermaye maliyeti, az bakım ve kirlilik fotovoltaik sistemlerinin avantajlarıdır.

1.2 Çalışmanın Yöntemi ve Kapsamı

Bu araştırmada, literatür taraması yöntemi kullanılarak fen bilimlerine ait mimarlık ve mühendislik araştırmalarının yer aldığı veri tabanlarından “güneş enerjisi”, “fotovoltaik”, “aktif sistemler”, “pasif sistemler”, “hibrid sistemler” gibi anahtar kelimelerle arama yapılarak ulaşılan tezler, dergiler, makaleler, bildirimler, resmi kurumların yayınları ve internet kaynakları kullanılmıştır. Araştırmada ulaşılan kaynaklar; yenilenebilir enerji türlerinden güneş enerjisini, aktif ve pasif sistemleri, bu sistemlerin bir arada kullanıldığı çalışmaları kapsamaktadır. Çalışmada literatür tarama yönteminin kullanılmasının nedeni, güneş enerjisinde aktif ve pasif sistemlerin bir arada kullanımının henüz dünya üzerinde yaygınlaşmakta olan ancak Türkiye’de uygulanabilirliği tartışılan bir konu olmasıdır. Geleceğe yönelik çalışmalarda matematiksel modellemeler aracılığıyla daha detaylı analizlerin yapılması amacıyla bu çalışmanın önemli bir teorik arka plan sağlayabileceği düşünülmüştür. Bu açıklamalar doğrultusunda çalışmanın kapsamı, güneş enerjisinin aktif ve pasif olarak bir arada kullanıldığı sistemler/binalar/uygulamalardır. Çalışmanın yöntemi ise, güneş enerjisinin aktif ve pasif olarak bir arada kullanıldığı 12 adet bina örneğinin karşılaştırılmasıdır.

BÖLÜM İKİ

BİNALARDA KULLANILAN PASİF VE AKTİF SİSTEMLER

Çalışmanın ikinci bölümünde, binalarda kullanılan aktif ve pasif sistemlerden bahsedilmiştir. İlk olarak pasif sistemler tanımlanarak pasif sistemleri oluşturan güneş duvarı, güneş pencereleri, çatı-havuz sistemleri, seralar ve kış bahçeleri kısaca özetlenmiştir. Sonrasında ise bina tasarımında önemli olan parametreler ortaya konularak aktif sistemlerin kullanımı ele alınmıştır. Aktif sistemlerin de kendi içerisindeki sınıflandırmalar ve sınıflandırmaya yönelik açıklamalar yapıldıktan sonra çalışmanın temel konusunu oluşturan PV sistemlerle termal sistemlerin birlikte kullanıldığı aktif-pasif bir arada kullanılan sistemler ele alınmıştır.

2.1 Pasif Sistemler

Pasif güneş enerjisi sistemlerinin yerel uygulamalardaki kolaylığı ve yüksek düzeyde teknolojik ekipmana ihtiyaç duymaması nedeniyle kendisine geniş bir kullanım alanı bulduğu belirtilmiştir. Güneş enerjisinden faydalanarak binaların ısıtma ve soğutma maliyetleri azaltılabilmekte ve enerji korunmaktadır. Pasif yöntemlerle kış mevsiminde ısı kazanımı, yaz mevsiminde ise doğal havalandırma ve soğutma sağlanabilir (Gemicioğlu, 2011).

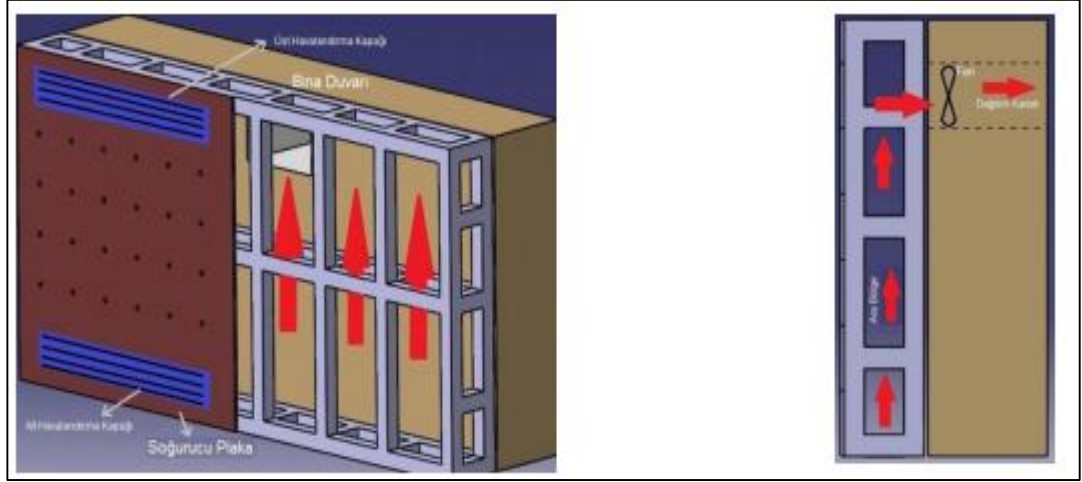
Pasif sistemler; yapıların duvarları, pencereleri ve çatı bileşenlerine ulaşan güneş ışınlarının toplanmasını sağlayarak bu güneş ışınlarını depolamakta ve iletim, taşınım, ışınım yolları aracılığıyla yapıların iç kısımlarına ısı dağılımı sağlamaktadır. Güneş ışınlarının toplanması, binaların güney yönüne açılan pencereler aracılığıyla güneş odaları, kış bahçeleri ve avlularda güneş enerjisinin toplanarak ısı enerjisine dönüştürülmesi olarak tanımlanmaktadır. Depolamada ise güneş enerjisinin toplanmasının ardından ısının belirli bölümünün anında kullanıldığı, kalan ısının ileride kullanılacak şekilde ısı kütlesi olarak belirtilen zemin ve duvarlara yayıldığı görülmektedir. Güneş ışınları zemin ve duvarlarda depolanan ısının, ışınım ve taşıma aracılığıyla mekâna dağıtılmakta, bu teknikte fanlar ve vantilatörler kullanılmaktadır (Demircan ve Gültekin, 2017).

Güneş enerjisinden yararlanan pasif ısıtma sistemlerinin binaların ısıtma yüklerine önemli katkıları olduğu bilinmektedir. Türkiye’de Karadeniz Bölgesi ile Kuzey Doğu Anadolu dışında güneş enerjisinin konutların ısıtılması açısından sağladığı faydalar birçok çalışmada belirlenmiştir. Türkiye’de pasif güneş enerji sistemlerine ilişkin üniversite ve enstitülerin faaliyetleri göze çarpmaktadır. Örnek olarak Türkiye’de ilk güneş evi 1975 yılında Ortadoğu Teknik Üniversitesinde kurulmuş, 1998 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Makina Fakültesi'nde tek hücreli trombe duvarlı bir pasif güneş sistemi kurulmuş, Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsü Laboratuvarında ise 1986 yılında toplam zemin alanı 3000 m² olan bir güneş evi kurulmuştur (Eskin, 2006).

Pasif güneş enerjisi sistemlerinden doğrudan enerji üretilen sistemlerde güneş ışığının mekana direkt alınarak kullanıldığı, gündüz fazla enerjinin duvarlarda ve döşemede depolanması ile gece de kullanılabilirdiği belirtilmektedir. Pasif güneş enerjisi sistemlerinden dolayı enerji üretilen sistemlerde ise, güneş enerjisinin mekana alınması ve depolanması aynı anda gerçekleştirilir (Uslusoy, 2012).

2.1.1 Güneş Duvarları

İlk defa 19. yy.’da uygulanma alanı bulan güneş duvarları, binalarda ısıtma ve havalandırma yükünün azaltılması amacıyla kullanılan, ucuz maliyetli ve yüksek verimliliğe sahip yapısı ile basit enerji sistemleri olarak bilinmektedir (Akhan ve Eryener, 2017). Güneş duvarlarında; uygulandıkları binanın yüzeyine ve dikey yönlerde hava akışı sağlanacak biçimde yerleştirilen delikli soğurucu yüzeyler (kollektör), soğurucu yüzey altında ve üzerinde havalandırma kapakları, soğurucu yüzey ile bina arasındaki ara bölge, ara bölgede ısınan havanın tercih edilen bölgeye taşınmasını sağlayacak dağıtım kanalları ve fan bulunmaktadır (Ay ve Khanları, 2015).

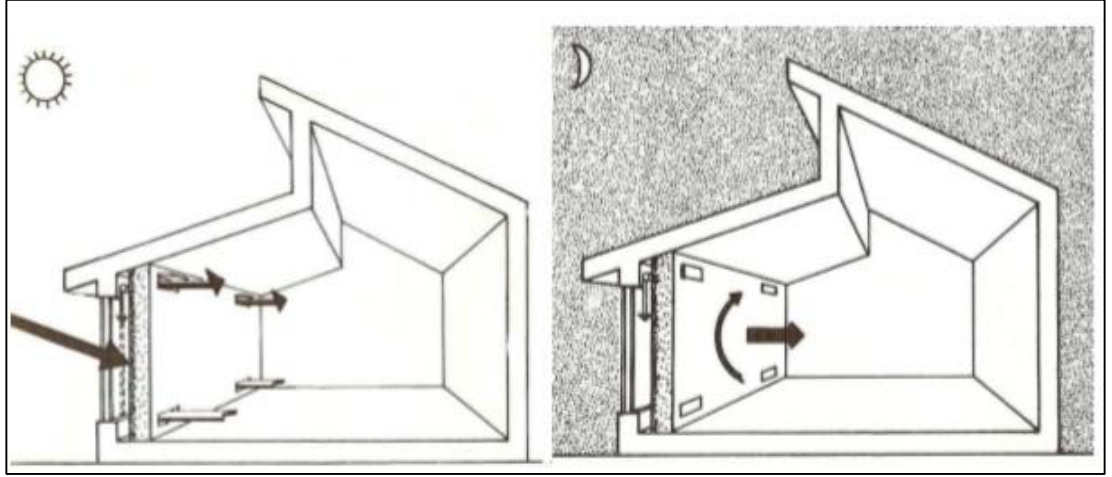


Şekil 2.1 Güneş duvarının sırasıyla perspektif ve sağdan görünümü açısından binaya konumlandırılması (Ay ve Khanları, 2015)

Türkiye'nin coğrafi konumu gereği güneş alma süresinin ve ortalama sıcaklığının yüksek olduğu söylenebilir. Bu nedenle güneş duvarlarının binalarda güneşe bakan yüzeylere uygulanması, özellikle kış aylarında ısı tasarrufu sağlamak açısından önemli bir role sahiptir. Mimari açıdan ise, binaların yapım aşamasında tasarıma dahil edilmesinin sonraki ilave maliyetleri gerektirmeyeceği, ayrıca bina kabuğu ile uyumlu renk ve dekorasyonla görünüş açısından da uyumunun sağlanabileceği söylenebilir.

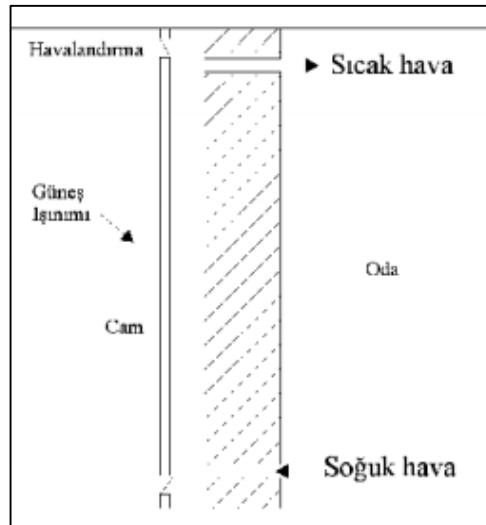
2.1.1.1 Trombe Duvarı

Güneş enerjisinden faydalanarak ısı elde etmek amacıyla binaların güney cephesinde kullanılan ve dış katmanda cam, arada hava boşluğu, iç katmanda masif bir duvarın bir araya gelmesi sonucunda oluşan ısı depolayıcı duvar tekniğidir. Bu teknik ile ısının duvarda toplanarak depolanması sağlanmakta ve bu duvar "Trombe Duvarı" olarak tanımlanmaktadır (Şekil 2.2).



Şekil 2.2 Trombe duvarı (Yüre, 2007)

Trombe Duvarı'nda güneş ışınımı, en dış yüzeyde yer alan cam yüzey sayesinde tutulmaktadır. Burada kullanılan camın güneş ışığını önemli ölçüde geçirmesi, güneş enerjisinden en üst düzeyde faydalanabilmek için gereklidir. Güneşten gelen enerji, ışınım ve taşınım aracılığıyla ara katmanda bulunan havadan masif duvar yüzeyine ulaşması ile ısıya dönüşerek iç mekânda depolanmaktadır. Duvar yüzeyi, güneş ışınımını önemli ölçüde emmek amacıyla koyu renkli olmalıdır. Masif duvarın depoladığı ısı enerjisi, iletim aracılığıyla duvardan geçmekte, taşınım ve ışınım ile iç mekâna aktarılmaktadır (Yüre, 2007). Son yıllarda basit yapılandırma, yüksek verimlilik, sıfır işletme maliyeti gibi avantajlar nedeniyle çokça kullanılmış ve gelişmiştir. Yaygın kullanım ve uygulanmayı kısıtlayan önemli etkenlerden birisi, siyah masif duvarın neden olduğu estetik olmayan özelliktir (Jie ve diğer., 2007).



Şekil 2.3 Trombe duvar uygulamasının şematik gösterimi (Yılmazoğlu, 2010)

Şekil 2.3'te görüldüğü üzere odadaki soğuk hava alt açıklıktan cam ile duvar arasındaki boşluğa girmektedir. Güneş ışınımı ise camdan geçerek boşluğa giren havayı sera etkisi ile ısıtmaktadır. Isıtılmış hava duvarın üst kısmından tekrar odaya dönmekte ve ayrıca duvarda oluşan ısınma nedeniyle odaya ışınım ve taşınım yolları ile ısı transferi gerçekleşmektedir (Yılmazoğlu, 2010).



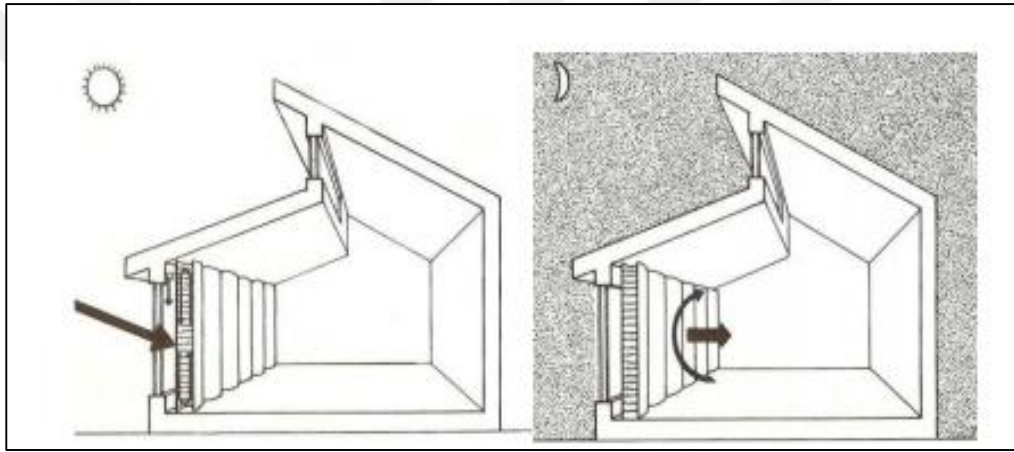
Şekil 2.4 Trombe duvarı uygulamaları a) ABD Colorado'da bulunan NREL, b) Utah'ta bulunan Zion Ulusal Parkı Ziyaretçi Merkezi (Torcellini ve Pless, 2004)

Zaman içerisinde verimliliğin artırılması amacıyla Trombe duvarlarında değişiklikler yapılmıştır. Trombe duvarlarının başlıca yararlanma işlevlerine dayanarak ısıtma esaslı bir Trombe duvar tipi ve soğutma esaslı Trombe duvar tipi olmak üzere iki sınıflandırma yapılmıştır. Isıtma esaslı Trombe duvar tipleri; klasik Trombe duvarı, kompozit bir Trombe duvarı veya Trombe-Michel duvarı, su Trombe duvarı, zikzaklı Trombe duvarı, güneş trans duvarı, akışkan Trombe duvar ve bir PV Trombe duvarı olmak üzere yedi farklı kategoriye ayrılmıştır. Soğutma esaslı Trombe duvar tipleri ise; seramik buharlaştırıcı soğutma duvarı, soğutma işlemi için klasik bir Trombe duvar ve PV Trombe duvar ve güneş bacası ile birlikte yeni tasarlanmış bir Trombe duvarı olmak üzere üç grupta incelenmektedir (Hu ve diğer., 2017).

2.1.1.2 Bidon (Su) Duvar Sistemi

Binalarda güney cephesine uygulanan su duvar sistemi, camın arkasına yerleştirilen ve içinde su ya da benzer bir akışkan gibi ısı depolayıcı bir akışkanın kullanıldığı düşey doğrultudaki tüplerden meydana gelmektedir (Efthymiou, 2007; Karamanlioğlu, 2011).

Su duvar sisteminde ısının depolandığı kütlede su ya da suya benzeyen bir akışkan bulunmaktadır. Öncelikle güneş ışınlarının gündüz vakti cam yüzeyden geçmesi ile koyu (genellikle siyah) renkli bidonlar ısıyı toplamakta ve depolamaktadır. Bidona depolanan bu ışınlar, bidondaki suyu ısıtmaktadır. Ardından bidonların içerisinde biriken enerjinin taşınım ya da ışınım aracılığıyla yapı içerisine iletimi gerçekleşmektedir. Gündüz elde edilen ısının gece kaybedilmemesi amacıyla duvar şeklinde yalıtılmış kapakların kapatılması önerilmekte ve bu uygulama ısıl kayıpları engellemektedir. Bu sistemlerin dezavantajı ise, bidonlardaki suyun buharlaşması, korozyona uğraması veya sızmasıdır (Demircan ve Gültekin, 2017). Su duvarı uygulamasına ilişkin örnek Şekil 2.5'te gösterilmiştir.



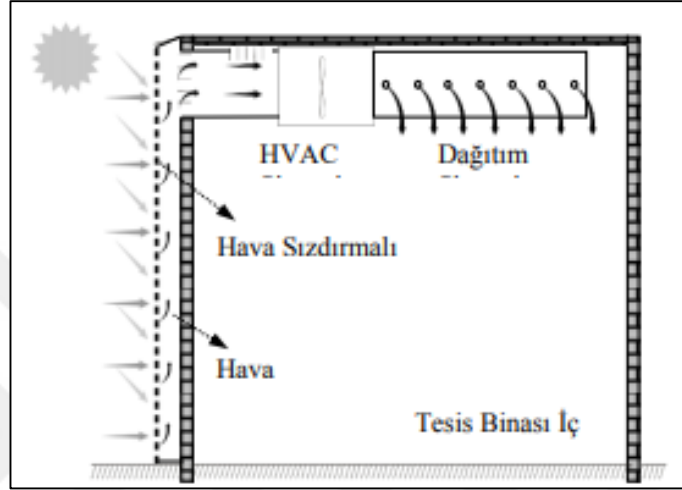
Şekil 2.5 Su duvarı uygulamasının şematik gösterimi (Demircan ve Gültekin, 2017)

Burada konteynerin türü, ısı depolama kapasitesini ve depolanan ısının dağılım hızını etkilemektedir. Konteynerler aynı zamanda metal veya camdan yapılabilir. Tüp şeklinde, bidonlar veya davullar ve su dolu beton duvarlar kullanılmaktadır. Malzemenin seçimi ve çevreleme biçimi, su duvarının ekonomisi kadar önemli bir faktördür (Efthymiou, 2007).

2.1.1.3 Metal Güneş Duvar Sistemi

Yeni güneş duvar sistemlerinden hava sızdırma tekniğinin kullanıldığı sistemler ön plana çıkmıştır. Bu sistemlerin ilgi görmesinin nedeni, düşük maliyetler ve basit yapı yanında hava sızdırma tekniğinin birçok bölgeden emiş aracılığıyla enerjinin dönüştürülmesinde yüksek verimlilik sağlamasıdır. Hava sızdırmalı sistemlerde güneş enerjisinin taze hava ile gerçekleştirilmesi, ısıtmanın ve havalandırmanın birlikte

yapılmasını sağlamaktadır. Metal materyalden üretilen hava sızdırmalı güneş enerjisi sistemi, uygulamaya göre camlı ya da camsız şekilde binanın dış cephesine kaplama biçiminde monte edilmektedir (Şekil 2.6). Sistemin en fazla öne çıkan elemanı, güneş enerjisinin emilimini sağlayan hava sızdırmalı emici paneldir. Emici yüzey, üzerinde bulunan çok sayıdaki özel tasarımı milimetrik delikler aracılığıyla dış havanın güneş enerjisiyle ısıtılarak iç mekana aktarımını gerçekleştirir (Akhan ve Eryener, 2017).



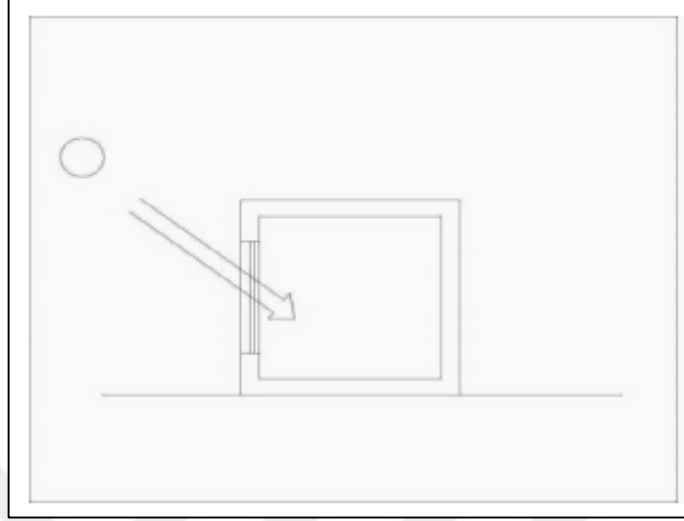
Şekil 2.6 Metal malzemeden üretilen güneş duvar sistemi (Akhan ve Eryener, 2017)

Bu sistemde havanın panelden girişi birçok noktadan sağlanırken, hava çıkışının yalnızca bir noktadan olması konveksiyonla meydana gelen ısı kaybının en aza indirilmesini sağlamaktadır. Bu da sistemin verimliliğini artıran en önemli avantajdır.

2.1.2 Güneş Pencereleeri

Güneşten elde edilmesi planlanan ısı kazancının maksimum olmasını sağlamak amacıyla bina kabuğunun şeffaf bileşenleri önemli görevlere sahiptir. Şeffaf yüzeyler doğru şekilde tasarlandığında; soğuk mevsimlerde güneşten ısıtma amaçlı faydalanmayı ve ısıtma yükünün azaltılmasını sağlamakta, sıcak dönemlerde ise aşırı ısınmayı engelleyerek, soğutma yükünün artışının önüne geçecek önlemleri içeren bir tasarıma gereksinim duyulmaktadır. Güneş pencerelerinin büyüklüğü, basit ve kolay uygulanabilen pasif kullanım bakımından güneş ışınımına ve binanın ısı ihtiyacına göre farklılık göstermektedir. Binada masif duvar ve döşemede toplanarak ısı enerjisine dönüştürülen güneş miktarı, güneş penceresinin formuna ve konumuna göre değişmektedir. Yataydaki güneş pencereleri, güneş ışınımının geniş alana yayılımını

sağlarken, düşeydeki güneş pencereleri güneş ışınımının mekanın derinliğine etki ettiği belirtilmektedir (Yetkin, 2014).

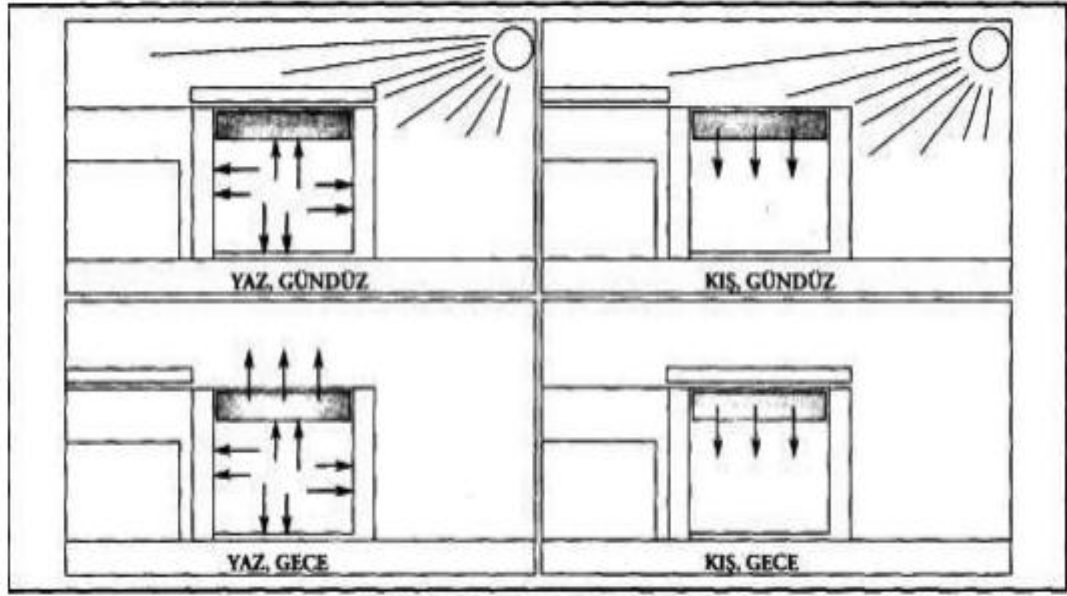


Şekil 2.7 Güneş penceresi uygulamasının şematik gösterimi (Uslusoy, 2012)

Güneş pencerelerinin olumsuz yönü, yalıtımda ısı korunumunun güneş duvarına nispeten daha zor olması ve ısının korunması amacıyla çift cam kullanımını gerektirmesidir (Uslusoy, 2012).

2.1.3 Çatı Havuz Sistemi

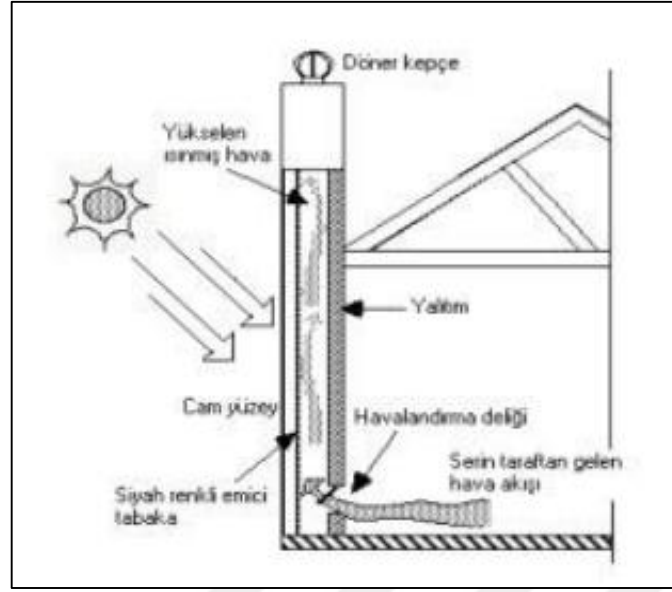
Alanyazında Dam Havuz Sistemi şeklinde belirtilen çatı havuz sistemi, esasen ısı bir depolama sistemidir. Çatı havuz ısıtmasının bulunduğu binaların konfor düzeyinin çok yüksek olduğu belirtilmektedir. Binaların çatılarına yerleştirilen su dolu havuzlar ya da plastik torbalar tarafından doğrudan depolanan enerji, gece vakitlerinde binaya verilerek ısı kaynağı olarak kullanılmaktadır. Kış mevsiminde gündüz vakitleri suyla dolu torbaların ısıtılması amacıyla kepenkler yerleştirilmiştir. Gece vakti ise kepenkler indirilerek örtü ile ısı kaybının önlenmesi amaçlanmaktadır. Gündüz vakitlerinde ısınan torbalar, gece vakitlerinde radyasyonla iç mekânı ısıtır. Yaz mevsiminde torbaların üzerinin kapalı olması sayesinde güneşten gelen olumsuz etkiler önlenirken, gece kepenkler açılarak binanın içerisinden dış ortama doğru ısının geçişiyle soğutma gerçekleştirilebilmektedir (Ülgen, bt).



Şekil 2.8 Çatı havuzu sistemi (Ülgen, bt)

2.1.4 Güneş Bacaları

Güneş bacaları (ısııl bacalar) olarak bilinen sistemler, güneşten gelen enerjiyi toplayan ve bu enerjiyi baca içerisinde dolaşan havaya aktaran sistemlerdir. Güneş bacaları, yapıların güney cephelerinde en yüksek çatı yüksekliğinde olacak biçimde tasarlanmaktadır. Bacanın dış yüzeyinde şeffaf bir cam kaplama bulunurken, bacanın iç yüzeyine güneş ışınlarının emilmesini sağlayan koyu metal kaplama yapılmaktadır. Bu sistemde çevredeki havanın baca aracılığıyla toplanması ve bu havanın güneş ışınımı ile yükselmesi söz konusudur. Rüzgâr hızının az olduğu koşullarda, bacanın üzerine konumlandırılan dönen rüzgâr kepçesi aracılığıyla havanın dışarıya atılması hızlandırılır. Bacanın alt bölümünden giriş yapan serin havanın sirkülasyonu ile doğal havalandırma sağlanır (Demircan ve Gültekin, 2017).



Şekil 2.9 Güneş bacası uygulamasının şematik gösterimi (Uslusoy, 2012)

1970'li yılların sonunda ortaya atılan güneş bacası fikri Schlaich (1986) tarafından geliştirilmiştir. Bunun ardından İspanya Manzanares'de bulunan pilot tesisin yapımı başlamıştır. 50 kW güç kapasitesine sahip bu pilot tesisin 7 yıl boyunca elektrik ürettiği belirtilmektedir. Baca yaklaşık 200 m yüksekliğinde ve 10 m çapında olup, yapısında 122 m çaplı kollektör alanı barındırmaktadır (Üçgül ve Koyun, 2010).



Şekil 2.10 İspanya'daki Manzanares güneş bacası (200 m yükseklik, 10 metre çap, 50 kW güç) (Kıncay ve Utlı, 2018)

2.1.5 Seralar - Kış Bahçeleri

Kış bahçesi ile ışının iç mekâna daha fazla alınması sağlanmaktadır. Kış bahçelerinde ısıtılması amaçlanan iç mekânla doğrudan ilişki kurulmaktadır. Dolaylı kış bahçelerinde ise iç mekânla kış bahçesi arasında doğrudan hava akımı bulunmamaktadır. Burada ısı, termal kütleden difüzyon ile yayılmaktadır. Kaya zemin-kış bahçesi ise, kış bahçesinin elde ettiği ısının, fanlar aracılığıyla döşeme altında bulunan kayalarda depolanması amacıyla pompalandığı belirtilmektedir. Dolaylı kış bahçesinde, yaşam alanı ile bahçe arasındaki hava akımı aracılığıyla ısı transferi için bahçe sistemine kapaklar ilave edilmektedir. Geceleri sıcak olması gereken hacmin azaltılarak yaşam alanındaki ısı kayıplarını önlemek için havalandırma kapakları kapatılmalıdır. Yaz aylarında aşırı ısınmayı önlemek amacıyla güneş kırıcıların veya yaprak döken ağaçların kullanılabileceği öne sürülmüştür (Mutlu Danacı ve Gültekin, 2009).

Güney yönüne bakan seralar, ısıtma sağlanacak mekânlar ile doğrudan bağlantılı olabilirken, kimi zaman mekânlar arasında hava akımının geçmeyeceği düzende bir termal kütle aracılığıyla ısının difüzyon ile yayılması sağlanabilir. Bu termal kütleye kapakların ilave edilmesi ile kış bahçesi ve iç mekân arasında ısı transferi sağlanabilir. Yaz aylarında ise istenmeyen ısı kazanımına karşı gölgeleme sistemleri tasarlanabilmektedir.

2.1.6 Binanın Tasarımı

Bina tasarımında enerjinin etkin olarak kullanımını dikkate alarak yapılan tasarımı ifade eden enerji etkin yapı tasarımı; mimari tasarımın iklim, hâkim rüzgârların türü ve yönü gibi farklı fiziki koşullardan faydalanarak, enerjinin verimli ve etkin kullanılması amacıyla gerçekleştirilen tasarımlardır. Bu yapıların tasarımında aktif ve pasif denetim imkânları sağlayarak ısıtma, soğutma, havalandırma, aydınlatma gibi performansın arttırıldığı ve enerjinin korunumunun sağlandığı denetimlerin gerçekleştirilmesi gereklidir. Ayrıca mimari tasarım ölçütlerinin tespit edilerek tasarımların yapılması zorunludur. Bina tasarımında enerji verimliliğine etki eden faktörler şunlardır (Dikmen, 2011):

- Binanın yeri,
- Binanın çevre yapılara olan uzaklığı ve konumu,
- Binanın yönü ve formu,
- Bina kabuğuna ait ısı geçişlerinde etkili fiziki özellikler,
- Binanın dış ortamındaki aydınlık seviyesi,
- Bina özellikleri dışında kalan iklimsel ve görsel konfor açısından etkili engeller,
- Binanın iç hacmine ilişkin özellikler,
- Binanın pencereleri ve camları gibi yapı unsurlarına ait boyut ve özellikler,
- Binada yapay aydınlatma sisteminin unsurlarına ait özellikler,
- Binada güneş kontrol ve doğal havalandırma sistemleri.

2.1.6.1 Binanın Yönlenmesi ve Konumu

Binanın yönünün güneşe göre belirlenmesi, binadan dış ortama ısı kaybının önlenerek enerjinin korunması yanı sıra bina içindeki ısı konforu etkilemektedir. Isıl konforun sağlanması ile bina içinde istenen sıcaklıklar elde edilmekte ve bina kullanıcılarının memnuniyeti de artmaktadır (Soysal, 2008). Bina tasarımının doğal havalandırma sağlayacak çözümlere sahip olması; binanın ısıtılması, soğutulması, havalandırılması ve iklimlendirmesi için gereken maliyetleri düşürerek enerji korunumunu sağlayacaktır. Bina tasarımında binanın yönü ve konumunun seçilmesi aşamasında temel prensip, güneş ısısından ve ışınımından faydalanarak, güneşin olumsuz etkilerinden korunmaktır (Alparslan, Gültekin ve Dikmen, 2009).

Binanın yerinin seçiminde güneş ışınımı, havanın sıcaklığı ve hareketi, nem gibi mikro iklim koşulları, binada enerji etkinliği ve tüketimi açısından önemli belirleyici unsurlardır. Yüksek binalarda rüzgâra fazla maruz kalma ve ısı kaybı ortaya çıkmaktadır. Güneş ışınımı tarafından oluşan ısıtıcı etki ile rüzgârın serinleten etkisi arasındaki denge, binanın yönüne göre farklılaşmaktadır. Güneş ve rüzgârın

oluşturacağı etkilerin, bina için en uygun duruma getirilmesi amacıyla bölge ve iklim koşulları doğrultusunda tasarım sürecinin tüm aşamaları gözden geçirilmeli ve bina için uygun konumlandırma gerçekleştirilmelidir (Dikmen, 2011).

2.1.6.2 Binanın Formu

Binaların formu, ısı kayıpları ve kazancını etkileyerek enerji verimliliğini belirleyen bir faktördür. Bina formu çerçevesinde binanın uzunluğu/derinlik oranının, yüksekliğin, çatının türünün ve eğimin, cephe ve pencere şekillerinin, binayı meydana getiren yüzeylerin bina hacmine oranları da enerji verimliliğinde etkili olabilmektedir (Göksal ve Özbalta, 2002).

Binalarda duvarların ve çatıları yüzey alanlarındaki artışın enerji verimliliğini azalttığı belirtilmektedir. Dolayısıyla yaz aylarında güneşten korunmak, kış aylarında ise güneş ışınımından en fazla faydayı sağlamak için pencerelerin güney yönünde konumlandırılması gereklidir. Yüksek ısı kaybı ve enerji kullanımının olduğu iklimlerde ise; kuzey yönünde sağır cephe ve peyzaj, güney yönünde ısı kaybı düşük camlar, kuzey yönünde güney yönüne bakan çatı pencereleri kullanılması önerilmektedir (Soysal, 2008).

2.1.6.3 Peyzaj

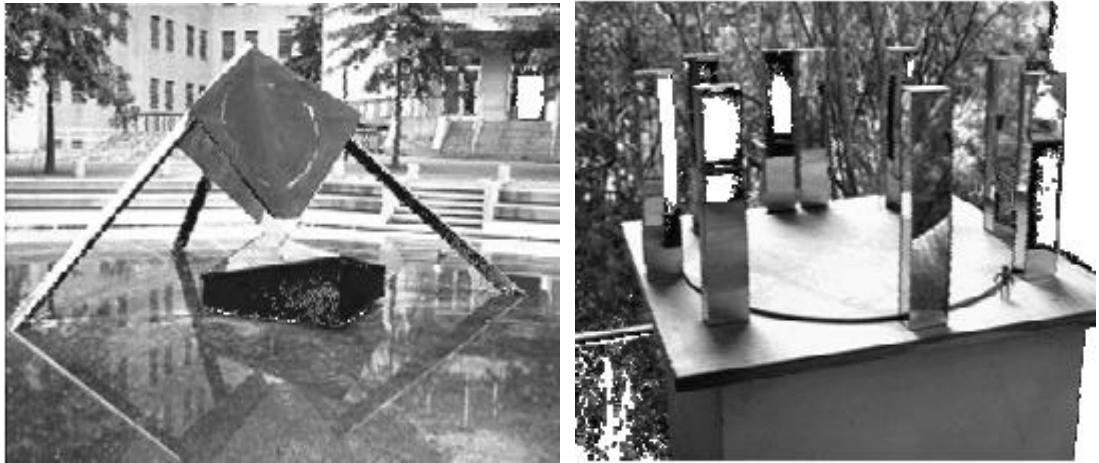
Peyzaj tasarım, bina planlamasında yer alan kararlar doğrultusunda bina alanlarının şekillendirilmesi olarak tanımlanmaktadır. Peyzaj tasarımın amacı, bina alanlarına yönelik olarak en iyi mekânsal kompozisyonu sürdürülebilirlik ve tasarım ilkelerine bağlı kalarak oluşturmaktır. Peyzaj tasarımda mekânın kompozisyonunu oluşturma sürecinde işlevsellik, tasarım amacına uygunluk, sosyal çözümler, ergonomi ve konfor göz önünde bulundurulmalıdır (Korkut, Kiper ve Üstün-Topal, 2017).

Soyut mekânların somuta dönüştürülmesi, dinlenme ve görselliğin bir araya geldiği peyzaj tasarım ve donatı unsurları ile ortaya çıkan “geleceğin daireleri-future circles”, batık oturma alanları olarak bilinen güncel bir uygulamadır. Bu oturma alanları peyzajın görsel estetiğini kapatmayarak, güneş ışınlarını etkin kullanmayı ve böylece sürdürülebilir enerji üretimine katkıda bulunmayı amaçlamaktadır. Güneş panelleri, gerek duyulduğu anda sensörler aracılığı ile görev yapmak üzere yere gömülmeğe ya

da yüzeye çıkmaktadır. Sistem, ayrıca birbirinden bağımsız hareket etme özelliğine sahip güneş panelleri ile desteklenmektedir. Bu paneller güneşin yönüne göre zeminden 2 metreye kadar yükselerek hem oturma alanına gölge yapabilmekte hem de üzerindeki panelleri sayesinde güneş enerjisini depolayarak kullanım alanı için yenilenebilir doğal enerji kullanılmasını sağlamaktadır. Ayrıca geleceğin daireleri, geceleri açık hava sineması olarak da kullanılabilir.



Şekil 2.11 Geleceğin daireleri olarak tanımlanan oturma alanları (Bobat ve Bingöl, 2016)



Şekil 2.12 “Sun Altar” kendi enerjisini kendi üreten havuz sistemine sahip su yapısı ve güneş enerjisi üretebilen peyzaj elemanı (Mutlu Danacı ve Gültekin, 2009)

Güneş enerjisi teknolojisiyle oluşturulan “Solar Tree-Güneş Ağacı”, kentsel aydınlatma amacıyla Ross Lovegrove tarafından tasarlanmış ve ilk defa Viyana’da

halka sergilenmiştir. Güneş Ağacı, aydınlatma elemanı olarak sosyal, kültürel ve ekolojik gereksinimlere ilgi çekerek kent mimarisine farklı bir yaklaşım getirmiştir. Ringstraße Bulvarı'na konumlandırılması planlanan Güneş Ağacı uygulaması ile Viyana Belediyesi, diğer aydınlatma türlerine alternatif ve yenilikçi bir aydınlatma kavramını sunmayı hedeflemiştir (Özek, 2009).



Şekil 2.13 Avusturya'nın başkenti Viyana'da ortaya çıkan Güneş Ağacı- Aydınlatma Elemanı Örneği (Özek, 2009)

2.2 Aktif Sistemler

Akif güneş enerjisi sistemleri, teknik donanımlar aracılığıyla güneş enerjisi elde edilen sistemlerdir. Aktif güneş enerjisi sistemleri temel olarak iki gruba ayrılmaktadır. İlk grupta yer alan güneş kolektörleri, güneş ışınımı ile elde edilen ısı enerjisinin kolektörlerde toplanması ve binaların sıcak su-ısıtma gereksinimlerinin karşılanması amacıyla kullanılmaktadır. İkinci gruptaki fotovoltaik sistemler, binalarda güneş enerjisinin elektrik enerjisine dönüştürülerek kullanılmasını sağlayan sistemlerdir (Gemicioğlu, 2011).

Güneş enerjisinden aktif olarak faydalanma sistemleri, güneş ışınımını enerjiye çevirerek, elde edilen enerjinin etkin kullanımını sağlayan bileşenlerdir. Diğer bir ifadeyle, güneş enerjisinin, belirli amaçlara uygun olarak üretilen kolektörler tarafından emilen güneş ışınımının, istenen enerji formuna dönüştürülerek binalarda kullanımını mümkün kılan mekanik ya da elektronik elemanların oluşturduğu

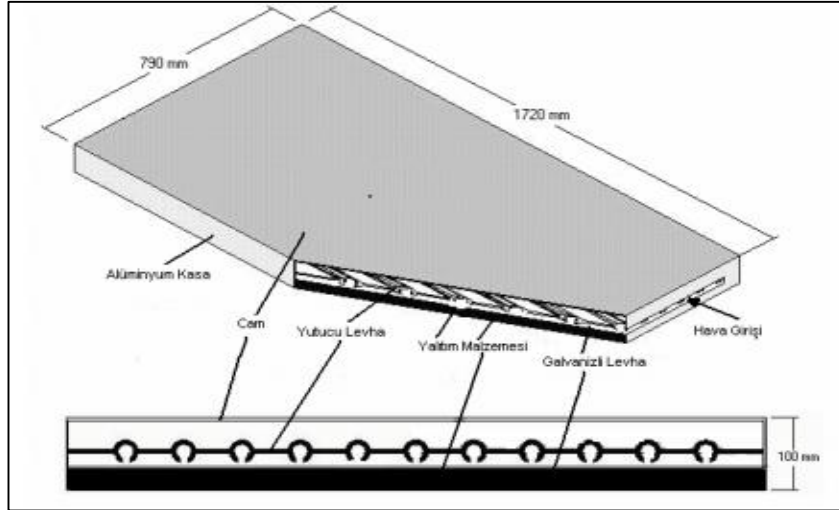
sistemlerdir. Bu sistemler aracılığı ile güneş ışınımının ısı, elektrik ve hem ısı hem elektriğe dönüştürülebildiği bilinmektedir. Güneş ışınımını enerjiye dönüştüren bu sistemler, ürettikleri enerjilere göre;

- Isı enerjisi üreten, Güneş Enerjili Isıtma Sistemleri (Solar Thermal systems),
- Elektrik enerjisi üreten, Işıl Elektrik (Fotovoltaik) Sistemler (PV systems),
- Isı ve elektriği aynı anda üreten Güneş Enerjili Isıtma / PV Sistemler (T/PV) olarak sınıflandırılmaktadır (Yetkin, 2014).

2.2.1 Güneş Kollektörleri

Güneş kollektörleri, en yalın şekliyle güneşten elde edilen kullanılabilir enerjinin toplanarak farklı akışkanlar aracılığıyla (hava vb.) farklı bir ortama iletilmesini sağlayacak sistem elemanları olarak tanımlanmaktadır (Değirmencioglu ve İlken, 2003). Güneş kollektörleri genel olarak düzlemsel ve havalı kollektörler olmak üzere iki farklı grupta incelenmektedir. Havalı güneş kollektörleri genellikle yapıları ısıtma ve tarımsal ürünleri kurutma amacıyla tercih edilmektedir (Gedik, Keçebaş ve Öz, 2008).

Havalı güneş kollektörleri hafif, hacimsel ısıtmada avantajlı, uzun kullanım ömrüne sahip, donma ve korozyon sorunları bulunmayan basit araçlardır. Geleneksel bir havalı güneş kollektör sisteminde hava ısıtıcı, yutucu plaka, hava geçişinin sağlandığı plakaları içeren üst kısım ve üzerinde cam ya da plastik kapatma veya yan kısımlarda yalıtım kasasından oluşmaktadır. Tasarım ve onarım uygulamaları basit olan havalı güneş kollektörlerinin en önemli yetersizliği, yutucu plakayla hava arasında ısı transferinin az oluşu nedeniyle ısı veriminin düşük olmasıdır (Bulut ve Durmaz, 2006).



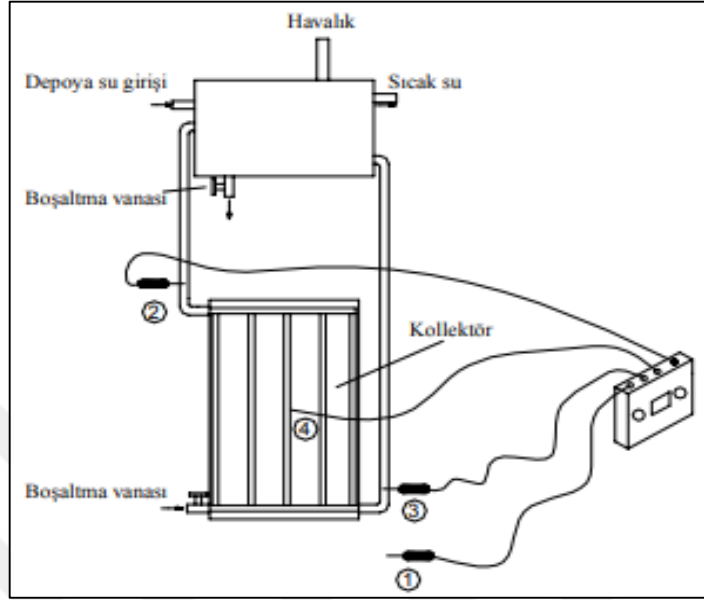
Şekil 2.14 Bir havalı güneş kolektör kesiti (Bulut ve Durmaz, 2006)



Şekil 2.15 Üretimi tamamlanmış bir havalı güneş kolektörünün dış görünüşü (Bulut ve Durmaz, 2006)

Düzlemsel güneş kolektörleri ise, başlıca temel olarak bir soğurucu levha, ısı transferi için gereken bir ya da daha fazla akış kanalı, soğurucu levha-akış kanalı altında bulunan yalıtım tabakası, dış kasa ve bir ya da iki geçirgen örtüden oluşmaktadır. Soğurucu levha genel olarak metal bir plaka ya da metal tabakaların bir araya getirilmesi ile oluşturulan bir yüzeydir. Güneşten gelen ışınların emiliminin sağlanması amacıyla soğurucu levhalar siyah boya ya da metal oksit materyalleri ile kaplanmaktadır. Akış kanalları ise ısı transferinin artırılması için kullanılmaktadır. Geçirgen örtü olarak genellikle temperlenmiş pencere camı kullanılmakta ve bir ya da iki statik hava tabakası oluşturularak, taşınım yoluyla atmosfere olan ısı kaybı azaltılmaktadır. Soğurucu levha ve akış kanallarının etrafına yerleştirilen yalıtım

tabakası ile kollektörün altından ve yan duvarlarından olan ısı kayıpları engellenmektedir. Tasarımdaki kasanın işlevi ise, dış etkenlere dayanıklı yapının sağlanmasıdır (Değirmencioglu ve İlken, 2003).



Şekil 2.16 Düzlemsel bir güneş kollektörünün iki boyutlu yapısı (Özkaya, Variyenli ve Korkmaz, 2007)

Düzlemsel güneş kollektörlerinin ısıl verimlerinin bağlı olduğu değişkenler; yutucu yüzeyin optik ve ısıl verimleri, sıcaklık ve rüzgâr hızı, güneş ışınımının geliş açısı, kollektör düzlemine gelen güneş ışınımı, kollektör eğimi, kullanılan akışkanın kütledebisi olarak sıralanmıştır (Şener, 2013).

2.2.2 Fotovoltaik (PV) Sistemler

Fotovoltaik teknoloji, yenilenebilir enerjiler kapsamında belirgin bir rol oynamaktadır. Güneş ışığının emisyonuz bir şekilde elektrik enerjisine dönüştürülmesini mümkün kılan bu teknoloji, yüksek potansiyeli sayesinde gelecekteki enerji sistemlerinde önemli bir dayanak olacaktır (Mertens, 2013). Fotovoltaik sistemlerde elektrik üretimi süreci, diğer olağan enerji kaynaklarından ziyade daha kolay ve daha az zararlıdır. Fotovoltaik süreçte, fotonlar adı verilen hafif parçacıklar hücelere nüfuz eder ve elektronları silikon atomlardan serbest bırakarak elektrik akımı yayar. Işık hücelere yayıldığı sürece elektrik üretilebilmektedir. Fotovoltaik modüller tarafından gerçekleştirilen elektrik üretiminin tamamen güvenli olması da bu yöntemin diğer bir avantajıdır (Sa'atlu, 2014).

Fotovoltaik teknolojiye ilişkin çalışmalar yaklaşık 100 yıldan fazla bir zamandan beri süregelmektedir. İlk olarak 1839 yılında Fransız fizikçi Alexandre-Edmond Becquerel “*Fotoelektrik Etki*”yi gözlemleyerek keşfetmiştir (Altın, 2005). 1873 yılında İngiliz bilim adamı Willoughby Smith, selenyumun ışığa karşı duyarlı bir madde olduğunu keşfetmiştir (Sa’atlu, 2014). 1883 yılında Charles Edgar Fritts, günümüzde kullanılan teknolojiye en yakın şekilde ancak %1-2 gibi düşük bir verimle ilk selenyum güneş hücresini üretmiştir (Zaytsev, 2014). Albert Einstein 1905 yılında ışığın doğası ve fotoelektrik etkiyi çalıştığı mekanizma teoremleri ile Nobel ödülüne layık görülmüştür (Yajnik, 2017).

Bilim adamlarının düşük hücrelerle ilgili çalışmaları 1950’li yıllara kadar devam etmiştir. 1950’li yılların başında Bell Laboratuvarları’nda görev alan bilim adamları, dünyada oksijenden sonra en çok bulunan ikinci element olan silikonun çok fazla saflaştırılması durumunda gün ışığına karşı duyarlı olduğunu keşfetmişlerdir. 1954 yılı itibariyle %6 verimliliğe sahip silikon bazlı güneş hücreleri geliştirilmiş (Hegedus ve Luque, 2014), Bell Laboratuvarları tarafından ilk “*Silisyum Güneş Hücresi*” için patent alınmıştır (Altın, 2005). Güneş hücreleri ile ilk laboratuvar dışı uygulamalar 1950’li yılların sonunda ABD’nin Georgia eyaletinin kırsal kesimlerindeki telefon istasyonlarında başlamıştır (Sa’atlu, 2014). NASA ise 1960’ların başında "Vanguard I" isimli uydusunun enerji ihtiyacının bir kısmını 108 hücreden oluşan PV sistemi ile karşılamıştır (Keser, 2010).

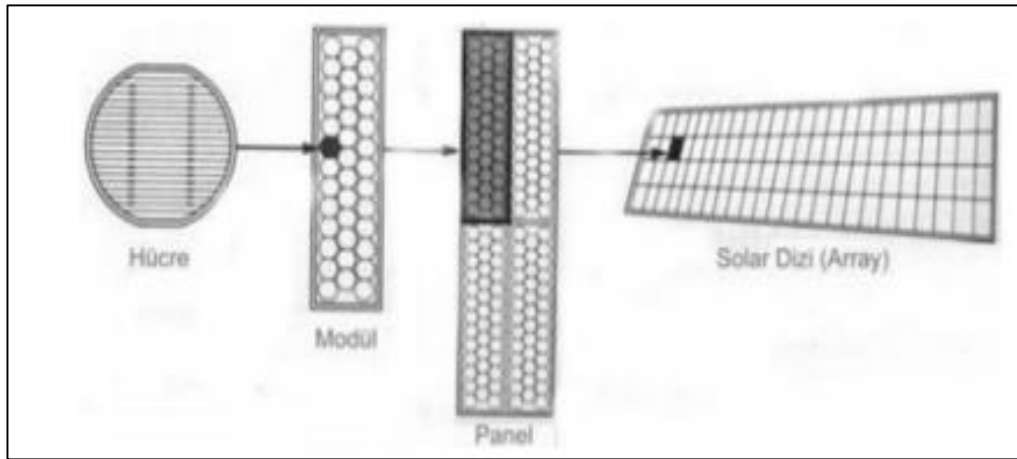
Fotovoltaik enerjiye yapılan yatırımlar ve sonucunda elde edilen mevcut üretim kapasitesi alanında Almanya ilk sırada yer almaktadır. Bulunduğu coğrafi konum nedeniyle Almanya’nın yıllık güneşlenme süresi çoğu ülkeyle karşılaştırıldığında daha az olmasına rağmen güneş enerjisinden elektrik enerjisi elde etme yolundaki atılımları kayda değerdir. 2009 yılı itibariyle fotovoltaik üretim kapasitesinin neredeyse yarısına (%47) sahip olan Almanya’yı, %16 ile İspanya ve %13 ile Japonya takip etmektedir. 2010 yılında ise dünya genelinde 15.000 MW’lık yeni fotovoltaik sistem kurulumu gerçekleşmiş olup toplam kapasite miktarı 40.000 MW düzeyine gelmiştir. Son yıllarda gerçekleşen fotovoltaik enerji yatırımının %70’lik kısmında Avrupa ülkelerinin imzası bulunmaktayken ABD., Japonya, Çin ve Avustralya gibi ülkeler de yaptıkları yatırımlarla bu pazarda yer almaya başlamışlardır. 2010 yılı sonunda yapılan

hesaplamlarda ise dünya genelinde fotovoltaik enerji üretim kapasitesinin 40GW'a çıktığı tespit edilmiştir (Çukurova Kalkınma Ajansı, 2012).

2.2.2.1 PV Sistemlerin Bileşenleri

Bir fotovoltaik sistemi meydana getiren bileşenler temel olarak PV modülleri, invertörler (dönüştürücüler), aküler, şarj denetim birimleri ve diğer bileşenlerdir (Sayın ve Koç, 2011).

2.2.2.1.1 PV Modüller. PV modülleri bir PV sisteminin en önemli parçaları olarak bilinmektedir. PV hücreler güneşten gelen enerji aracılığıyla elektrik üreten yarı iletken materyalden üretilmiştir. PV modüller genellikle mikron düzeyinde inceliğe sahiplerdir ve hücre alanları yaklaşık 100 cm² olan kare, dikdörtgen ya da dairesel şekillerdedir. Bir PV hücresinden elde edilen enerjinin az olması nedeniyle bu hücrelerin seri ya da paralel bağlanması ile modüller, modüllerin de bir araya gelmesi ile paneller oluşmaktadır. Büyük miktarda elektrik üretimi ise, panellerin birbirine bağlanması ile güneş enerjili PV dizileri oluşumu sayesinde gerçekleştirilir (Sayın ve Koç, 2011).



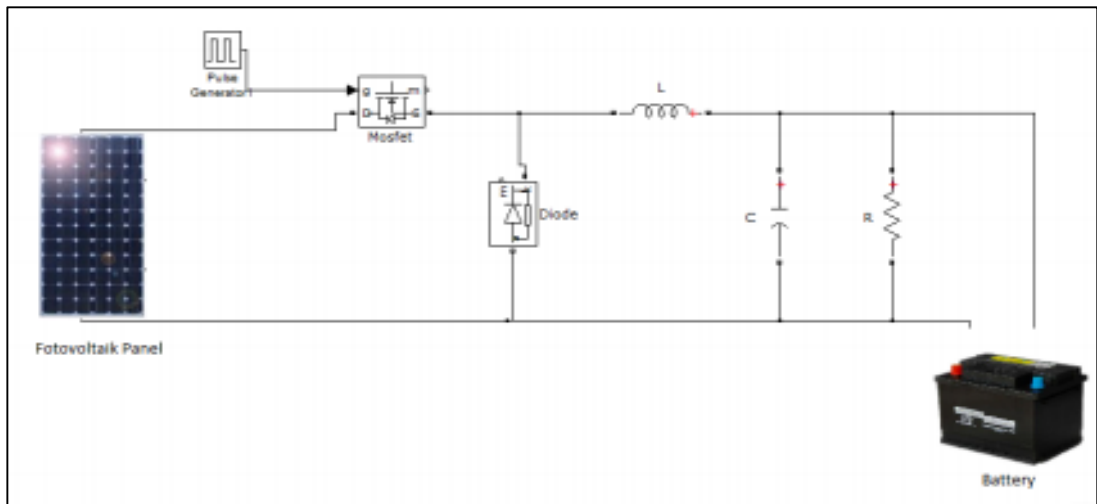
Şekil 2.17 PV hücre, modül, panel ve güneş hücresi dizisi (Sayın ve Koç, 2011)

2.2.2.1.2 Aküler. Aküler, diğer güneş sistemi elemanlarının üzerine bağlandığı ve elektrik hattı bulunmayan sistemlerde üretilen enerjinin depo edilerek, daha sonra kullanımlarda rol oynayan ekipmanlar olarak tanımlanmaktadır. PV sistemleri için tercih edilen akü cinsi kurşun oksit kuru aküleridir. Islak akülerde maliyetin düşük ancak bakım ihtiyacının fazla olduğu belirtilmiştir. Jel tipi akülerin ise yavaş yüklenme

nedeniyle veriminin düşük olduğu belirlenmiştir. Uzun zamanlı akülerin kullanılması PV sistemler için daha avantajlıdır. Akünün yüklenme boşalma hızları çekilen ya da gönderilen akım miktarına ve çevre sıcaklığına göre farklılık göstermektedir. Soğuk havalarda akülerin kimyasal reaksiyonlarında hız azalırken, sıcak havalarda reaksiyon hızı artmaktadır. Akülerin çalışması için kabul edilebilir sıcaklık aralığı 16°C - 26°C olarak ifade edilmektedir (Kantaroglu, 2010).

2.2.2.1.3 İvertörler (Dönüştürücüler). PV sistemlerin verimliliğinin artırılması amacıyla en yüksek güç noktasının izlenmesi ve çıkış geriliminin kontrol edilmesi şeklindeki uygulamalarda panel ve yük arasında DA/DA dönüştürücüler kullanılırken, şebekeye bağlı sistemler için panelin ürettiği DA gerilimi alternatif akım gerilimine dönüştürmek amacıyla dönüştürücüler kullanılır. En yüksek güç noktası izleyici aracılığıyla PV panellerin düşük maliyet ve yüksek verimlilikle kurulması sağlanmaktadır (Deveci ve Kasnakoğlu, 2014).

DC-DC dönüştürücü, anahtarlama aracılığıyla belirli düzeydeki elektrik geriliminin daha düşük veya yüksek düzeye dönüştürülmesini sağlayan güç elektroniği sistemleridir. Anahtarlama modlu dönüştürücülere yönelik tasarım ve kontrol çalışmalarının sayısı, bu dönüştürücülerin pek çok elektronik sistemde bulunması nedeniyle fazladır. DC-DC dönüştürücülerin zamana bağlı olarak değişiklik gösteren sistemler olmaları nedeniyle verimlilik, bu sistem devresinin tasarımı ve kontrolü için kullanılan denetleyiciye bağlıdır (Öztürk ve Alkan, 2013).



Şekil 2.18 PV sistemlerde DC-DC dönüştürücü kullanımı (Öztürk ve Alkan, 2013)

2.2.2.1.4 *Diğer Bileşenler.* PV sistemlerde şarj kontrol cihazları, gece ve kapalı havalarda panel geriliminin akü gerilimi altına düştüğünde akımın aküden panele akmasını önlemek amacıyla kullanılmaktadır (Kantaroglu, 2010).

2.2.2.2 *PV Sistemlerin Binalarda Kullanım Şekilleri*

Binaya entegre PV sistemler, çatılar veya cepheler gibi bina kabuğunun bir bölümünde konvansiyonel yapı malzemelerinin yerini alan fotovoltaiik malzemelerdir. Ayrıca binalara entegre PV sistemler bina yapısının işlevsel bir parçası olarak kabul edilmektedir. Binaya entegre PV sistemler, aynı anda bina kabuk materyali ve jeneratör olarak hizmet etmektedir. Binalara entegre PV sistemler, entegre olmayan sistemlere kıyasla büyük bir avantaja sahiptir. Bunun nedeni, sistemin alan tahsisi ve basitleştirme gerektirmemesidir. Özellikle binalara entegre PV sistemler, dirsek ve ray gibi ilave montaj bileşenleri gerektirmediğinden, yerinde elektrik üreten PV modülleri, toplam bina maliyetlerini azaltabilir ve montaj maliyetleri bakımından önemli tasarruf sağlayabilir. Ayrıca güneş enerjisinden, çevre kirliliği yaratmadan elektrik üretilebilmektedir (Jelle, Breivik ve Rokenes, 2012).

PV sistemlerinin binalarda kullanımı sayesinde aynı anda bina kabuğu materyali ve jeneratör olarak hizmet ederek, malzeme ve elektrik maliyetlerinde tasarruf sağlayabilir, fosil yakıtların kullanımını ve ozon tüketen gazların emisyonunu azaltabilir ve binaya mimari iyileştirme sağlayabilir. PV'lerin entegrasyonu, PV panellerini gölgeleme, aktif güneş ısıtması ve aydınlatma gibi ek işlevler sağlayacak şekilde sabitleyerek maliyet etkinliğini artırabilir (Agathokleous ve Kalogirou, 2016).

Binalarda PV sistemleri, yenilikçi mimari tasarım için birçok fırsat sunmakta ve estetik açıdan çekici olabilmektedir. Binaya entegre PV sistemler gölgelendirme aracı olarak kullanılabilirken, ayrıca yarı şeffaf pencere bileşenini oluşturabilirler. Amorf silikon kiremit, standart bir kiremitli çatıya benzer bir PV çatısı oluşturmak için kullanılabilirken (Şekil 2.19), diğer yandan yarı saydam modüller cephelerde veya cam tavanlarda farklı görsel efektler yaratmak için kullanılabilir (Şekil 3.20). Bazı mimarlar, çatılarda PV kullanımını açık bir görsel izlenim uyandıran bir çatı olarak tercih ederken, bazıları da PV sistemlerini mümkün olduğunca standart bir çatı görünümü şeklinde göstermeye çalışırlar (Jelle, Breivik ve Rokenes, 2012).

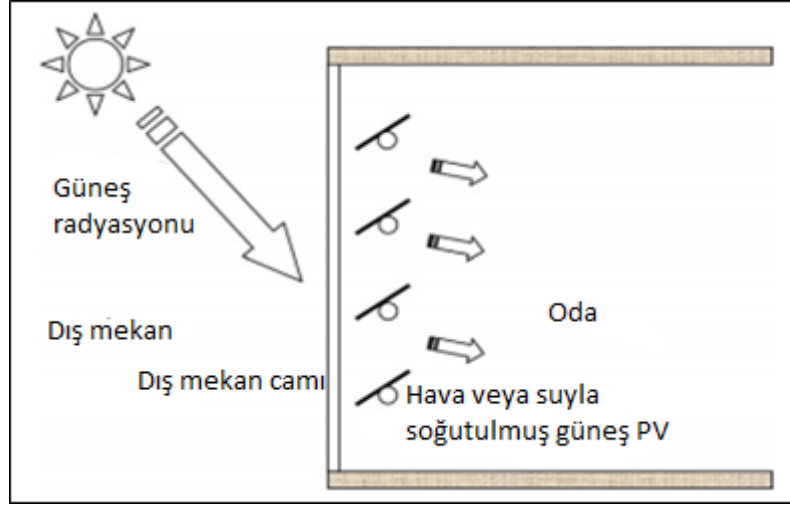


Şekil 2.19 Kavisli kil görünümü güneş kiremidi (Jelle ve diğer., 2016)



Şekil 2.20 Binaya entegre şeffaf PV modüllerinden oluşan cam tavan (Global Energy Network Institute, 2009)

Opak cephe sistemleri binaya entegre güneş termik sistemi, bina entegre fotovoltaik sistem ve binaya entegre PV/T olmak üzere üç gruba ayrılmıştır. Ayrıca binaya entegre edilen yarı şeffaf fotovoltaik sistem ise, fotovoltaik modüller yoluyla bina kabuğuna entegre edilerek elektrik üretmekte ve gün ışığının iç mekana girmesini mümkün kılmaktadır. Yarı şeffaf bir binaya entegre PV/T sistem, bina entegreli fotovoltaik sistemin işlevlerini binaya entegre güneş enerjisi sisteminin işlevleriyle birleştirmekte ve gün ışığının iç mekanlara girmesini sağlamaktadır (Quesada ve diğer., 2012).

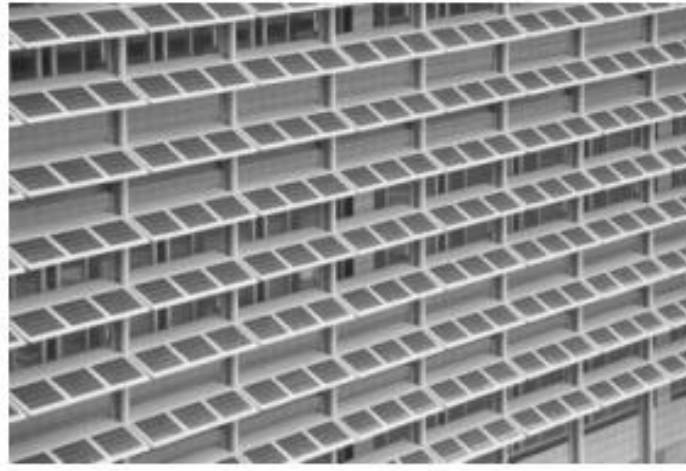


Şekil 2.21 Yarı saydam bina entegre PV/T şematik diyagramı (Quesada ve diğer., 2012)

2.2.2.2.1 Cephe Bileşeni Olarak Kullanım. Bina kabuğunun esas görevi, çeşitli çevresel unsurlara karşı koruma sağlayan konforlu bir barınak oluşturmaktır. Bina kabuğu belirli işlevlerle (örneğin rüzgâr veya suya karşı koruma) farklı katmanlar aracılığıyla iç mekân ile dış mekân arasında temas sağlamaktadır. Burada yapıların görselliğini temsil eden ve mimarların fikirlerini yansıttıkları en önemli yapı bileşeni cephelerdir. Yapılarda cephe, temel estetik bir amaç olan güçlü bir unsur ve sembolik anlam taşıyan cazip bir ambalaj görevi üstlenmektedir (Farkas, Andresen ve Hestnes, 2009). Yüzeyler ve dolayısıyla burada kullanılacak malzemeler önemli bir odak noktası oluşturmaktadır. Bazı mimarlar kereste, masif taş veya tuğla duvar gibi geleneksel doğal malzemeleri kullanarak yapıların fiziksel sağlamlığını ortaya koymaya çalışmaktadır. Bazıları ise renkli, hareketli ortam cepheleri ve aydınlatılmış ekranlar aracılığıyla yoğun algıya odaklanarak, tüketim toplumunun bilgi çağıının özelliklerini yansıtmaktadır (Schittich, 2001). Bu dikkat çekici unsurlar arasında günümüzde aynı düzeyde dikkat çeken yenilikçi ve modern yaklaşım ise, düşük enerji konseptine sahip bir bileşen olarak bina cepheleridir. Birçok yapının yüzeyi, binaların enerji talebini azaltmada önemli bir rol oynayabilecek güneş sistemleri, özellikle de güneş panelleri için idealdir. Bu uygulamalarda sosyal, psikolojik, ekolojik ve estetik yönler yanı sıra enerji duyarlılığına dayanan işlevsel, teknolojik ve yapısal özellikler arasında bir denge bulunması gereklidir (Farkas, Andresen ve Hestnes, 2009).

Gayrimenkul yatırımcıları ve kurumsal yatırımcılar genellikle bir binayı, yatırımlarında belirli ve önceden hesaplanmış bir getiri elde etmenin aracı olarak

görmektedirler. PV uygulamasını teşvik etmek isteyen mimarların estetik ve maliyetlerle ilgili mümkün olduğunca nötr bir sunum yapmaları gerektiği belirtilmektedir. PV'nin ofis binalarında kullanılan mevcut dış cephe malzemeleri için iyi bir alternatif olması bunu desteklemektedir. PV, geleneksel cephe malzemelerinin fiziksel yapı özelliklerinin çoğuna da sahiptir, böylece yapı mühendisliği temelde aynı kalır. Geleneksel cephe malzemeleri genellikle ucuz olmadığından, PV genellikle finansal olarak rekabetçi bir alternatif olarak görülebilir (Kaan ve Reijenga, 2004).



Şekil 2.22 Hollanda Petten'de bulunan ECN'deki yenilenen laboratuvarın 31. binasının güney cephesi (Dikey jaluzilerin perdeleri 35 kWp PV sistemini içerir. Tasarım: BEAR Architects, Gouda, Hollanda) (Kaan ve Reijenga, 2004)

PV paneller bina kabuğundaki sistem bileşeni ise; binanın yönü ve formu, taşıyıcı yapı tasarımı, PV türü, dolu ve boş alanların birbirine oranı, detaylandırmaların en uygun görsel, işitsel ve ısısal konforu sağlamak açısından doğru seçilmesi gereklidir. Binaya giren güneş ışınımının olumsuz etkilerine yönelik olarak bina kabuğunun denetiminin ilk koşul olduğu belirtilmektedir. Günümüzdeki binalarda doğal ışık geçirgenliğinin yüksek olduğu alanların artışı, yüksek binalarda giydirme yapılması, binaların büyük bölümünün camdan oluşması da bu kontrolü etkilemektedir. Binalarda seçici camlar dışında yatar, düşey ve eğimli güneş kırıcılar aracılığıyla yapılan tasarımlar da tercih edilmektedir. Geniş boyuttaki cam yüzeyler yerine PV panellerin kullanımı ile bina kabuğunda performans arttırılabilir. Konfor ve enerji ekonomisine yönelik denetimlerde, PV panellerin şeffaf, opak ve yarı geçirgen bölümlerinin düzenlenmesi ve konforu azaltan etkinin giderilmesi gerekmektedir.

Düşey düzlemsel uygulamalar dışında kırıklı ve açılı ya da eğimli perde duvarların farklı geçirgenlikteki PV bileşenlerle kontrolü sağlanabilir. Bu uygulamalar, PV panellerin bina kabuğunun tamamını oluşturacak şekilde düzenlenmesi yanı sıra PV panellerin iç ve dış ortam arasında kalarak bina kabuğa ek olarak da tasarlanacağı belirtilmektedir. Kabuğa ek olarak kullanılan PV paneller, elektrik üretimi dışında bina kabuğunda yağmur perdesi ya da güneş kırıcı görevleri de üstlenebilir (Çelebi, 2002).

2.2.2.2.2 Çatı Bileşeni Olarak Kullanım. Bina cepheleri olduğu gibi bina çatıları da tasarımın önemli bir parçasıdır. Gelişen teknoloji ile birlikte yeni yapı malzemelerine verilen önem gün geçtikçe artmaktadır. Geleneksel çatı malzemelerine olan ilgi yerini yeni çatı malzemelerine bırakmaktadır. Geçmişte yalnızca çatıların bir bölümüne uygulanan güneş enerjisi sistemlerinin günümüzde çatının tamamına uygulanabildiği ve tasarımlara şıklık katan uygulama örneklerine rastlandığı görülmektedir. Tüm çatıya entegre edilen PV paneller, PV çatı kiremitleri gibi sistemler çatı bileşeni olarak kullanıma örnek gösterilebilmektedir.

Tayvan'da bulunan Kaohsiung Dragon Stadyumu, enerji gereksiniminin tümünü güneş enerjisi ile sağlaması bakımından dünyadaki ilk stadyum örneğidir. Stadyumun tüm çatısını kaplayan ve ejderha pulları şeklinde dizilmiş 8844 adet binaya entegre fotovoltaik sistem (BIPV) toplam 14.155 m² alana sahiptir. Bu PV sistem, saatte 1,000 kWh elektrik üretimi gerçekleştirebilirken, yıllık 1,14 GWh elektrik üretilmektedir. Ayrıca yıllık 600 ton CO₂ salınımının önüne geçildiği belirtilmiştir. 55.000 seyirci kapasiteli yapıda, çatının bir diğer sürdürülebilir özelliği malzeme kullanımını etkinleştiren, spiral biçimli yüksek dayanımlı çelik kirişler ve prefabrik beton ile yapılmış enerji etkin yalıtımlı, hafif çatı strüktürüdür. Stadyumun yapımında kullanılan malzemenin tamamı geri dönüştürülebilir/yeniden kullanılabilir malzemedir (Orhon ve Altın, 2014).



Şekil 2.23 Kaohsiung Dragon stadyumu a) Kuşbakışı görüntü ve b) çatıdaki BIPV modüller (Orhon ve Altın, 2014)

2017 yılında Tesla'nın CEO'su Elon Musk tarafından güneş kiremitlerinin satışa çıktığı duyurulmuştur. Güneş hücrelerinin elektrik üretimi için 30 yıl garantiye sahip olan "Güneş Çatı Kiremitleri"nin, geleneksel güneş panellerinden farklı yönü üç katmandan oluşması ve görünümünün gerçek kiremit algısı vermesidir. Bu üç katman yüksek verimli güneş hücresi, güneş enerjisinin çatıya aktarımını sağlayan renkli film ve yüksek dayanıklılığa sahip temperlenmiş camdan meydana gelmektedir. Güneş kiremitleri ile %98 verimliliğe kadar elektrik üretilebildiği belirtilmiştir (TEHAD, 2017).



Şekil 2.24 Tesla tarafından üretilen güneş kiremidi (TEHAD, 2017)

2.2.2.3 PV Sistemlerin Avantaj ve Dezavantajları

Bir PV sisteminin tercih edilmesini sağlayan bazı avantajlar bulunmaktadır. Bu avantajlar sırasıyla maliyet, güvenilirlik, modüler olma, çevreye duyarlılık ve farklı sistemlerle kombine kullanımdır (US Department of Energy, 1997):

Maliyet: Elektrik hattını genişletmek veya uzak bir yerde başka bir elektrik üretim sistemi kullanmak için maliyet yüksek olduğunda, bir PV sistemi çoğu zaman en uygun maliyetli elektrik kaynağıdır.

Güvenilirlik: PV modüllerinin hareketli parçaları yoktur ve diğer elektrik üreten sistemlere kıyasla çok az bakım gerektirir.

Modüler Olma: PV sistemleri, mevcut sisteme daha fazla modül ekleyerek artan güç gereksinimlerini karşılamak için genişletilebilir.

Çevreye Duyarlılık: PV sistemleri çevreyi kirletmeden ve gürültü oluşturmadan elektrik üretir.

Farklı Sistemlerle Kombine Kullanılabilme: PV sistemleri, bataryaları şarj etmek ve talep üzerine güç sağlamak için diğer türdeki elektrik jeneratörleriyle (örneğin rüzgâr, hidro ve dizel) birleştirilebilir.

Hegedus ve Luque (2014) bu avantajlar yanı sıra PV sistemlerinin dezavantajlarını da ele almış ve kurulum maliyetlerinin yüksekliğine, yakıt kaynağının dağınık oluşuna ve yardımcı elemanların düşük güvenilirliğe sahip olduğuna değinmiştir (Tablo 2.1).

Tablo 2.1 PV sistemlerin avantaj ve dezavantajları (Hegedus ve Luque, 2014)

Avantajlar	Dezavantajlar
Yakıt kaynağı geniş ve sonsuz	Yakıt kaynağı dağınıktır (güneş ışığı nispeten düşük yoğunluklu bir enerjidir)
Bertarafında emisyon yok, yanma veya radyoaktif yakıt yok (küresel iklim değişikliği veya kirliliğe neden olmamaktadır)	
Düşük işletme maliyeti (yakıt yok)	Yüksek kurulum maliyetleri
Hareketli parça yok (aşınma yok)	
Ortam sıcaklığı çalışması (yüksek sıcaklık korozyonu veya emniyet sorunları yok)	

Tablo 2.1 devamı

Avantajlar	Dezavantajlar
Modüllerdeki yüksek güvenilirlik (> 20 yıl)	Depolama dahil olmak üzere yardımcı (sistem dengesi) elemanlarının güvenilirliği daha düşük
Modüler (küçük veya büyük artışlar)	
Hızlı kurulum	
Yeni veya mevcut bina yapılarına entegre edilebilir	
Günlük enerji çıktısının maksimumu yerel talebi karşılayabilir	Ekonomik açıdan verimli enerji depolama eksikliği
Neredeyse her noktada kurulabilir	Günümüzde kadar yaygın olarak piyasada bulunan sistem entegrasyonu ve kurulumu eksikliği
Kamuoyu tarafından kabul görme oranı yüksek	
Yüksek emniyet	

Wang ve Lu (2016) PV sisteminin aralıklı ve rastgele olduğunu, iklim koşullarının uygun olmadığı, gece veya yağmurlu günlerde karasal uygulamaların yapılamadığı veya nadiren üretim yapıldığını belirtmektedir. PV sistemlerin dönüşüm oranı düşüktür ve sistem standart koşullar altında çalıştırılmalıdır. Alınan güneş radyasyonu yoğunluğu zemin üzerinde 1000W/m²'dir. PV sisteminin geniş bir alana yayılması gereklidir.

2.3 Aktif Pasif Bir Arada Kullanılan Sistemler

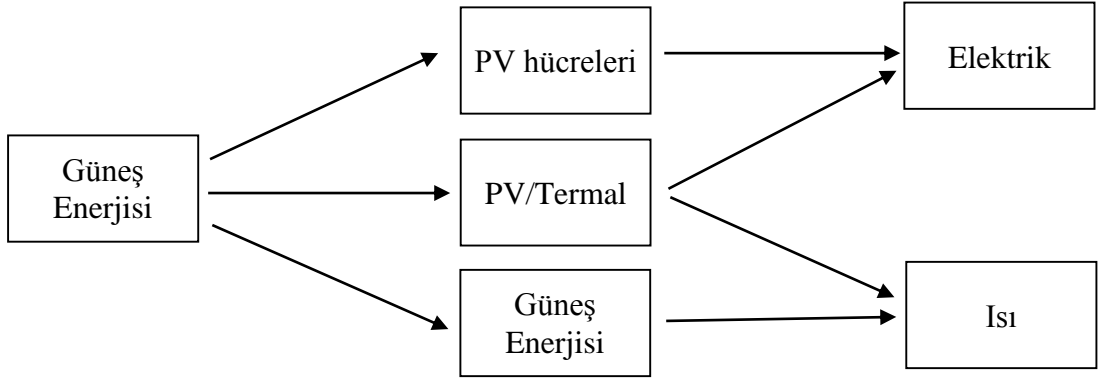
Küresel ölçekte yapı sektörü toplam enerji talebinin yaklaşık üçte birini oluşturmaktadır. Bu nedenle, küresel sera gazı emisyonlarını azaltma çabalarında, binalarda yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının artırılması büyük önem taşımaktadır. Binalar elektrik ve ısıtma ve soğutma için enerji gerektirdiğinden, PV/T sistemleri binalar için cazip bir çözümdür. PV/T sistemlerinin öne çıkan diğer faydaları, birbirinden ayrı güneş termal ve PV sistemlerinden daha az alana ihtiyaç duymaları ve daha tekdüze bir mimari görünüm sağlayabilmeleridir (Good ve diğer., 2015).

Hibrid enerji sistemleri; birbirini tamamlayıcı özellik gösteren iki veya daha fazla yenilenebilir enerji kaynağının birlikte kullanıldığı sistemlerdir. Bu sistemler; güneş ve rüzgâr, güneş ve dizel jeneratör, rüzgâr ve dizel jeneratör veya güneş, rüzgâr ve dizel jeneratör sistemleri gibi birden çok enerji kaynağı kullanılarak oluşturulmaktadır.

Yenilenebilir enerji kaynaklarının tek başına kullanımı, kesikli olmaları nedeniyle bazı süreksizlikler meydana getirmektedir. Örneğin, yenilenebilir enerji kaynağı olarak güneş ve rüzgâr, gün içerisinde ve yıl içerisinde değişkendir. Bu enerji kaynaklarının tek başına kullanılması ile oluşan sistemin güvenilirliği düşük olmaktadır. Son yıllarda yaygınlaşan, birbirini tamamlayıcı özellik gösteren iki veya daha fazla yenilenebilir enerji kaynağını birlikte kullanan hibrid enerji sistemleri ile sistemin güvenilirliği arttırılmaktadır. Aynı zamanda hibrid sistemli enerjiler, binalar için gerekli enerjiyi alternatif modellerden sağlayarak, bina iç ve dış ekipmanlarına entegre edilerek kullanılmaktadır. Uygulamada gelişen teknolojilerle beraber bir artış ve maksimum verime ulaşılacağı savunulan hibrid sistemle bütüncül bir şekilde çalışan;

- Düşey duvar elemanları,
 - Dış cephe duvarları,
 - İç bölme duvarları,
 - Zemin döşemeleri,
 - Tavan döşemeleri,
- Kolon giriş üzeri uygulamaları geliştirilmektedir (Erikci ve Adıgüzel-Özbek, 2015).

PV sistemlerin elektriksel verimliliğini arttırmak ve gelen güneş ışınımını iyi kullanmak için, en çok PV yüzeyinden biriken gizli ısıyı çıkarmak ve bu ısıyı uygun bir şekilde kullanmak amaçlanır. PV/T, PV hücreleri/modülleri ve ısı dönüşüm bileşenlerini tek bir modülde birleştiren bu amaçla geliştirilen bir teknolojidir. Bu, PV sistemlerin elektrik verimliliğinin artmasını sağlayan PV hücrelerinin soğumasını mümkün kılmakta ve aynı zamanda ısıtma amacıyla dönüştürülen ısıyı da kullanmaktadır. Bu sayede PV/T güneş kollektörü gelişmiş güneş enerjisi verimliliğini elde edebilir ve böylece güneş enerjisinden daha iyi faydalanabilir. PV sistemini güneş enerjisi termal modülüne birleştiren PV/T, yenilenebilir ısıtma ve güç üretimi için yeni bir yolunu temsil etmektedir. Şekil 2.25'te farklı güneş enerjisi dönüşümü teknolojileri arasındaki ilişki gösterilmiştir (Zhang ve diğer., 2012).



Şekil 2.25 Farklı güneş enerjisi dönüşüm teknolojileri ağı (Zhang ve diğer., 2012)

PV/T modülleri yapısal ve işlevsel olarak farklı şekilde sınıflandırılmaktadır. Kullanılan soğutucu açısından modüller hava, su, soğutucu akışkan ve akışkan boru tipleri olarak sınıflandırılabilir. Uygulanan fiziksel yapı açısından modüller düz levha, konsantre ve bina entegre tipleri olarak sınıflandırılabilir (Zhang ve diğer., 2012).

2.3.1 Fotovoltaik/Isıtma (PV/T) Sistemleri

PV güneş panelleri, güneş ışınımının yalnızca bir bölümünü elektrik enerjisine dönüştürebilmektedirler. Üretim materyalinin özelliklerine göre farklı dalga boylarındaki ışınımı içeren güneş enerjisinden sadece belirli spektrum aralığındaki ışınımı elektrik enerjisine dönüştürürken, PV materyalde büyük miktarda ısı yükü meydana gelmektedir. Bu meydana gelen ısı yükünün PV panel verimini azalttığı ve uzun süreli yüke maruz kalmak durumunda PV materyalin yapısının bozulduğu tespit edilmiştir. Bu aşırı yükün değerlendirilmesi amacıyla fotovoltaik termal (PV/T) sistemler tasarlanmıştır. PV/T sistemler ile hem oluşan aşırı ısı yükünü PV materyalinden uzaklaştırmakta hem de bu enerjiden ısı şeklinde faydalanmaktadır. Böylece yalnızca bir modülden ısı ve elektrik enerjisi aynı anda ortaya çıkmaktadır. PV sistemlerde elektriğin yanı sıra ısı enerjisinin de kullanmayı amaçlayan PV/T sistemleri üzerinde 1970'lerden bu yana çalışılmaktadır (Good ve diğer., 2015). Bu sistemlerde PV ve ısıl sistemlerin beraber kullanılması temeline dayanmaktadır (Kandilli, Külahlı ve Savcı, 2013).

Hibrit fotovoltaik-termal güneş kolektörleri (PV/T kolektörleri) güneş ışınımını hem elektrik enerjisine hem de kullanılabilir ısıya dönüştürmektedir. Bu iki enerji dönüşümü şeklinin tek bir üründe birleştirilmesinin amacı, daha yüksek bir teknik enerji potansiyeline erişerek genel verimliliği arttırmaktır (Kramer ve Helmers, 2013). PV/T sistemleri, günümüzde dünyanın her yerinde kullanıma sahip olup, ilerleyen dönemlerde Türkiye’de de kullanımının yaygınlaşması beklenmektedir. Ancak mühendislik modellemelerin ve mimari tasarımların bir arada kullanımı ile yapılacak denemeler sonucunda projelerin başarıya ulaşabileceği söylenebilir.

2005 yılından itibaren Çin’de aktif ve hibrid güneş binalarının gelişimi hızla büyümüştür. En yeni enerji projelerinde pasif güneş enerjili binaların solar su ısıtıcıları, PV ve/veya ısı pompası alt sistemleriyle birleştirmek gibi çeşitli teknolojilerden yararlandığı görülmüştür. Termal kullanımın ilave edildiği alt sistemler servis suyu ısıtma, alan ısıtma ve soğutma için enerji sağlayabilirken, PV alt sistemi aydınlatma ve ev aletleri için elektrik sağlamaktadır (Fang ve Li, 2013).

İngiltere’de hava ve su akışkanlarının kullanıldığı PV/T sistemleri ticari olarak yaygın olup, elektrik üretim birinci önceliktir ve evlerde sıkça kullanılmaktadır (Herrando ve Markides, 2016). İngiltere’de yapılan bir çalışmada, yol boyu ortalama sistem performansını öngörmek amacıyla soğutma ortamı (PV/T/w) olarak suya sahip bir PV/T toplayıcısına dayanan sistem modeli kullanılmıştır. Çalışma sonucunda, düşük güneş ışınımı seviyeleri ve İngiltere iklimi ile ilişkili olan ortam sıcaklıklarında, güneş enerjisi kolektörünün PV ile bütünüyle kaplanması sayesinde toplam hane halkı enerji taleplerinin daha iyi karşıladığı ve daha yüksek CO₂ emisyonu tasarrufu sağladığı belirlenmiştir. PV/T sisteminin yıllık elektrik üretimini 2,3 MWh’ye çıkardığı, diğer bir ifadeyle hane halkının elektrik ihtiyacının % 51’ini karşıladığı ve ayrıca yıllık su ısıtma potansiyelinin 1,0 MWh’ye kadar yükselterek sıcak su ihtiyacının % 36’sını karşıladığı görülmüştür. Buna ek olarak bu sistemin, şebekeden çekilen elektrik gücü ve şebekeden çekilen gazın su ısıtması için azaltılması ve 20 tonluk bir kullanım ömrü nedeniyle 20 yıllık bir yaşam süresi boyunca 16,0 ton CO₂ emisyonunda azalma sağladığı belirtilmiştir (Herrando ve diğer., 2014).

De Vries (1998) Hollanda’da bir su depolama tankında PV/T güneş enerjili su kazanı testini gerçekleştirmiş ve kapalı tabaka-boru sisteminin musluk suyu ısıtması

için en umut verici PV/T sistemi olduğunu belirtmiştir. Su bazlı PV/T sisteminin mimari açıdan daha fazla tekdüzelik sağladığı, çatı üzerinde alan kullanımını en aza indirdiği ve maliyetin geri kazanım süresini kısalttığı bulunmuştur. Bu PV/T sistemi, kapalı tasarımlar için yıllık ortalama %34 ve %39 arasında güneş verimliliği sağlarken, açık tasarım için %24'lük verimlilik sağlamıştır (Zondag ve diğer., 2002).

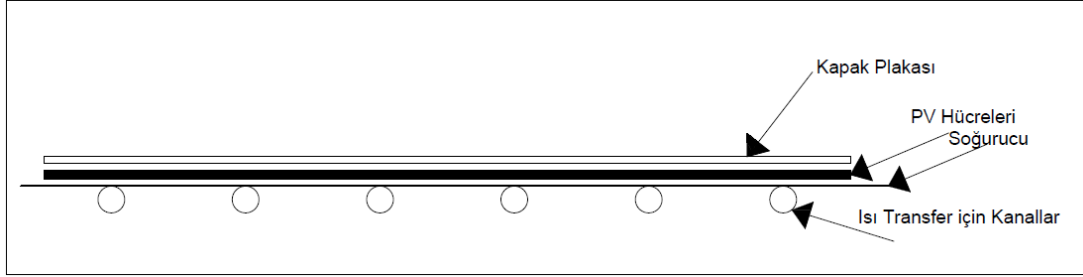
Yukarıda belirtildiği gibi su ve havanın kullanıldığı PV/T sistemlerinde, PV panelin arka yüzeyine yerleştirilen borular içerisinden geçirilen su ve hava kanallarından geçen hava sayesinde panel yüzeyinde soğutma sağlanmaktadır. Panelin ısını alarak sıcaklığı artan su, sıcak su ihtiyacında ve hava kanalları içerisinden geçen hava ise panelin ısını alarak iç ortam ısıtmasında kullanılabilir. Böylece panelin soğutulmasıyla hem PV/T sistemin verimi artırılmakta hem de sıcak su ve iç ortamın ısıtılması sağlanmaktadır (Kabul ve Yaşar, 2017).



Şekil 2.26 Su ve hava kullanılan PV/T panelleri (Kabul ve Yaşar, 2017)

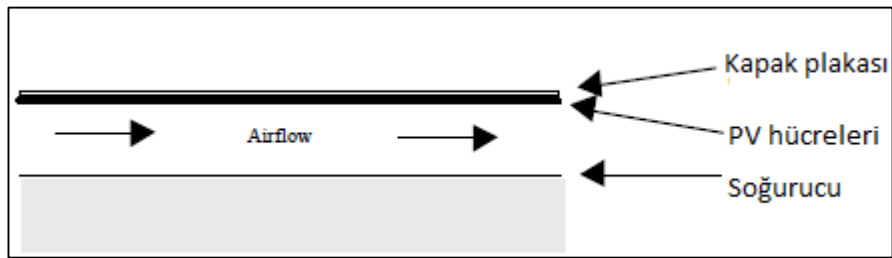
PV/T sistemler için su, ısı transfer sıvısı olarak kullanılmaktadır. PV hücreleri ya doğrudan soğurucuya veya bir dielektrik malzeme ile bir kapak plakasına yerleştirilir. Bu tasarım, PV hücreleri ve soğurucu veya kapak plakası arasındaki temasın yüksek bir termal kontak olduğu anlamına gelmektedir. Isı transfer sıvısı, soğurucu üzerindeki kanalların içinde çalışmakta ve soğurucudan ısı toplamaktadır. PV hücreleri soğurucu ile birleştirildiğinde, PV hücrelerinden daha yüksek elektrik verimi sağlayan PV hücrelerinden ısı da çıkarılmaktadır. Kullanılabilecek kanalların bir ucundan, yararlanılacak termal enerji elde edilir. Kanallar seri veya paralel olarak bağlanabilir ve bu da sistemin verimliliğini etkilemektedir. Isı transfer sıvısı ya bir pompa (pompalı

bir sistem) ya da ısı transfer akışkanının özgül ağırlığı (bir yer çekimi sistemi) farkı ile dolaştırılabilir (Bosanac ve diğer., 2003).



Şekil 2.27 Tipik bir su PV/T kollektörü (Bosanac ve diğer., 2003)

Diğer PV/T kollektör tipi hava bazlı bir sistemdir. Bu sistemlere su yerine ısı transfer sıvısı olarak hava kullanılmaktadır. PV hücreleri ya kapak plakasının iç kısmına ya da bir soğurucuya birleştirilmekte ya da PV hücreleri bir soğurucu ya da kaplama plakasının kendisi gibi davranmaktadır. Hava, doğal veya zorla ventilasyon aracılığıyla dolaştırılabilir. Bu tür bir PV/T kollektörü, pratikte birkaç farklı projede denenmiş ve birkaçı ticarileştirilmiştir (Örneğin, Kanada'da "PV Solarwall"). PV Solarwall, aralarında bir hava boşluğu bulunan bir binanın dış duvarının önünde delikli bir metal soğurucudan oluşmaktadır. Delikli metal soğurucunun önünde bir PV modülü monte edilir, soğutucu ortam havasının PV modülünün arkasından geçmesine izin verilir. PV modülü ve metal soğurucu tarafından üretilen ısı havaya aktarılmakta ve böylece PV modülünü PV modülü için daha yüksek bir elektrik verimliliği sağlayacak şekilde soğutmaktadır (Bosanac ve diğer., 2003).



Şekil 2.28 Tipik bir hava PV/T kollektörü (Bosanac ve diğer., 2003)

Fotovoltaik sistemlerin termal açıdan incelenmesine ilişkin araştırmalarda mikrokanal ve nanoakışkan teknolojisi, sıvı sprey ile soğutma, termoelektrik modüller, zorlanmış taşınım ile hava veya su ile kanatçıklar kullanılarak yapılan soğutma, faz değiştiren malzemeler ile ısıнын fotovoltaik yüzeyden uzaklaştırılması şeklinde farklı

uygulamalar mevcuttur (Özakin ve diğer., 2017). Bu uygulamaların avantaj ve dezavantajlarının karşılaştırılması Tablo 2.2’de yapılmıştır.

Tablo 2.2 Farklı PVT sistem uygulamalarının karşılaştırması (Özakin ve diğer., 2017)

Teknoloji Türü	Avantajlar	Dezavantajlar
Mikrokanal ve nanoakışkan teknolojisi	Isıl verimlilik Yüksek ısı transfer katsayısı	Yüksek maliyet ve uygulanabilirlik zorluğu.
Sprey halinde su ile soğutma	Artan enerji verimi. Hava soğutmadan daha verimlidir	PV panelin tüm yüzey alanı kısmen soğutulmuştur. Isı israfı
Termoelektrik modüller	Elektriksel verimlilik artar. Sıcak lekelenmeyi azaltır.	Yarı iletkenler aracılığıyla sıcak ve soğuk parçalar arasındaki ısı iletimi kaybı. Isı yeteri kadar iyi transfer edilemez
Zorlanmış taşınım ile hava veya su ile kanatçıklar kullanılarak yapılan soğutma	Genel verimlilik artar. Ekonomik olarak uygulanabilir. Isıtılan hava veya su binaları ısıtmak için kullanılabilir.	Havayla soğutma verimliliği, suyla soğutmadan daha düşüktür. Sıcak iklim koşullarında su ile soğutma hava ile soğutmadan daha etkili.
Faz değiştiren malzemeler ile ısınmın fotovoltaik yüzeyden uzaklaştırılması.	Küçük sıcaklık değişiklikleri ile büyük miktarda ısı depolayabilir. Faz değişimi sabit bir sıcaklıkta gerçekleşir. Çekilen ısı binaları ısıtmak için kullanılabilir.	Parafin, katı halde düşük termal iletkenliğe sahiptir. Isı depolaması için fazla hacim gerekir. Daha soğuk alanlarda daha az verimlidir.

Düşük karbonlu binalarda genellikle fosil enerji tüketimini minimum düzeye indirmek için PV/T sistemlerin çoğunu kullanılmaktadır. Ancak bu kullanımın beraberinde getirdiği mimari entegrasyon sorunları (örneğin, işlevsel ve yapıcı yönler, estetik vb.) mimarlar tarafından ele alınmalıdır. Bu sorunlar; şekil, boyut ve esneklik, modül yapısı, kalınlığı ve ağırlığı, kullanılan malzemeler, yüzey dokuları ve renkler, enerji taşınımı ve depolama, çalışma sıcaklıkları, yalıtım ve gölgeleme olarak sıralanmaktadır (Munari-Probst ve diğer., 2013).

Şekil, boyut ve esneklik: PVT ısı kolektörleri boyut olarak daha büyüktür (1,5-3 m²) ve daha az esnekler. Bu, ısınmın toplanması için solar soğurucuya sabitlenmiş esnek olmayan hidrolik devrelerin kullanılmasından kaynaklanmaktadır. Şekil ve boyuttaki özgürlük, genellikle zor ve pahalı olan hidrolik sistemin yeniden tasarlanmasına ihtiyaç duymaktadır. İdeal olarak PV modülünün şekli ve boyutu, bir bina bileşiminde ve bina kabuğu elemanlarının çeşitli boyutlarda kullanımı için uygun

olmalıdır. Boyutun büyük olmasına ilişkin esneklik yetersizliği, potansiyel uygulamaları önemli ölçüde kısıtlamaktadır (Buker ve Riffat, 2015).

Modül yapısı, kalınlık ve ağırlık: PV modülleri ve solar termal modüller, PVT kolektörlere göre genellikle daha kalın (4-10 cm) ve ağır (20 kg/m²) olup, PV modüller çok daha ince (0,4-1 cm) ve hafiftir (9–18 kg/m²). İki sistem arasındaki ağırlık ve boyut farkı, kullanımda farklı özellikler sunmakta (montaj için 1 veya 2 kişi), ancak bina yapısı üzerinde önemli bir fark yaratmamaktadır. Ancak kalınlık özellikle cepheler için bina entegrasyonunu etkilemektedir. İnce PV modülleri cephelerde güneş gölgeleme ve kaplama olarak kolayca uygulanabilir. Daha kalın solar termal ısı toplayıcıları güneş gölgeleme veya kaplama olarak daha hassas biçimde uygulanabilir (Munari-Probst ve diğer., 2004).

Materyal, yüzey dokuları ve renkler: Düz levhalı termal kolektörler sadece bina örtüsünün (çatı veya cepheler) opak alanlarına monte edilebilirken, PV modülleri de şeffaf yüzeylere uygulanabilir. Bir cam/cam modülüne monte edilen hücreler, veranda/sundurular veya camlı cephe uygulamaları için adapte edilebilir ve bu da değişken modül saydamlığına neden olabilir. Boşaltılan tüplerin yapısı, güneş gölgeleme gibi saydam bina kabuğuna monte edilmesini mümkün kılabilir. Ancak bu tür uygulamalar, belirli modüllerin eksikliğinden dolayı çok nadirdir (Buker ve Riffat, 2015).

Enerji taşınımı ve depolama: PV sistemler için elektrik, şebekeye sınırlama olmadan pratik olarak doğrudan uygulanabilir. Sonuç olarak sistem büyüklüğü, bölgesel kullanımdan tamamen bağımsız olacaktır ve enerji üretimi bina elektrik ihtiyaçlarının çok üzerine çıkabilir. Öte yandan, güneş termal kolektörlerinin ürettiği ısı, kullanılacağı yere (örneğin depolama tankı) yakın bir yerde depolanmalıdır. Bununla birlikte depolama kapasitesi, pratik olarak depolamanın birkaç günden fazla sürmemesi nedeniyle çok sınırlıdır. Buna ek olarak, güneş termal kolektörler aşırı ısınma nedeniyle kolayca tahrip olabilir, böylece ideal olarak ısı oluşumu depolama kapasitesinin sınırları içinde olmalıdır. Güneş enerjisi sistemi, aşırı üretim ve beraberindeki aşırı ısınma sorunlarını önlemek için binanın ihtiyaçlarına ve depolama kapasitesine göre ayarlanmalıdır. Bununla birlikte, PV boyutlandırma bina enerji

ihtiyaçlarından tamamen bağımsızdır ve mevcut alanlara veya mimari kriterlere göre boyutlandırılabilir (Wall ve diğeri., 2012).

Çalışma sıcaklıkları ve yalıtım: Optimal alışma sıcaklıkları PVT teknolojileri için farklıdır. PV'lerden özellikle de kristal hücreler, daha düşük çalışma sıcaklıklarında daha iyi performans gösterirken, güneş termal kollektörler için daha yüksek (aşırı ısınmadan kaçınmak) daha faydalıdır. Bu farklılık bina kabuğuna entegrasyonu etkilemektedir. PV modülleri yüksek verimlilik için arkadan havalandırma gerekirken, ısı kayıplarını en aza indirmek için güneş termal kollektörler yalıtılmalıdır. Bu bağlamda, PV'lerin serbest veya havalandırılmış pozisyonda doğrudan bina kabuğuna entegre edilmesi, muhtemelen termal kollektörler için hava boşluğunun olmadığı durumda uygun olacaktır (Munari-Probst ve Roecker, 2012).

Gölgeleme: Kısmi gölgelemeden kaynaklanan ısı kayıpları sadece gölge büyüklüğüyle orantılıdır ve güneş termal uygulamalar için herhangi bir ana üretim veya güvenlik sorununa yol amamaktadır. Bununla birlikte PV'ler, modüllerin yerleştirilmesine ve kablolamaya bağlı olarak modüllerdeki hasara ve genel olarak gölge oranından daha yüksek g üretim kayıplarına neden olabilecek kısmi gölgelenmeye karşı çok duyarlıdır (Munari-Probst ve Roecker, 2012).

BÖLÜM ÜÇ

PASİF VE AKTİF SİSTEMLERİN BİRARADA KULLANIMINA YÖNELİK ÖRNEKLERİN İNCELENMESİ

Fotovoltaik panel kullanımı bulunan bina örneklerinin seçiminde pasif, aktif ve hem pasif hem de aktif sistemleri barındıran örnekler ön plana çıkmaktadır. Bu amaçla ele alınan yapı örnekleri; Almanya’da bulunan Mont Cenis Akademisi, Amerika Birleşik Devletleri’nde bulunan Washington Enerji Departmanı Güneş Çadırı, İspanya’da bulunan Mataro Kütüphanesi, İtalya’da bulunan Roma Çocuk Müzesi, Kaliforniya’da bulunan Keşif Bilim Merkezi Güneş Küpü, John Molson İşletme Fakültesi/Okulu, Norveç Bilim ve Teknoloji Üniversitesi’nde bulunan BP Solar Skin, Almanya’da bulunan Paul Horn Arena, Portekiz’de bulunan Solar XXI, Birleşik Krallıkta bulunan Solar Office Doxford International, Almanya Hamburg’da bulunan Soft House ve Türkiye’de bulunan Diyarbakır Güneş Evi olarak belirlenmiştir.

3.1 Mont Cenis Akademisi

Mont Cenis Akademisi, Fransız mimarlar Hélène Jourda ve Gilles Perraudin ile ortaklaşa geliştirilmiş ve Almanya’nın Herne yakınlarındaki Mont-Cenis’te 25 hektarlık, çakıl taşından oluşan eski bir alan üzerine inşa edilmiştir (Scognamiglio ve Privato, 2008). Ara bağlantı fişleri ve gerekli kablolama, PV modüllerini ve cam panelleri birleştiren alüminyum profillere entegre edilmiştir. Fişlerin, PV modüllerinin cam bölmelerinden (4 mm) daha kalın olmaması nedeniyle görünmemekte, hava koşullarına ve ultraviyole ışığa karşı korunmaktadırlar. PV hücre düzenini ayrıntılı olarak tasarlamak ve iç mekanlarda gerekli ışık düzeyleriyle eşleştirmek için bilgisayar modellemesi kullanılmıştır. Son olarak, farklı yoğunluklarda güneş hücrelerine ve çeşitli derecelerde saydamlığa (% 86-58) sahip altı farklı PV modülü kullanılmıştır. Gün ışığı geçişini sağlamakla birlikte PV hücreleri düzeninin değişimi, binanın içinde sürekli olarak ışık ve gölge desenlerinin ayarlanmasını sağlamaktadır (Hagemann, 2004).

Tablo 3.1 Mont Cenis Akademi binasının künyesi

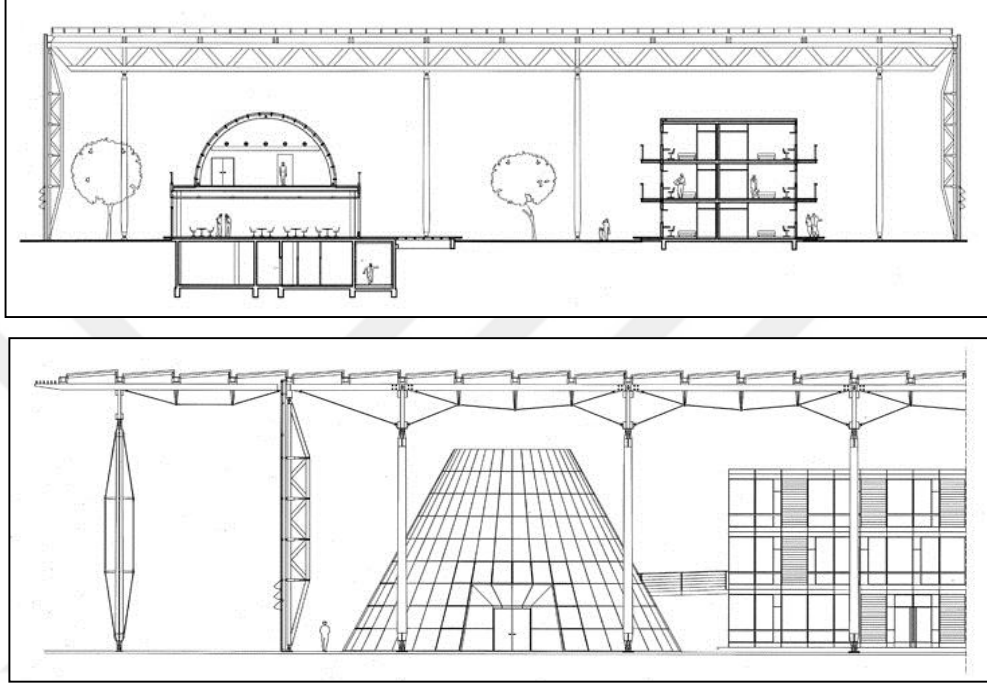
Binanın adı, yeri	Mont Cenis Akademisi, HerneSodingen/ Almanya
Mimarı	Hélène Jourda ve Gilles Perraudin
İnşaatin tamamlanma tarihi	1999
Toplam sistem alanı	10.500 m ²
Sistem gücü	92,74 kWp
Fotovoltaik Güneş Modülleri	Çatı ve Cephe 125.000 şeffaf, mono-kristal, kare, gümüş güneş hücresi
Enerji üretimi	750.000 kWh/yıl



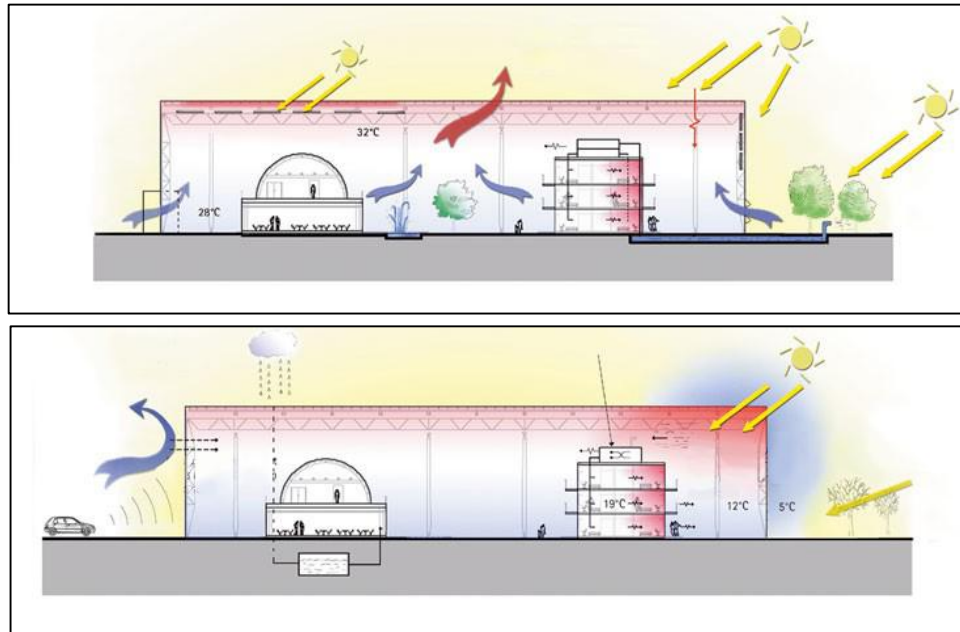
Şekil 3.1 Mont Cenis Akademisinin dış ve iç mekân görünüşleri (Perraudinarchitectes, 2017)

Mont Cenis Eğitim Akademisi, belediye ofisleri, toplantı odaları, konaklama birimleri, restoran, spor salonu, etkinlik salonu, kütüphane gibi birimleri içerisinde bulunduran enerji etkin tasarlanmış bir binadır. Binadaki tüm birimler 15 m yüksekliğinde tek bir çatı örtüsü altında toplanmıştır. Bu cam kabuğun çatısına 1MW gücünde güneş hücresi entegre edilmiştir. 72m x 168 m boyutlarındaki cam fanusta pasif bir sistem olan sera oluşturularak ısı kazanımı gerçekleştirilmektedir. Bunun yanı sıra bina cephesi ve çatısında kullanılan PV elemanlarla elektrik üretimi sağlanmaktadır. Binanın güneybatı cephesinde ve çatısındaki bu elemanlar ile yılda yaklaşık 750000 kWh elektrik enerjisi üretilmektedir. Burada oluşan doğrusal akımı alternatif akıma çevirmek için 600 adet dönüştürücü kullanılmıştır. Mimar Gilles Perraudin, sistem hakkında “Bu bir binaya eklenen ve güneş enerjisiyle çalışan, sürekli bir enerji kaynağına sahip olan ve enerji korunumu yasasına uyan, şimdiye dek hayata

geçirilen en güzel örneği oluşturacak” demiştir (Roberts ve Guariento, 2009). Çatıda ve cephede enerji üretmek amacıyla kullanılan elemanların organik dağılımı ve yoğunluğu farklı hücreler kullanılması ile yapı içerisinde doğal olarak ışık kontrolü de sağlanmaktadır.



Şekil 3.2 Mont Cenis Akademisinin iç mekân görünüşü (Perraudinarchitectes, 2017)



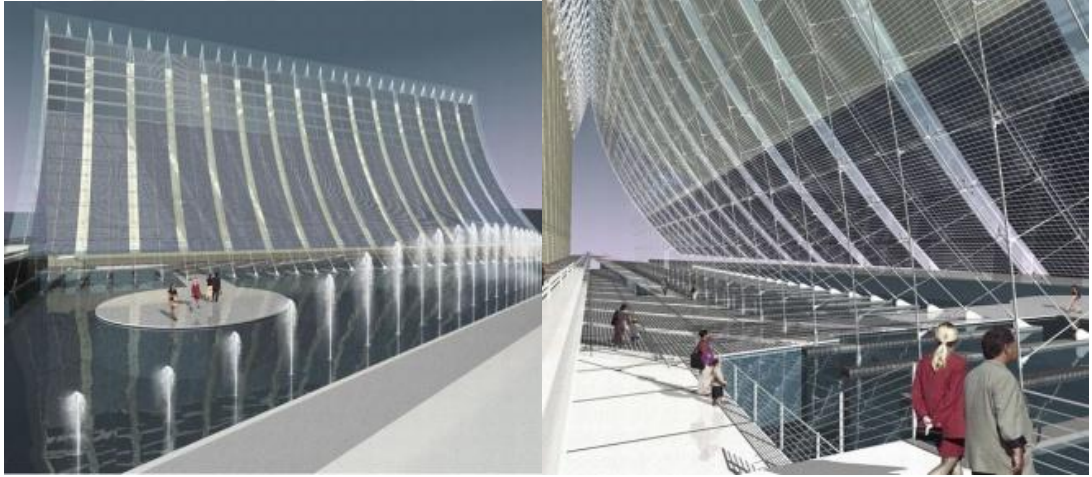
Şekil 3.3 Mont Cenis Akademisi yaz ve kış mevsimlerindeki bina havalandırma şeması (Perraudinarchitectes, 2017)

3.2 Washington Enerji Departmanı Güneş Çadırı

2000 Yılında Washington Enerji Departmanı için düzenlenen yarışma projesi bir renovasyon projesidir. Enerji Departmanının Karargâh bölümünde bulunan güney cephesini kaplayacak şekilde tasarlanmış ve yarışmayı kazanmıştır. Toplamda 32.000 m² alan kaplayan güneş duvarı fotovoltaik hücrelerden oluşmuştur (US Department of Energy, 2001).

Tablo 3.2 Washington Enerji Departmanı Güneş Çadırının künyesi

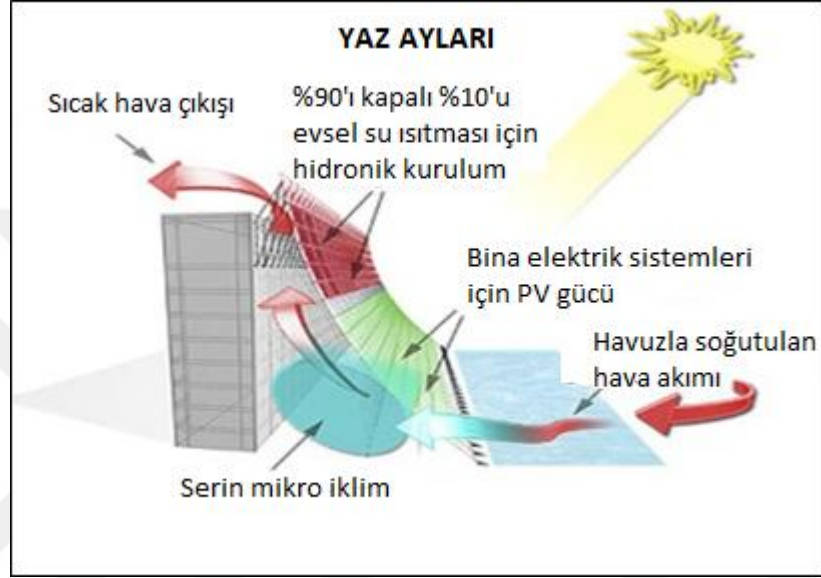
Binanın adı, yeri	Washington Enerji Departmanı Güneş Çadırı / Washington USA
Mimarı	Solomon Cordwell Buenz
İnşaatin tamamlanma tarihi	2000 (Yarışma Projesi)
Toplam sistem alanı	32.000 m ²
Sistem gücü	200kWp
Fotovoltaik Güneş Modülleri	Güney Cephesi
Enerji üretimi	-



Şekil 3.4 Washington Enerji Departmanı Güneş Çadırı dış mekân ve iç mekân görünüşü (Researchgate, 2018)

Fotovoltaik hücrelerden oluşan güneş duvarının kavisli yapısı sayesinde güneş ışınlarından maksimum yararlanması hedeflenmiştir. Bunun yanı sıra fotovoltaik hücrelerden oluşan duvarın iç yüzeyinde boşluk oluşturulmuş ve trombe duvarı prensibi ile bu boşlukta ısı konveksiyonu gerçekleşmesi öngörülmüştür. Kışın bu boşlukta oluşan sıcak hava, mekânın ısıtılmasına yardımcı olacaktır. Kavisli olarak

tasarlanan duvarın dış yüzeyinin önünde bir havuz konumlandırılmıştır. Bu havuz sayesinde yaz aylarında sıcak hava soğutularak pasif olarak binanın içerisine verilir, bina içerisindeki sıcak hava ise üst kısımdan dışarıya atılmakta ve böylece binada ısı konfor sağlanmaktadır (US Department of Energy, 2001). Bu yenileme projesi binalarda güneş enerjisinin aktif ve pasif bir arada kullanımı açısından iyi bir örnek teşkil etmektedir.



Şekil 3.5 Washington Enerji Departmanı Güneş Çadırı yaz mevsimi havalandırma şeması (Researchgate, 2018)

3.3. Mataro Kütüphanesi

Barselona'ya 20 km mesafede bulunan Mataro Kütüphanesi, sürdürülebilir mimarlık ilkesi doğrultusunda 1998 yılında tamamlanmıştır. Mataro kütüphanesinin güney cephesinde güneş enerjisi kazanımı yanı sıra ısı enerjisi sağlayan havalıPV/T sistem entegre edilmiştir. Sağlam bir kaide temelinde yükselen dikdörtgen planlı yapının güney giriş cephesi geniş ölçekli, mavimsi polikristal silikon güneş hücrelerinden meydana gelmektedir. Güney cephesi 39,6m genişliğinde ve 6,5m yüksekliğindedir. Güney cephesinde dış yüzeye yarı-saydam PV entegreli, çift tabakalı havalandırılan cephe kuruluşu mevcuttur. 225m²'lik alana sahip yapının belirtilen bölümü sayesinde kütüphanenin elektrik ve ısı ihtiyacının önemli bir bölümü karşılanabilmektedir. Güney cephesinde ve çatı ışıklıklarında bulunan eğimli yüzeylerde PV paneller entegredir. Yarı-saydam polikristal hücrelerin oluşturduğu PV

panellerin arasında bulunan yatay çizgiler arası 1,4 cm boşluğa sahiptir. Tüm cephe boyunca süren şeffaf yatay bant, iç mekâna doğal ışığın geçmesini sağlar. Güney cephesindeki güneş hücreleri desen oluşturmakta, eklemleri aracılığıyla günışığını iç mekâna girmesi ve kısık ışıktaki bile çekici iç ortam yaratılması sağlanmaktadır (Schilken, 2008; Roberts ve Guarento, 2009).

Tablo 3.3 Mataro Kütüphanesinin künyesi

Binanın adı, yeri	Mataro Kütüphanesi / İspanya
Mimarı	Miguel Brullet Tenas
İnşaatın tamamlanma tarihi	1998
Toplam sistem alanı	600 m ²
Sistem gücü	-
Fotovoltaik Güneş Modülleri	Güney Cephesi ve Çatı, yarı saydam polikristal güneş hücreleri
Enerji üretimi	-



Şekil 3.6 Mataro Kütüphanesi dış görünüşü (Researchgate, 2018)

Oluşturulan boşluk PV'lerin soğuması için havalandırma sağlarken aynı zamanda sıcak hava üretmektedir. Bu şekilde 15 cm'lik boşlukta yaratılan hava, güneş yolu ile ısıtılmaktadır. Kışın, serbest konveksiyon akımları ya da fanlar, ısıtılmış havayı geleneksel bir ısıtma tesisine iletmektedir ve bu ısı taze hava girişini ısıtmak için kullanılmaktadır. Bu yöntem ile %15 enerji korunumu sağlanmaktadır. Yazın ise içeri alınan hava, yoğun olarak ısınan PV modüllerin havalandırılması için servis

vermektedir ve bu ısı yükselerek çatı kapaklarından dışarı verilmektedir. Böylece boşluk termal tampon olarak iç mekânı koruyucu görev görmektedir (Roberts ve Guairento, 2009).

Tablo 3.4 Güneş/Termal kollektörlerin özellikleri (Solair-project, 2018)

Kollektör tipi	Hava kollektörü
Kollektör markası	Grammer
Kollektör alanı	88 m ² diyafram
Eğim açısı, yönelim	20°, 5° batı
Kollektör akışkanı	Hava
Tipik çalışma sıcaklığı	Chiller çalışması için 65°C



Şekil 3.7 Mataro Kütüphanesinin iç mekan görünüşü (Researchgate, 2018)

Çatıda 4x94 m² ölçülerinde dört doğrusal ışıklık bulunmaktadır. Bu ışıklıklar da PV modüllerden oluşmaktadır. Bu ışıklıklar 37° eğimlidirler ve böylece binanın kuzey tarafına ışığın dolaylı şekilde girmesini sağlamaktadırlar. Bazı modüller yarı saydam amorf silikondan yapılmıştır. Her çatı penceresi, 13 adet çok fonksiyonlu opak ve 6 adet yarı şeffaf termovoltaiik modüle sahiptir (Schilken, 2008). Modüllerin cephelerde olduğu kadar çatıda da kullanılabilir oluşu, geliştirilmemiş termal özellik ile enerji maliyetini düşürmektedir. Burada PV, alan maliyetini azaltmakta, enerjinin taşınımı ve dönüşümünde daha az enerji kaybına yol açmaktadır. Büyük yarı saydam havalandırılabilir modüller ışığa, gürültüye ve olumsuz hava koşullarına karşı koruma

sağlamakta, işlevsel olduğu kadar çekici bir tasarıma sahiptir (European Commission, 1998).

Mataro Kütüphanesi bina havalandırması ve aydınlatılması yönüyle pasif, elektrik üretimi yönüyle aktif olarak güneş enerjisini kullanmaktadır. Hem pasif hem de aktif yöntemle güneş enerjisinin kullanıldığı bu yapı fotovoltaik teknolojiyi barındıran diğer bir güzel örnektir.

3.4 Roma Çocuk Müzesi

1920 yılında bir hangar yapısı olarak inşa edilen bina 2001 yılında restore edilerek çocuk müzesine dönüştürülmüştür. Proje konsept olarak çevreye saygı ilkesini benimsemiş, yapıda kullanılan bütün malzemeler geri dönüşmüş veya geri dönüştürülebilir olarak içerisinde toksik bileşen bulundurmayan malzemelerden oluşmaktadır. Restore edilen binada enerji etkin kullanım amacıyla fotovoltaik sistemi tasarımın bir parçası olacak şekilde binaya entegre edilmiştir.

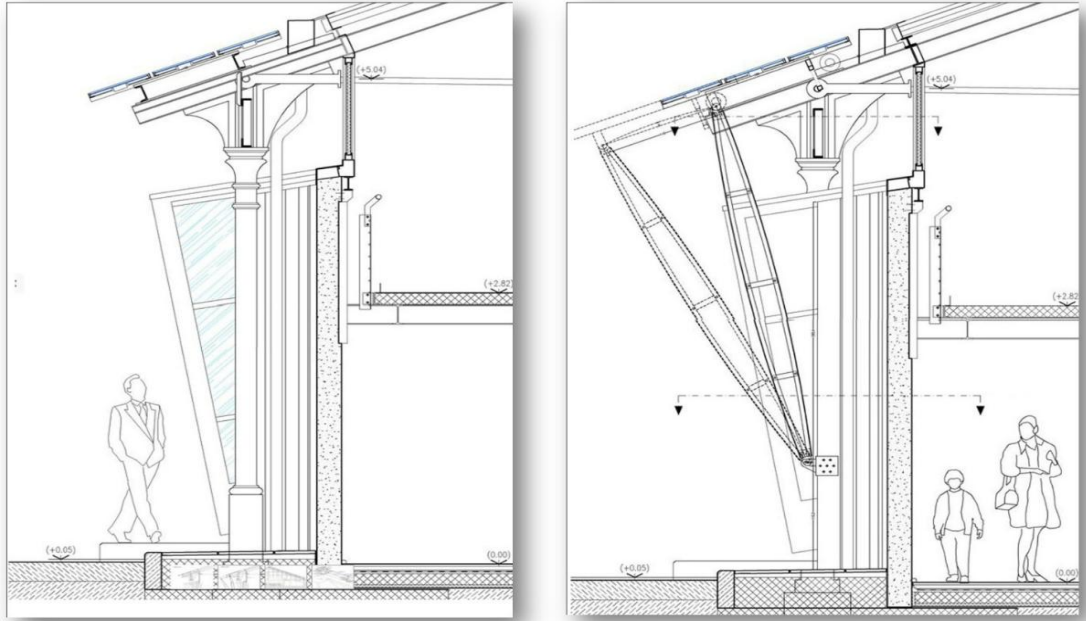
Tablo 3.5 Roma Çocuk Müzesinin künyesi

Binanın adı, yeri	Roma Çocuk Müzesi / Roma İtalya
Mimarı	Cinzia Abbate, Carlo Vigevano
İnşaatin tamamlanma tarihi	2001 (Restorasyon Projesi)
Toplam sistem alanı	142 m ²
Sistem gücü	15,2 KW
Fotovoltaik Güneş Modülleri	Çatı ve Gölgeleme Elemanları, özel düşük yansıtımlı polikristal cam paneller
Enerji üretimi	18.000 kWh



Şekil 3.8 Roma Çocuk Müzesi dış ve iç görünüşleri (MDBR, 2018)

Fotovoltaik paneller, gölgeleme elemanı ve çatı kaplama malzemesi olarak kullanılmıştır. Gölgeleme elemanı binanın güney cephesinde hareketli ve sabit olmak üzere 7kW gücünde 108 standart modülden oluşmaktadır. Bu standart modüllerin her biri 55,5 x 121,5 cm olup 76 m² alanı örtmektedir. Çatıda kullanılan fotovoltaik paneller bina akslarına uygun olarak 114,5 cm x 114,5 cm 72 adet çift camlı modüllerden oluşmaktadır. Her bir modül 8,2kW gücündedir ve toplamda 142 m² yüzey alanı kaplamaktadır. Çift camlı fotovoltaik modüllerin arasına düşük yansıtıcı cam yüzeyler yerleştirilmiştir. Bu yüzeyler sayesinde mekana doğal aydınlatma sağlanmış ve uzaktan kumandayla kontrol edilebilen bu modüllerden bazıları açılarak doğal havalandırma sağlanmıştır. Binanın güney cephesindeki cam ise sabit ve hareketli paneller sayesinde doğal ışık içeriye alıp fazla radyasyondan yapıyı korumuş olmaktadır. Fotovoltaik paneller yapay aydınlatmanın %60'ını karışlamaktadır. Hareketli paneller için mimarlar ve mühendisler ortak bir çalışma içerisinde bulunup özel taşıyıcı elemanlar ile desteklemişlerdir. Bu fotovoltaik sistem yılda yaklaşık 18.000 kWh enerji üretmektedir. Roma çocuk müzesi güneş enerjisinin elektrik enerjisine dönüştürülmesiyle aktif, doğal aydınlatma sağlaması yönünden ise pasif olarak bir arada kullanılması bakımından önemli bir örnek teşkil etmektedir (Altın, 2003).



Şekil 3.9 Roma Çocuk Müzesi sabit ve hareketli gölgeleme elemanları şeması



Şekil 3.10 Binanın giriş ve güney cephesindeki PV saçaklar ve çatıya yerleştirilen PV modüller (Prasad ve Snow, 2014)

Müzenin pencere çerçevelerinin tüm temel yapı bileşenleri standart endüstriyel malzemelerden oluşurken, üretilmesi gereken özel parçaların yalnızca çatıdaki PV'leri bir araya getiren bağlantılar olduğu belirtilmiştir. Tasarımcılar, çatı teçhizatının ve PV modüllerin alüminyum çerçevesi ile çatı kaplaması arasındaki derzlerin çizimlerini detaylı şekilde üretmişlerdir. Kurulumlar, bir emiş cihazı ve bir mobil platform kullanılarak yapılmıştır. Hareket ettirilebilir saçaklar için mühendis Bruno Masci ve Abbate&Vigevano işbirliğiyle standart PV modülleri desteklemek amacıyla özel yapısal sütunlar tasarlanmıştır. Bu dikey merceksi şekilli elemanlar, mevcut dökme demir kolonların yanına yerleştirilmiş ve Palenceau'nun orijinal yapısının ışıklı "örümcek ağı" tasarımını yansıtmıştır (Prasad ve Snow, 2014).

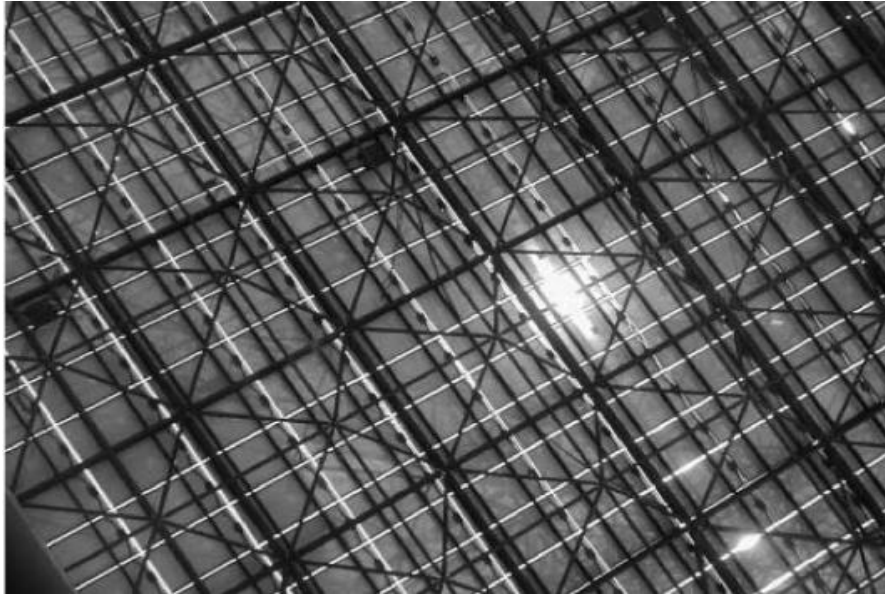
Tablo 3.6 Projenin genel maliyet bileşenleri

	US\$
PV Modüller	53.630
Elektrik aksamı ve kurulumu	47.500
Saçaklar için yapısal destek ve kurulum	35.000
Avrupalı paydaşlarla tasarım ve koordinasyon	30.000
Toplam maliyet	166.130

Roma Çocuk Müzesi, PV/T sistem maliyetinin %60'ını öderken, kalan %40'lık maliyet Avrupa Birliği tarafından finanse edilmiştir. Projede PV modüllerin üretimini Eurosolare, elektrik sistemin tasarlanması ve kurulumunu Gechelin Group, özel saçakların inşasını ise Italcarelli üstlenmiştir.

3.5 Keşif Bilim Merkezi Güneş Küpü

Santa Ana Keşif Bilim Merkezi'nin inşaatı 1999 yılında tamamlanmıştır. Bu yapının tasarımının da bir parçası olan Güneş Küpü ana binaya 50 derece açı ile oturtulmuştur. Güneş küpünün 50 derecelik açı ile binaya oturtulmasının sebebi ise güneşten maksimum yararlanmaktır. Güneş Küpü'nün taşıyıcı sistemi uzay kafes sistemidir.



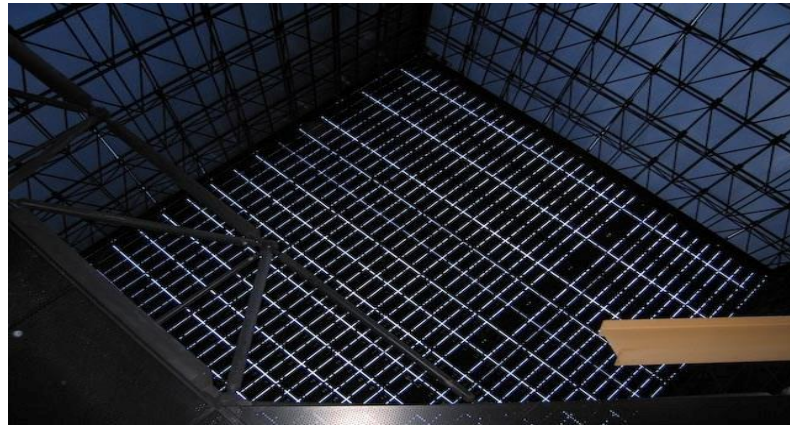
Şekil 3.11 Keşif Bilim Merkezi Güneş Küpü ve iç yapısı (Eiffert ve Kiss, 2000)

Küpün üst yüzeyinde 1320 m²'lik alan ince film fotovoltaik panellerle oluşturulmuştur. Güneş Küpü, ince film fotovoltaik panellerin dünyada kullanılan en

büyük örneklerinden birisi olmuştur. Bu sistemin gücü 20 kWp olup yılda 30.000 kWh enerji üretimi gerçekleştirmektedir. Bu üretilen enerji Bilim Merkezi'nin enerji ihtiyacının önemli bir kısmını karşılamaktadır. Kúpün diğer yüzeyleri ise siyah delikli metal levha panellerle kaplanmıştır. Siyah delikli metal levha doğal ışığın içeriye alınması ve doğal havalandırma sağlanması bakımından ve fotovoltaik panellerle cephe uyumu açısından uygun bir malzemedir (Eiffert ve Kiss, 2000).

Tablo 3.7 Keşif Bilim Merkezi Güneş Kúpünün kúnyesi

Binanın adı, yeri	Keşif Bilim Merkezi Güneş Kúpü/ Santa Ana California
Mimarı	Arquitectonica
İnşaatın tamamlanma tarihi	1999
Toplam sistem alanı	1320 m ²
Sistem gücü	20 kWp
Fotovoltaik Güneş Modülleri	Kúpün güney cephesi, ince film teknolojili PV modüller
Enerji üretimi	30.000kWh



şekil 3.12 Keşif Bilim Merkezi Güneş Kúpü dış ve i görünüşü (Waymarking, 2018).

Küpün mimarı Arquitectonica, PV modüllerin tasarımcısı ise Solar Design Associates'tir. Bu güneş elektrik sistemi, 2000'li yılların başında dünyanın en büyük binaya entegre ince film uygulamalarından birine sahiptir. Küpün PV kaplı yüzeyi maksimum görsel etki ve optimum güneş yararlanımı için 50° eğimlidir. BP Solarex'in Millennia modülleri, küpün 4,334 ft² yüzeyini kaplamaktadır. İnce film modülleri, camdan bir saçak yerine mimari bir gölgeleme elemanı olarak işlenmiştir. Güneş enerjisi sistemi, Bilim Merkezinin ana şebeke programına bağlanmıştır. Güneş sistemi enerji ürettiğinde, enerji Bilim Merkezi'ne beslenmekte ve konvansiyonel şebeke gücünü değiştirmektedir. Güneş sistemi, Bilim Merkezi'nin ihtiyacından daha fazla elektrik ürettiğinde, fazla üretilen elektrik şebekeye geri gönderilmektedir (Eiffert ve Kiss, 2000).

3.6 Concordia Üniversitesi John Molson İşletme Fakültesi

John Molson İşletme Fakültesi/Okulu, PV panellerinden ısıyı geri kazanmak için yüksek verimli dağıtılmış hava giriş yöntemi kullanan tam entegre bir kurulumla sahip olup, türünün ilk örneğidir.

Tablo 3.8 Concordia Üniversitesi John Molson İşletme Fakültesi künyesi

Binanın adı, yeri	John Molson İşletme Fakültesi / Montreal California
Mimarı	Andreas Athienitis
İnşaataın tamamlanma tarihi	2008
Toplam sistem alanı	288 m ²
Sistem gücü	24,5 kWp (PV) – 75 kWp (Termal)
Fotovoltaik Güneş Modülleri	Güney cephesi, Day4 özel polikristal PV modülleri
Enerji üretimi	100.000 kWh

Birleştirilmiş ısı ve elektrik üretimi, güneşten elde edilen yararlı enerjiyi optimize ederek, elektrikten üç kat daha fazla ısı üretmektedir. Termal açıdan sistem, binayı kullananların havalandırma ihtiyaçlarını karşılamak için taze hava ön ısıtması yapan büyük bir güneş hava kolektörü gibi davranmaktadır. Sistem çalışırken elektrik üreten fotovoltaik paneller soğutulmaktadır (NSERC Solar Buildings Research Network).



Şekil 3.13 JMSB binasının cephesine entegre PV/T sisteminin sokak seviyesinden görünümü (Concordia, 2018)

Binadaki PV/T kurulumu, sistemin yılda yaklaşık 100 MW-saat üretim yapmasını mümkün kılmakta ve hem doğal gazı hem de elektriği şebekeden ayırmaktadır. Dikey kurulum, kış mevsiminde yüksek enerji üretimine olanak sağlamakta ve özellikle kar yükünden kaynaklanan bakım gereksinimlerini azaltmaktadır. Bu yenilikçi kurulum, üretilen yıllık enerjiyi uygun şekilde ölçmek ve Kanada’da ileride ortaya konulacak projelerin uygulanabilirliğini belirlemek için sürekli olarak izlenmektedir. Binanın lobisinde yer alan bir enerji ekranı, öğrenciler ve halkın güneşten elde edilen ve binaya verilen enerjiyi gerçek zamanlı olarak görmesini sağlamaktadır.



Şekil 3.14 Bina cephesine entegre güneş termal hava kollektörüne takılan özel PV modülleri ve yakından görünüşü (Concordia, 2018)

Güneşli günlerde, yaklaşık 20°C sıcaklık artışı ile büyük miktarlarda taze hava ısıtılır. Temiz hava ısıtmanın bu düşük sıcaklık uygulaması yüksek enerji geri kazanım verimine sahiptir ve JMSB gibi kurumsal binalar için havalandırma için daima taze hava gerekir. Sıcak hava daha sonra gerektiğinde, daha fazla ısıtıldığı HVAC sistemine iletilir. Fotovoltaik panellerden temiz havaya sağlanan ısının büyük bir kısmı uzaklaştırılır. BIPV/T kurulumu, hem doğal gaz hem de elektriği şebekeden ayırarak, yılda yaklaşık 100 MW saate kadar üretimi mümkün kılmaktadır. Dikey kurulum, kış mevsiminde yüksek enerji üretimin mümkün kılmakta ve özellikle kışın yağın kar yüklerinden kaynaklanan bakım gereksinimlerini azaltmaktadır. Bu yenilikçi kurulum, üretilen yıllık enerjiyi uygun şekilde ölçmek ve gelecekteki projelerin Kanada'daki

uygulanabilirliğini belirlemek için sürekli olarak izlenmektedir. JMSB'nin lobisinde bulunan bir enerji ekranı, öğrencilerin ve halkın güneşten elde edilen ve binaya verilen gerçek zamanlı enerjiyi görmesine olanak sağlaması açısından önemli bir mimari unsurdur (NSERC Solar Buildings Research Network).



Şekil 3.15 Fakültenin iç mekan görünümü ve kütüphaneden bir görüntü (Concordia, 2018)

3.7 BP Solar Skin

Norveç Bilim ve Teknoloji Üniversitesi'ndeki mevcut ofis binasına, hem ısı kaybını azaltarak hem de ısıyı azaltarak, havalandırma havasını ısıtarak ve elektrik üreterek, cam bölmelerine yerleştirilmiş PV hücreli bir cam cephe eklenmiştir. PV sistemleri cepheye entegre edilmesinin nedeni, daha yüksek enlemlerde güneşe bakan dikey bir duvardaki güneş radyasyonunun maksimum radyasyon için en uygun şekilde

yönlendirilmiş eğimli bir yüzeyden az olmasıdır. Bu nedenle, cephede PV kaplama, elektrik üretimi açısından daha az verimli olmayacaktır. PV çıktısı modül sıcaklığına bağlı olduğundan, cam cephe ile bitişik binanın duvarı arasında oluşan 0.8m boşluk, hücrelerin havalandırılmasında yardımcı olmakta ve böylece verimliliği arttırmaktadır. PV hücreleri, yaz boyunca camlar için gölge sağlayacak şekilde düzenlenmiştir. 455 m²'lik cephe, 192 m² yüksek verimli mono kristal PV hücreleriyle entegre edilmiştir. Yaklaşık %16 verimlilikle sistemin tahmini en yüksek performansı 16kW'dır. Projenin başlatılmasında BP'nin temel amacı, PV'nin entegrasyonuna çekici ve akıllı bir çözüm sunmaktır (Aschehoug ve diğer., 2003).

Tablo 3.9 BP Solar Skin künyesi

Binanın adı, yeri	Norveç Bilim ve Teknoloji Üniversitesi Bragstads plass2 /Trondheim Norveç
Mimarı	Anne Gunnarshaug Lien
İnşaatin tamamlanma tarihi	2006
Toplam sistem alanı	192 m ²
Sistem gücü	16 kWp
Fotovoltaik Güneş Modülleri	Güney duvarı/dikey, 192 m ² PV hücreleri ile lamine edilmiş monokristal cam modüller ile kaplı ve iki panel arasında reçine katmanına yerleştirilmiş kanallar.
Enerji üretimi	-



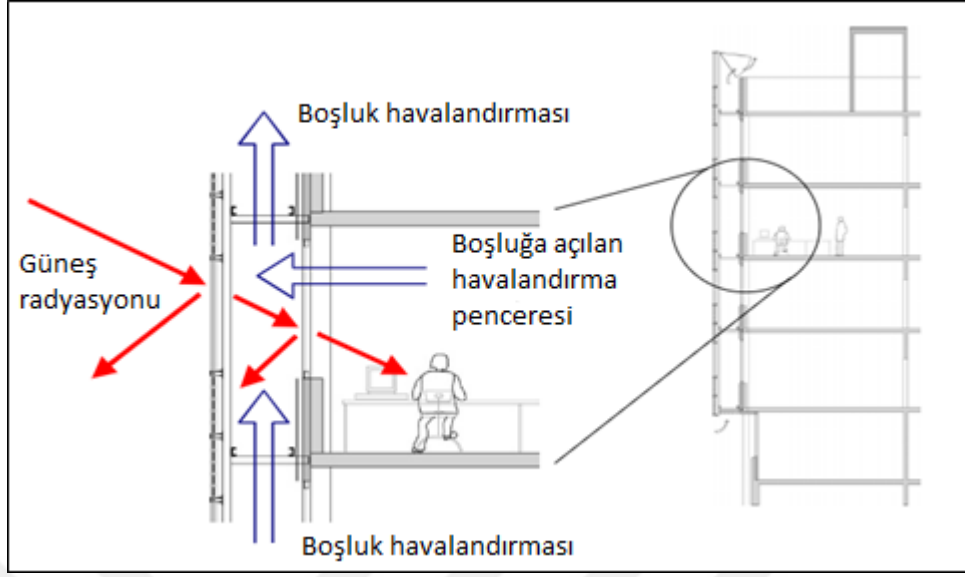
Şekil 3.16 Cam cephede monokristal PV kaplamalı BP Solar binası (Basnet, 2012)

PV modüllerinin şekli ve boyutu, cam cephenin modüler ritmine uygundur. İki PV modülü bir cam modülün alanını kaplamaktadır. Modüller, cephenin yatay ızgarasını takip eden pencereler olmaksızın cephe bölümünün dışında yatay olarak düzenli aralıklarla konumlandırılmaktadır. Hücreler, kullanılan camla uyumlu standart mavi renktedir. PV hücreleri lamine cam modüllerdeki tabakaya gömüldükçe, hücreler düzenli aralıklarla bir model oluşturan küçük kare noktalar gibi görünmektedir. Kullanılan küçük boyutlu PV hücreleri ile entegrasyonda yüksek düzeyde esneklik bulunmaktadır. PV hücreleri, yaz mevsiminde güneşe karşı pencereler için gölgeleme sağlamaktadır (Basnet, 2012).



Şekil 3.17 Trondheim'daki BP Solar Skin duvarında kullanılan entegre fotovoltaik hücreleri (Basnet, 2012)

Çift cephe, bir binanın normal yalıtılmış dış duvarının dışına monte edilmiş bir camdan oluşur. Dış kabuk ile ana duvar arasında oluşan boşluk, ekstra ısı yalıtımı ve bina için geliştirilmiş hava sızdırmazlığı sağlamaktadır. Boşluk aynı zamanda güneş kırma sistemleri ve diğer ön cephe ekipmanları için korumalı bir konum sunmakta ve Şekil 4.17'de gösterildiği gibi bakım, temizlik ve yangın kaçış platformları olarak kullanılabilir. Güney cephesinde camlı oyuk bir sera aynı şekilde güneş ışınımını yakalar. Yakalanan enerji, havalandırma havasının ön ısıtılması için kullanılabilir, yükseltilmiş oyuk sıcaklığı her durumda binadan ısı kaybını azaltır. Soğutma mevsiminde boşluğun boşaltılması gerekir. Boşluğun hava hareketi ve ısı dengesi, Şekil 4.17'de gösterilmiştir. Çift cephe uygulamasının mimari açıdan en önemli özelliği, genellikle yüksek teknoloji-yüksek profilli binaların arzu edilen görüntüsünün geliştirilmesini sağlamaktır.



Şekil 3.18 Çift cephenin hava hareketlerini ve ısı dengesi, bir ofisle olan mesafesi, platformlar, menfezler ve hava hareketleri (üstte) ve çift cephenin detaylı görünümü (altta) (Aschehoug ve Hestnes, 2006)

3.8 Paul Horn Arena

Paul Horn Arena'nın güneybatı cephesi, renkli polikristal güneş hücrelerinin kullanıldığı dünyanın en büyük fotovoltaik cephesidir. Her biri 2 watt'lık çıkışa sahip 20.000 üzerinde entegre Sunways güneş hücresi, sadece spor kompleksinin enerji ihtiyacının bir kısmını karşılamak için temiz enerji üretmekle kalmamakta, aynı zamanda tüm cephedeki geleneksel kaplamaları değiştirerek ekonomiye katkıda

bulunmaktadır. Fotovoltaik sistem, binanın genel mimari konseptine mükemmel bir şekilde entegre olmuştur. Özellikle mimarının en başarılı bölümü, güneybatı cephesinde estetik ve fonksiyonel yönlerin birleşimidir (Basnet, 2012).

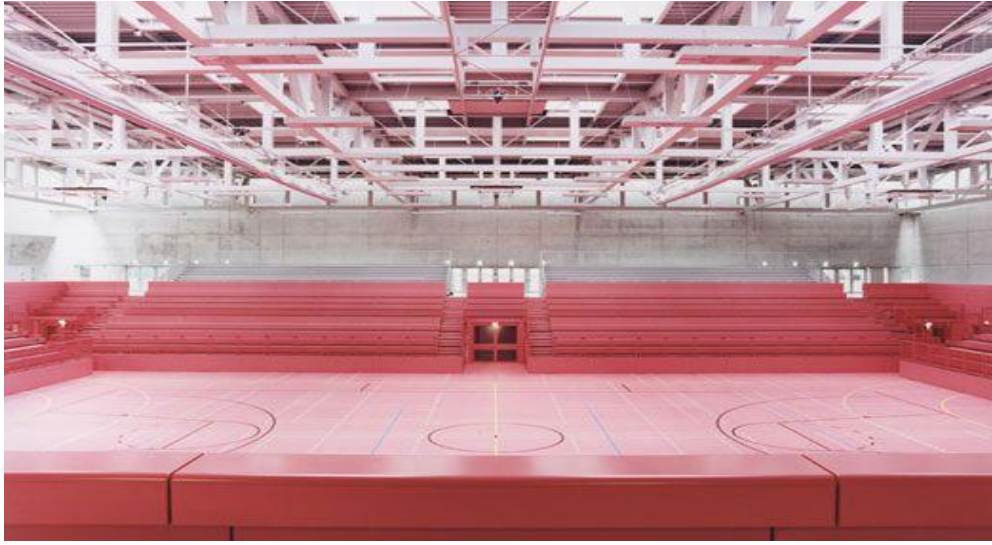
Tablo 3.10 Paul Horn Arena künyesi

Binanın adı, yeri	Paul Horn Arena/Tübingen Almanya
Mimarı	Almann-Sattler-Wappner
İnşaatın tamamlanma tarihi	2004 Hugo Häring Ödülü 2009 Wüstenrot Vakfı'ndan "Almanya Enerji Verimliliği Mimari" Tasarım Ödülü 2008 Preis des Deutschen Stahlbaues (Alman Çelik Mimarisi Ödülü), 2006
Toplam sistem alanı	6500 m ²
Sistem gücü	Yaklaşık 40 kWp
Fotovoltaik Güneş Modülleri	Güneybatı cephesi, çok kristalli opak (zümrüt renkli) Sunways güneş hücreleri
Enerji üretimi	-



Şekil 3.19 Paul Horn Arena'daki renkli polikristal güneş hücrelerinin entegrasyonu (Almannsattlerwappner, 2018)

Modüllerin boyutları, kesim ölçüsü olmadan cepheye tam olarak uyacak şekilde özelleştirilmiştir. Modüller, cephenin yataylığını dengelemek için dikey olarak konumlandırılmıştır. Görülebilir kristallere sahip zümrüt yeşili Sunways hücreleri, binaya dramatik bir görünüm kazandırmıştır. Modüllerin düz kenarları, cephede görüldüğü zaman iki boyutlu kristal yüzeyden kesilmiş gibi görünmektedir. Cephenin tamamı PV ile kaplı olduğundan, entegrasyon düzeninde yüksek düzeyde esneklik bulunmaktadır. PV modülleri cephe kaplama elemanlarında kullanılmıştır (Basnet, 2012).



Şekil 3.20 Paul Horn Arena binasının iç mekan görünümü ve havalandırma-ışıklandırma sistemleri (Stadionwelt, 2019)

Sınırlı bir alanda kullanılabilirliği en üst düzeye çıkarmak amacıyla tasarımda dış hava koşullarından daha fazlası için cephelerin etkinleştirilmesi tercih edilmiştir. Her cephe; paten veya streetball gibi modern sporlar için bir tırmanma duvarı veya zemin görevi görürken, güneş paneli sistemi veya sıcak bir camla kaplı giriş ve balkon gibi farklı fonksiyonları da yerine getirmektedir. Cephelerin farklı karakterlerine ve etkilerine rağmen, tüm tasarımlar birlikte büyük bir stadyumun dış kabuğuna uygun, uyumlu bir malzeme ve renk koleksiyonu sergilemektedirler. Heterojen dış kısım, iç mekanın daha homojen tasarımıyla tezat oluşturmaktadır. Tek renkli kırmızı bir kabuk, merkezi sporları ve etkinlik alanını çerçevelemektedir. Stadyum mimarisinde geleneksel olmayan doğal bir havalandırma sistemi, projenin sürdürülebilirlik konusundaki taahhüdünün altını çizen güneş paneli duvarını tamamlamaktadır (Allmannsattlerwappner, 2019).

3.9 Solar XXI

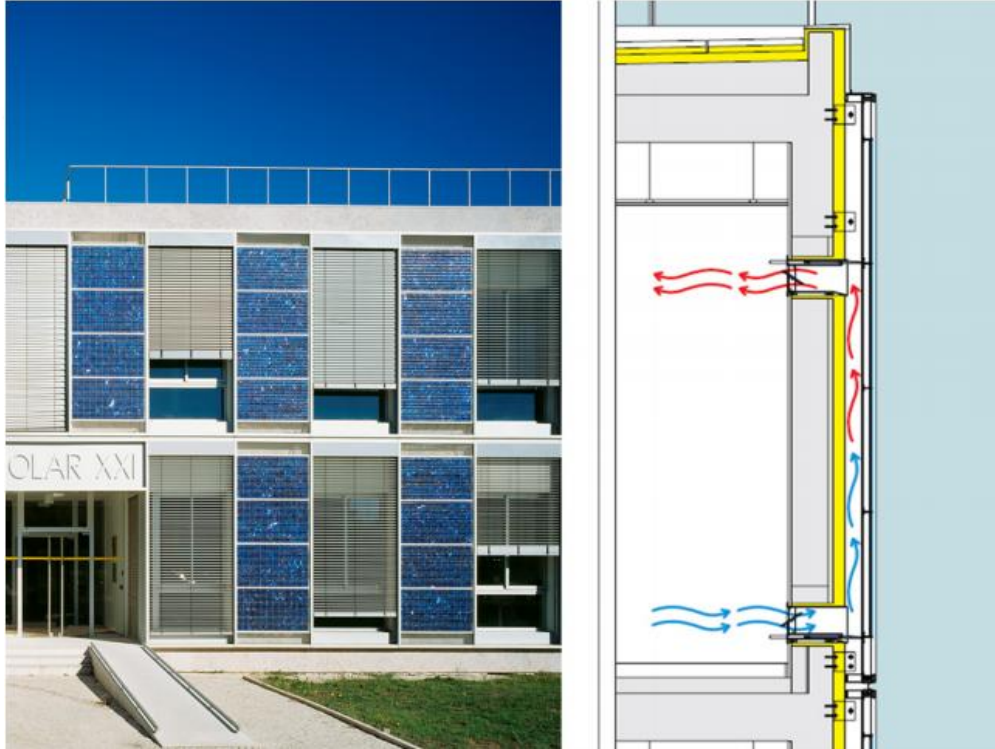
Lizbon'daki LNEG Kampüsü'nde 2006 yılında inşa edilen Solar XXI binası, net sıfır enerji kullanan, doğru ısıtma ve soğutma (yer soğutma) için pasif sistemler kullanan düşük enerjili bir bina örneğidir (Aelenei ve diğer., 2014). Ana cephe, kış aylarında ısınmaya yardımcı olan ısı geri kazanımlı bir PV sistemine sahiptir. Yaz aylarında, binanın soğutulması için gece soğutma stratejileri ile birlikte bir yer soğutma sistemi (tüpler) kullanılmaktadır (Gonçalvez ve diğer., 2012).

Tablo 3.11 Solar XXI Binasının künyesi

Binanın adı, yeri	Solar XXI Ofis Binası/LizbonPortekiz
Mimarı	Pedro Cabrita, Isabel Diniz
İnşaatin tamamlanma tarihi	2006
Toplam sistem alanı	1436 m ²
Sistem gücü	120 kWp
Fotovoltaik Güneş Modülleri	Güney cephesi, 100 m ² çok kristalli silikon modüller
Enerji üretimi	-



Şekil 3.21 SOLAR XXI binasının güney cephesinden dış görünümü (Gale-Snowden, 2019)



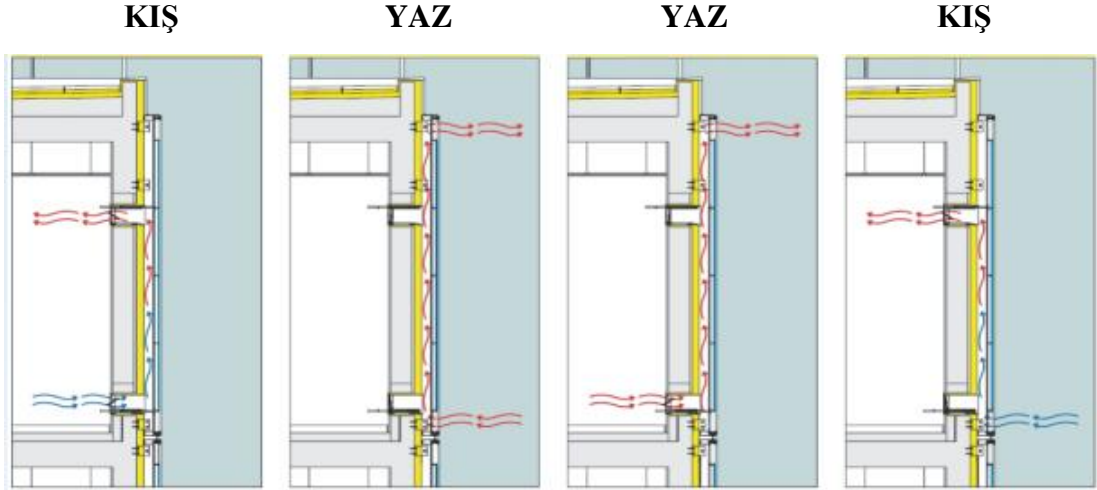
Şekil 3.22 Binaya entegre PV/T ve pencere gölgelemesi (Gonçalvez ve diğer., 2012)

Pencerelerden doğrudan güneş enerjisi kazanımı yanı sıra binanın güney cephesini birleştiren PV/T sistemi, ısıtma süreci sırasında gündüz saatlerinde iç ortamın

iyileştirilmesini sağlayarak, dönüşüm sürecinde ortaya çıkan ısıya katkıda bulunmaktadır. Güneş ışınımını güne dönüşürme işleminde açığa çıkan ısı başarılı bir şekilde geri kazanılmaktadır. Bir ısıtma stratejisi olarak, yüksek güneş radyasyonu olan günlerde kış döneminde, PV/T ile ısıtılan ve ofislere hava verilen havanın sıcaklığı 30°C'ye kadar çıkabilir (Gonçalvez ve diğer., 2012).

Bir zemin soğutma sistemi, toprağı soğutma kaynağı olarak kullanan binaya önceden soğutulmuş hava sağlamaktadır. Sistem 4,5 m derinliğe gömülmüş 30 cm çapında 32 tüpten oluşmaktadır. Zemin sıcaklığı yıl boyunca 13 ila 19°C arasında değişmekte, bu nedenle yaz mevsiminde mükemmel bir soğutma kaynağını temsil etmektedir. Hava, binanın 15 m uzağındaki tüp dizisine girer, tüp devresini soğutmanın zemine yakın bir sıcaklığa kadar çaprazlanır ve küçük vantilatörler kullanılarak doğal konveksiyon veya zorla konveksiyon yoluyla bina ofis odalarına enjekte edilir. Sistem, iç mekân sıcaklığının gömülü borulardan gelen taze havayı iterek, sıcaklığın yüksek olduğu zamanlarda, sıcak yaz günlerinde büyük verimlilikle çalışır. Ofis odalarına enjekte edilen hava sıcaklığı 22 ila 23°C arasında değişmekte ve iç hava sıcaklığı 2 ila 3°C arasında azalmaktadır.

Doğal havalandırma, her iki mevsimde Solar XXI binasında önemli bir rol oynar. Cephe ve çatı katındaki açıklıklar yoluyla çapraz rüzgâr ve yığın etkisi nedeniyle doğal havalandırma sağlanır. Tüm ofis odalarının kapılarında bulunan ayarlanabilir havalandırma delikleri ile birlikte cephe açıklıkları, havanın içeriden dışarıya doğru akmasını sağlayarak çapraz havalandırma sağlar. Binanın orta salonunda, yığın etkisi ile doğal havalandırma sağlayan bir tavan penceresi vardır. Hem gündüz hem de gece mevcut havalandırma stratejileri, gece boyunca uygulandığında yaz aylarında özellikle gündüz vakti bina içinde ve sıcaklıkta biriken termal yükleri en aza indirerek yüksek konfor sağlamaktadır (Gonçalvez ve diğer., 2012).



Şekil 3.23 Havalandırmayı desteklemek için fotovoltaik panellerin çalışma modu (Buildup, 2019)

Mimari açıdan cepheye entegre edilen 76 PV multikristal silikon modüller, arabaların park yerine entegre edilen 100 PV amorf silikonlar ve 150 PV CIS ince film modüller, çatıya entegre edilen ısıl güneş kolektörleri binanın farklı bölgelerinde üretkenliği artırırken, karma sistemlerin hem cephe ve çatı bileşeni olarak hem de cephe ve çatı dışında farklı yapı bölümlerinde kullanımına ilişkin önemli bir örnektir.

3.10 Solar Office Doxford International

Binaya entegre PV içeren ilk ofis binası olan Doxford International Business Park'ta 1999 yılında tamamlanmıştır. Bina 66m uzunluğunda, güneye bakan, 532m²'yi kaplayan PV cepheden oluşmaktadır. Bu özellik, Avrupa'da bir ofis binasına kurulan en büyük PV cephesi olmuştur. Cephe, binanın ana özelliğidir ve güneş ışığını yakalamak için 60°'lik bir açı ile eğimlidir. Sistem, maksimum 73kW güce sahip olup, aynı zamanda binaların enerji gereksinimini en aza indirmek için pasif güneş tekniklerini de içermektedir. Düşük enerji önlemleri, gündüz aydınlatmasını ve çapraz havalandırmayı teşvik eden yüksek tavanlar, kışın ısı kayıplarını en aza indirmek için iyi yalıtılmış ve etkili ve duyarlı çevresel kontrollerin sağlanmasını mümkün kılmaktadır (Erdoğan, 2009).

Tablo 3.12 Solar Office Doxford International Binasının künyesi

Binanın adı, yeri	Solar Ofis Doxford / Sunderland Birleşik Krallık
Mimarı	Studio E Architects Ltd
İnşaatin tamamlanma tarihi	1999 Energy Globe Ödülü 2000 Design Council Millenium Product Ödülü 1999 Europe Solar Ödülü 1999
Toplam sistem alanı	532 m ²
Sistem gücü	73kWp
Fotovoltaik Güneş Modülleri	Güney cephesi 60° eğim, 352 panel, Kare şeklinde Monokristal hücreler
Enerji üretimi	113.000 kWh/a



Şekil 3.24 Solar Ofis Doxford International binasının dış görünümü (Skaaland ve diğer., 2011)

Şekil 3.23'te görüldüğü gibi BIPV için, eğimli duvarlar vasıtasıyla eğik bir pozisyon elde edilebilir. Opak mavi renkte olan güneş hücreleri 100 mm x 100 mm alana sahiptir. Diziliş formu doğrusal, paralel, eşit ve kısaltılmış dize uzunluğu şeklindedir ve konumlandırma eşit dağılıma sahiptir. Hücrelerde yönlendirme ise kenardan hizalıdır.



Şekil 3.25 Solar Ofis Doxford International binasının iç mekan görünümü (Skaaland ve diğer., 2011)



Şekil 3.26 Güneş hücrelerinin yakından görünümü (Baum, 2012)

Mimari formda dokuz farklı panel tasarımı bulunmaktadır. Düz, gri renk ve yarı saydam hücreler tercih edilmiştir. Yapısal entegrasyon eğimli cephe olup, V şeklinde kat planına sahiptir.

3.11 Soft House

Soft House, Almanya Hamburg'daki Uluslararası Mimarlık Fuarı için Kennedy & Violich Mimarlık tarafından tasarlanmıştır. Soft House, dört sıralı konut birimlerinden meydana gelmektedir. Üç katlı binanın göze çarpan ayırt edici özelliği, uyarlanabilir

PV tekstil membran gölgelendirmesidir (Orhon, 2016). Yapıya ve PV sisteme ait dış görünüm Şekil 3.27’de gösterilmiştir.

Tablo 3.13 Soft House binasının künyesi

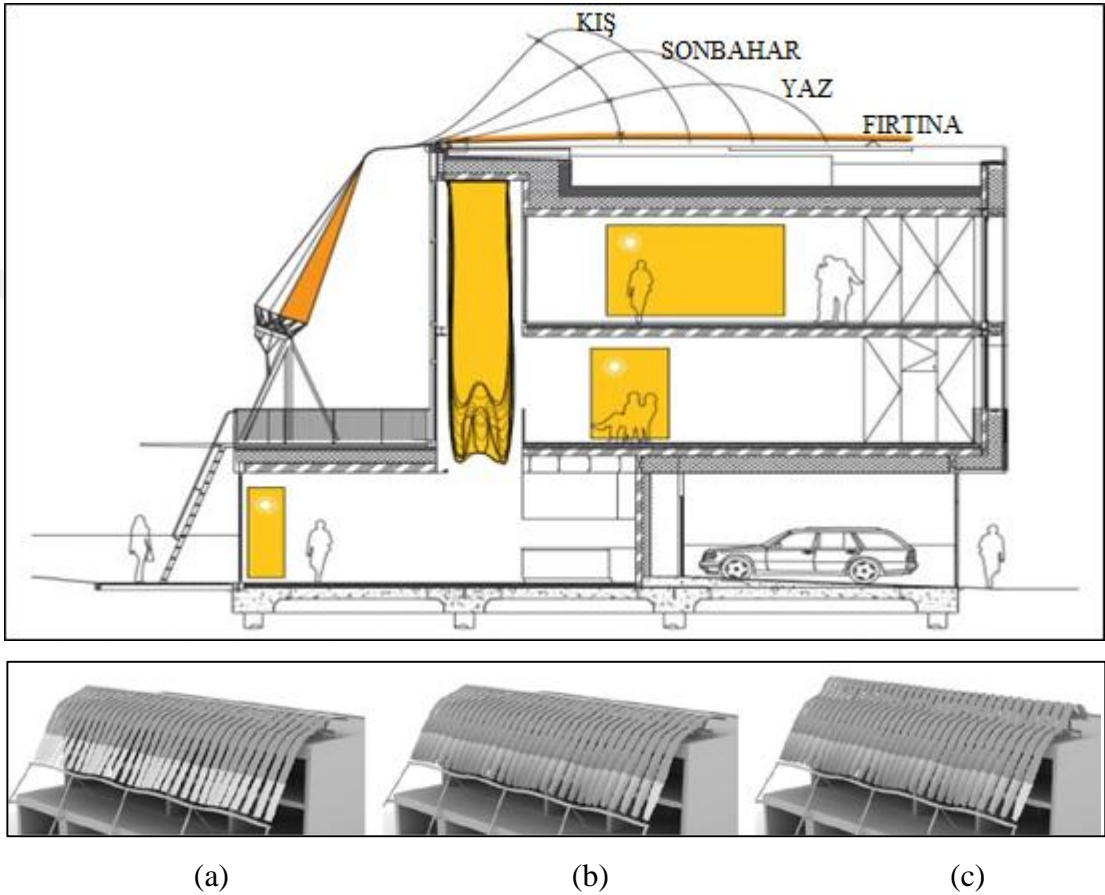
Binanın adı, yeri	Soft House / Hamburg-Almanya
Mimarı	Kennedy & Violich Architecture / 360GRAD+
İnşaatın tamamlanma tarihi	2013
Toplam sistem alanı	780 m ²
Sistem gücü	9,6 kW
Fotovoltaik Güneş Modülleri	Güney cephesi, ince film-düşük karbon esnek PV
Enerji üretimi	24.000 kWh/yıl



Şekil 3.27 Soft House’un Uyarlanabilir PV tekstil membran gölgelendirme görünümü (Orhon, 2016)

“Twister” olarak adlandırılan tek tek hareket edebilen PV entegre tekstil membran şeritleri, DC motorlar kullanılarak yükseltilebilir ve bükülebilir. Cephe, gün boyunca güneşi takip eden ayçiçeği ilkesine benzer şekilde uyarlanmaktadır. Binada yaşayan bireyler, ışığın akışını ve manzarayı düzenleyebilir. Cephe, yaz aylarında gölge sağlamakta, enerji kaybını en aza indirmekte ve kışın gün ışığının içeri girmesini mümkün kılmaktadır. Çatıdaki fiberglas takviyeli plastik deforme levhalar, fırtına ve mevsime göre konumları ayarlamak için kullanılmaktadır (Orhon, 2016). Tekstil “twister”larda bulunan esnek PV’ler, çatıdaki esnek fiber kompozit panolara

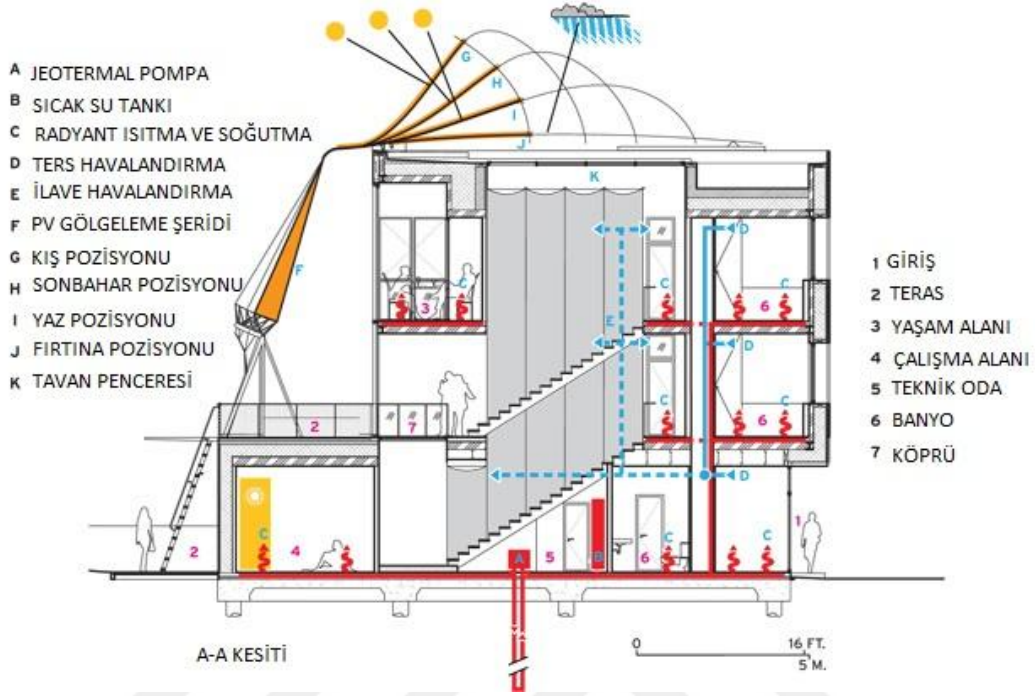
tutturulmuştur. Yapıda mevsimsel olarak günlük ve yıllık, güneşin izlenmesi açısından PV'lerin konumlarını uyarlayan 2 eksenli yumuşak güneş izleme sistemi bulunmaktadır. Temiz enerji, Soft House akıllı bina yönetim sistemi tarafından yenilikçi bir DC alçak gerilim şebekesinde takip edilmektedir (Kennedy & Violich Architecture, 2014).



Şekil 3.28 Cephe pozisyonlarına ilişkin örnekler (a) fırtınalı havada düz (b) fırtınalı havada döndürülmüş (c) kış ayında döndürülmüş. (Maier, 2014)

Pasif ev standardında inşa edilmiş ve doğal rengini koruyan ahşap yapı, sürekli ışık alma ve karbonu azaltma özellikleri nedeniyle geleneksel tuğla konstrüksiyona alternatif olarak çevre dostu bir görünüm sağlamaktadır. Tasarım özelliği olarak daire içerisinde hareketli, şeffaf “perde” kullanılmaktadır. Bu perdeler, yapıda ikamet edenlerin geniş iç mekânları kendileri ayırmalarını ve düzeni istedikleri gibi değiştirmelerini mümkün kılmaktadır. Ayrıca yapı sakinlerinin kendi evlerinde sıcaklığı düzenlemelerine yardımcı olmaktadır. Membran cephesi tarafından binanın

dışından üretilen elektrik, LED'lerle gömülü olan perdelere doğrudan beslenmekte ve ayrıca dairelerde ilave ışık sağlamaktadır (IBA Hamburg GmbH, 2019).



Şekil 3.29 Soft House'da bulunan yaşam alanları ve diğer yapı unsurları (Kennedy & Violich Architecture, 2014)

Fiber takviyeli kompozit levhaların esnek, yay benzeri bir yapısı, ince film esnek PV'lerin mevsimsel güneş açısını optimize etmek için ayarlanmaktadır. Cepheden toplanan enerji; e-araçların şarj edilmesi, radyan zeminlerde yer altı suyu pompalama ve iç perde bölümlerinde enerji tasarruflu katı hal aydınlatmaya güç veren ünitelerin içine dağıtılmaktadır. Duyarlı yumuşak cephelerde enerji altyapısının materyal dönüşümü, konutların dışından ve içinden bir dizi mekânsal ve işlevsel iklim katmanı oluşturmaktadır. Çok basit bir mimari tasarım aracılığıyla çok çeşitli dinamik gölge ve güneş ışığı efektleri oluşturulmaktadır (Kennedy & Violich Architecture, 2014).

3.12 Diyarbakır Güneş Evi

Türkiye'de bulunan örnekler dikkate alındığında, bina ile bütünleşik güneş enerji sistemleri için ilk akla gelen örneklerden biri Diyarbakır Güneş Evi olarak göze çapmaktadır. 2008 yılında inşası tamamlanan Diyarbakır Güneş Evi, kendi enerjisini kendisi üretebilen ve gereksinim duyduğu bu enerjinin tamamını PV sistemlerden

üreten bir yapı olup, Türkiye’de enerji mimarlığı ilkelerine göre yapılmış ilk yapıdır (Aykal, Gümüş ve Özbudak-Akça, 2009). Diyarbakır Güneş Evinde güneş hücrelerinin tamamen çatı örtüsü olarak değil, çatı üzerine konumlandırıldığı görülmektedir (Özburak, 2016). Diyarbakır Güneş Evine ilişkin güney cephesinden dış görünümü Şekil 3.30’da gösterilmiştir.

Tablo 3.14 Diyarbakır Güneş Evinin künyesi

Binanın adı, yeri	Diyarbakır Güneş Evi / Diyarbakır
Mimarı	Çelik Erengezgin
İnşaatin tamamlanma tarihi	2008
Toplam sistem alanı	1,2m (uzunluk) x 0,53m (boy) x 24 =15,2 m ²
Sistem gücü	3,88 kW kurulu güç
Fotovoltaik Güneş Modülleri	Güney çatısı 40° eğim ve mutfak çatısı 17° eğim 24 adet PV güneş paneli, mono kristal hücre tipi
Enerji üretimi	2536 kWh/yıl



Şekil 3.30 Diyarbakır Güneş Evinin güney cephesinden dış görünümü (TMMOB-EMO Diyarbakır Şubesi, 2019)

Yapıda bulunan PV sisteminde bir adet 3000 W’lık doğru akım-alternatif akım evirici, iki adet şarj regülatörü, 16 adet 12 V 100 Ah’lik batarya bulunmaktadır. Güneş

gözeleri ile doğru akımda elektrik elde edilmektedir. Güneş Evi'ndeki kurulu sistemde PV'ler ile elde edilen doğru akımın kullanılabilmesi amacıyla alternatif akıma dönüştürülmesi gereklidir (İlgül, 2010).



Şekil 3.31 PV sistemin çatıya monte edilme biçimi (İlgül, 2010)

Çatıda bulunan sıcak kullanım suyunu karşılamak amacıyla iki adet güneş kollektörü ve zemin katta özel sıcak su deposu bulunmaktadır. Türkiye'nin 3300 saat ile en fazla güneşlenme süresine sahip olan Diyarbakır'da güneşli kış günlerinde elde edilen ve depolanan sıcak suyun, gece döşeme altında bulunan borularla iç mekanı ısıtmaya katkı sağladığı belirtilmiştir. Yapıda ayrıca sera ve güneş duvarları ile ısıtma ve soğutma gerçekleştirilmektedir.



Şekil 3.32 Güneş Evine ait tromp duvarı ve sera (Aykal, Gümüş ve Özbudak-Akça, 2009)

Güney cephesinde bulunan sera, evin bazı sebze ihtiyacının karşılanması için kullanılmaktadır. Bunun yanı sıra kış güneşi tarafından ısıtılan bu bölümde, altta iç

mekana menfez aracılığıyla giren hava, güneş etkisiyle ısınarak yükselmekte ve yukarıda bulunan iç menfezden eve giriş yaparak mekanın hızlı ısıtılmasını sağlamaktadır. Yukarıda bulunan dış menfez açılıp iç menfez kapatıldığında ise, baca etkisiyle sürüklenen havanın kuzey cephesinde bulunan yeraltı kanalları ile alınan serin havayı içeri çektiği ve mekanın serinlemesinin sağlandığı belirtilmiştir. Doğu, güney ve batı cephelerinde ise trombe duvarları ile benzer şekilde enerji üretildiği ilave edilmiştir (Aykal, Gümüş ve Özbudak-Akça, 2009).

3.13 Örneklerin Karşılaştırılması

Çalışmanın bu bölümünde, dünyanın farklı ülkelerinde aktif ve pasif sistemlerin bir arada kullanıldığı binalara verilen 12 adet örneğin karşılaştırılması yapılmıştır (Tablo 3.15 ve Tablo 3.16).

Tablo 3.15 Pasif tasarımlı yapı örneklerinin karşılaştırılması

Binanın Adı / Pasif Tasarım	Mont Cenis Akademisi	Washington Enerji Departmanı Güneş Çadırı	Mataro Kütüphanesi	Roma Çocuk Müzesi	Keşif Bilim Merkezi Güneş Küpü	Concordia Üniversitesi John Molson İşletme Fakültesi	BP Solar Skin	Paul Horn Arena	Solar XXI	Solar Office Doxford International	Soft House	Diyarbakır Güneş Evi
Doğal Aydınlatma	V			V	V					V		V
Doğal Havalandırma	V	V			V			V		V		V
Gölgeleme Elemanı				V								
Gölgeleme Elemanı (PV)							V				V	
PV/T			V			V			V			

Tablo 3.16 Fotovoltaik teknolojinin kullanıldığı yapı örneklerinin karşılaştırılması

Binanın adı	Mont Cenis Akademisi	Washington Enerji Departmanı Güneş Çadırı	Mataro Kütüphanesi	Roma Çocuk Müzesi	Keşif Bilim Merkezi Güneş Küpü	Concordia Üniversitesi John Molson İşletme Fakültesi	BP Solar Skin	Paul Horn Arena	Solar XXI	Solar Office Doxford International	Soft House	Diyarbakır Güneş Evi
Binanın Bulunduğu Yer	Herne / Almanya	Washington USA	Barcelona İspanya	Roma İtalya	Santa Ana California	Kanada	Trondheim Norveç	Tübingen Almanya	Lizbon Portekiz	Sunderland Birleşik Krallık	Hamburg/ Almanya	Diyarbakır/ Türkiye
Mimarı	Frank O. Gehry ve Ortakları	Solomon Cordwell Buenz	Miguel Brullet Tenas	Cinzia Abbate, Carlo Vigevano	Arquitectonica	Andreas Athienitis	Anne Gunnarshaug Lien	Almann-Sattler-Wappner	Pedro Cabrita, Isabel Diniz	Studio E Architects	Kennedy & Violich Architecture	Çelik Erengeçgin
Açılış tarihi	1999	2000 (Yarışma Projesi)	1998	2001 (Restorasyon Projesi)	1999	2008	2006	2004	2006	1999	2013	2008
Toplam Sistem Alanı	10.500 m ²	32.000 m ²	600 m ²	142 m ²	1320 m ²	288 m ²	192 m ²	6500 m ²	1436 m ²	532 m ²	780 m ²	15,2 m ²
Sistem gücü	92,74 kWp	200 kWp	-	15,2 kWp	20 kWp	24,5 kW (PV) 75 kWp (Termal)	16 kWp	40 kWp	120 Wp	73kWp	9,6 kWp	3,88 kWp
Fotovoltaik Güneş Modülleri	Çatı ve Cephe 125.000 şeffaf, mono-kristal, kare, gümüş güneş hücresi	Güney Cephesi	Güney Cephesi ve Çatı, yarı saydam polikristal güneş hücreleri	Çatı ve Gölgeleme Elemanları, özel düşük yansıtımlı polikristal cam paneller	Küpün güney cephesi, ince film teknolojili PV modüller	Güney cephesi, Day4 özel polikristal PV modülleri	Güney duvarı/dikey, 192 m ² PV hücreleri ile lamine edilmiş monokristal cam modüller ile kaplı ve iki panel arasında reçine katmanına yerleştirilmiş kanallar	Güneybatı cephesi, çok kristalli opak (zümrüt renkli) Sunways güneş pilleri	Güney cephesi, 100 m ² çok kristalli silikon modüller	Güney cephesi 60° eğim, 352 panel, 532 m ² Kare şeklinde Monokristal hücreler	Güney cephesi, ince film-düşük karbon esnek PV	Güney çatısı 40° eğim ve mutfak çatısı 17° eğim 24 adet PV güneş paneli, mono kristal hücre tipi
Enerji üretimi (kWh/yıl)	750.000	-	-	18.000	30.000	100.000	-	-	-	113.000	24.000	2.536
Pasif Tasarım	Doğal Aydınlatma ve Havalandırma	Doğal Havalandırma	PV/T Paneller	Doğal Aydınlatma ve Gölgeleme	Doğal Aydınlatma ve Havalandırma	PV/T Paneller	Gölgeleme Elemanı (PV)	Doğal Havalandırma	PV/T Paneller	Doğal Aydınlatma ve Havalandırma	Gölgeleme Elemanı (PV)	Doğal Aydınlatma ve Havalandırma

Karşılaştırılan örnekler hem aktif sistemler hem de pasif sistemleri içeren bina örnekleridir. Bu örneklerde PV sistem kullanılan binalarda pasif uygulama olarak doğal havalandırma, doğal aydınlatma, gölgeleme gibi pasif tasarımlar uygulandığı görülmektedir. Örnek yapıların birkaçında ise, aktif-pasif bir arada kullanılan sistem olan PV/T uygulamaları göze çarpmaktadır.

Tablo 3.15'te görüldüğü gibi incelenen örnek yapılarda pasif tasarım ilkelerinden en çok doğal havalandırmanın kullanıldığı görülmektedir. Havalandırma, binalar ve özellikle de içinde yaşayan insanlar için çok önemli ve hayatidir. Havalandırma yapılırken PV bileşenler kullanılır ve panellerin ısısı binayı havalandırmak için - mevsime göre mekanları ısıtma veya serinletme için- kullanılırsa daha verimli bir uygulama elde edilmiş olacaktır.

İncelenen örnek yapılardan Mont Cenis Akademisi'nin 13.000 m² alanda 92,74 kWp sistem gücü ile yılda 750,000 kWh enerji üretimi sağladığı görülmektedir. Bu üretimin çatı ve cepheye 125.000 adet güneş hücresi yerleştirilerek sağlandığı belirtilmiştir. Washington Enerji Departmanı Güneş Çadırı ise 32.000 m²'lik bir alanda 200 kWp sistem gücü ile çalışmaktadır. Mataro Kütüphanesi'nin 600 m²'lik alanına güney cephesi ve çatıda güneş hücreleri yerleştirilmiştir. 142 m² sistem alanına sahip Roma Çocuk Müzesi'nde çatı ve gölgeleme elemanlarında Fotovoltaik güneş modülleri kullanılarak 18.000 kWh enerji üretilmektedir. 1320 m² sistem alanına sahip Keşif Bilim Merkezi Güneş Küpü'nde ise 20 kWp sistem gücü ile küpün güney cephesinde yer alan fotovoltaik güneş modülleri sayesinde 30.000 kWh enerji üretiminin gerçekleştirilebildiği tespit edilmiştir. Binaların yapım tarihlerinin hemen hemen birbirine yakın olması da restorasyon çalışmaları haricinde binaların özdeş teknolojilerle kurulduğunu göstermektedir. Bu durumun sonuçların karşılaştırılabilirliği açısından önemli olduğu görülmektedir.

Geleneksel kaynakların tükenebilecek olması dikkate alınarak entegre yenilenebilir kombine teknolojilerin tasarım ve uyumlaştırılması sayesinde daha küçük alanlarda daha fazla enerji üretiminin sağlanabileceği modellemelerin geliştirilmesi gereklidir. Burada ayrıca sistemin ihtiyacı olan gücün azaltılarak aynı miktarda Fotovoltaik güneş modülü ve sabit alanlarda daha fazla enerji verimliliği sağlama yönünde de çalışmalar yapılabilir.

BÖLÜM DÖRT

SONUÇLAR

Türkiye’deki güneş enerjisi potansiyelinin yüksek olması sonucunda fotovoltaik sistemlerin pek çok farklı alanlarda uygulanmasının mümkün olmasına rağmen bu sistemlere ilişkin bilgilerin ve potansiyelin hükümet otoritelerine ve topluma sağlıklı ve yeterli sunulmadığı görülmektedir. Dolayısıyla Türkiye’de fotovoltaik sistemlerin yeterli desteği görmediği ortaya çıkmaktadır. Yakın gelecekte yenilenebilir enerji kaynaklarının, dünya enerji potansiyelindeki dengeleri değiştirmeye yönelik etkileri ve katkısı olacağı ve PV sistemlerin bu katkıda önemli bir payı olacağı kabul edilmektedir.

Yenilenebilir enerji kaynakları kapsamında erişilebilirliği en kolay olan, güneşten yüksek miktarda ve temiz elektrik enerjisi üretimi sağlayan yöntemlerden biri olarak görülen Fotovoltaik sistemler, kullanım sürecinde çevre dostu nitelikte olması ve sera gazlarına sebep olmaması avantajlarına sahip bir teknolojidir. Pek çok ülkede binalarda ve güneş tarlalarında elektrik üretimi amacıyla kullanılan bu teknolojinin Türkiye’de yeni ilgi görmeye başladığı belirtilmektedir. Ancak bu teknolojinin ilk yatırım maliyetlerinin yüksek oluşu ve gerekli bilgilendirme eğitimleri ve faaliyetlerinin yetersiz olması nedeniyle bu teknolojinin kullanımının ülkemizde henüz yaygınlaşmadığı kanısına varılmıştır.

Çalışmayı kısaca özetlemek gerekirse; PV ve güneş termal sistemlerin güneş ışığı kullanarak yeşil ve temiz enerji üretmek için önemli aktif sistemler olduğu ve binalara estetik bir görünüm kazandırarak bina kabuğunun temel parçaları olarak geliştirilebileceği söylenebilir. Bu sistemler tasarımın ilk aşamalarında dikkate alındığında, hem teknik hem de estetik olarak çok iyi performans gösterebilirler. Bu sistemlerin çok işlevli kullanımından kaynaklanan yapım maliyetlerindeki genel azalma, entegrasyonun bir başka önemli özelliğidir. Bununla birlikte, bina kabuğuna iyi bir şekilde entegre edilebilecek PV ve güneş termal sistemlerin diğer yapı elemanlarına benzer şekilde daha bütünleşik bir formda geliştirmek gerektiği sonucu ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle tasarımcılara ve üreticilere bu konuda daha fazla sorumluluk düşmektedir. Güneş termal sistemlerin, PV sistemlerden biraz daha az “bütünleşik” kapasiteye sahip olması nedeniyle boyut ve konum, renk, yüzey dokusu

ve malzeme ve modül birleşimine göre mimari entegrasyon için tasarım ve imalat sırasında özel düzenlemeler gerektirmektedir.

Aktif ve pasif sistemlerinin binalara çok işlevli elemanlar olarak entegrasyonu, yalnızca bina gereksinimleri açısından yenilenebilir enerji üretmekle kalmayacak, aynı zamanda mimari ifadeyi zenginleştirerek genel yapıya da değer katarak yapının pazarlanabilirliğini de artıracaktır. Ayrıca entegrasyon süreci mimarlar ve mühendisler tarafından kabul edilebilir bir şekilde geliştirilmelidir. Aksi takdirde bu sistemlerin yalnızca teknik yapı unsurları olarak kalacakları ve estetik açıdan binalara bir değer katamayacakları söylenebilir.

Fotovoltaik bileşenlerin kullanıldığı karma sistemlerin dünyadan ve ülkemizden örneklerinin incelendiği bu çalışmada elde edilen temel bulgular doğrultusunda bir karşılaştırma yapılmış ve sonuçlar irdelenmiştir. Bu irdelemenin sonucunda farklı modüllere ve sistem alanına sahip fotovoltaik sistem bileşenlerinin pasif sistemlerle bir arada kullanılarak, özellikle de güneş enerjisinden direk elektrik üreten PV bileşenlerin doğal havalandırma ile bir arada kullanılmasıyla, istenen amaçlar doğrultusunda gerekli enerji üretiminin ve mimari estetiğin sağlanabileceği sonucuna varılmıştır.

KAYNAKLAR

- Aelenei, L., Pereira, R., Ferreria, A., Gonçalvez, H. ve Joyce, A. (2014). Building integrated photovoltaic system with integral thermal storage: a case study. *Energy Procedia*, 58, 172-178.
- Akhan, H. ve Eryener, D. (2017). Endüstriyel tesisler için güneş duvarı performansının incelenmesi. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 32(2), 215-229.
- Alashan, S., Şen, Z. ve Toprak, Z.F. (2016). Hydroelectric energy potential of Turkey: a refined calculation method. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 41, 1511-1520.
- Allmannsattlerwappner (2018). 22 Ekim 2018, <http://www.allmannsattlerwappner.de/en/>
- Alparslan B., Gültekin, A.B. ve Dikmen, Ç.B. (2009). Ekolojik yapı tasarım ölçütlerinin Türkiye'deki güneş evleri kapsamında incelenmesi. 5. *Uluslararası Teknolojiler Sempozyumu IATS 2009*, 2161-2167.
- Altın, M. (2003). Tarih içinde teknolojiyi yaşamak: enerji üretiminde fotovoltaik hücreler. *Yapı Dergisi*, 256, 88-91.
- Altın, M. (2005). *Research on the architectural use of photovoltaic (pv) components in Turkey from the viewpoint of building shape*. Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.
- Aschehoug, Ø., Hestnes, A. G. ve Wyckmans, A. (2003). BP Solar Skin - A facade concept for a sustainable future. *International Solar Energy Conference ISES*. Goteborg, Sweden, 20 Mayıs 2018, https://www.researchgate.net/profile/Annemie_Wyckmans/publication/229016970_BP_SOLAR_SKIN-A_FACADE_CONCEPT_FOR_A_SUSTAINABLE_FUTURE/links/02e7e52bab97db449c000000.pdf

- Ay, İ. ve Khanları, A. (2015). Güneş duvarı sisteminin çalışma prensibi ve Türkiye'deki uygulanabilirliği. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part: C, Tasarım ve Teknoloji*, 3(3), 525-533.
- Aykal, F.D., Gümüş, B., Özbudak-Akça, Berivan Y. (2009). Sürdürülebilirlik kapsamında yenilenebilir ve etkin enerji kullanımının yapılarda uygulanması. V. *Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu*, 78- 83.
- Basnet, A. (2012). *Architectural integration of photovoltaic and solar thermal collector systems into buildings*. Master's Thesis, Norwegian University of Science and Technology, Trondheim.
- Bilgiç, S. (2003). *Passive solar design strategies for buildings: a case study on improvement of an existing residential building's thermal performance by passive solar design tools*. Master of Architecture, İzmir Institute of Technology, İzmir.
- Bosanac, M., Sorensen, B., Katic, I., Sorensen, H., Nielsen, B. ve Badran, J. (2003). *Photovoltaic/thermal solar collectors and their potential in Denmark*. Final Report, EFP project 1713/00-0014.
- Buker, M.S. ve Riffat, S.B. (2015). Building integrated solar thermal collectors – a review. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 51, 327-346.
- Concordia (2018). 20 Ekim 2018, https://www.concordia.ca/content/dam/concordia/docs/quartier-concordia/Solar_PanelsENG.pdf.
- Çukurova Kalkınma Ajansı. (2012). *Yenilenebilir Enerji Raporu*. Adana.
- Damgacı E., Boran K. ve Boran F.E. (2017). Sezgisel bulanık TOPSIS yöntemi kullanarak Türkiye'nin yenilenebilir enerji kaynaklarının değerlendirilmesi. *Politeknik Dergisi*, 20(3), 629-637.
- De Vries, D.W. (1998). *Design of a photovoltaic/thermal combi-panel*. PhD report, Technische Universiteit Eindhoven, Netherlands.

- Dharshing, S. (2017). Household Dynamics of technology adoption: A spatial econometric analysis of residential solar photovoltaic (PV) systems in Germany. *Energy Research and Social Sciences*, 23, 113-124.
- Dikmen, Ç.B. (2011). Enerji etkin yapı tasarım ölçütlerinin örneklenmesi. *Politeknik Dergisi*, 14(2), 121-134.
- Efthymiou, K. (2007). *Thermal and visual analysis of traditional and modern facade systems as a guide for energy efficiency in contemporary architecture*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Eiffert P. ve Kiss G.J. (2000). *Building-integrated photovoltaic designs for commercial and institutional structures*. A Sourcebook for Architects. Germany: Diane Publishing.
- Erikci, S.N. ve Adıgüzel-Özbek, D. (2015). Hibrid enerji sistemlerinin uygulama örnekleri üzerinden incelenmesi. *Green Age Sempozyumu*, Mimar Sinan Üniversitesi Güzel Sanatlar ve Mimarlık Fakültesi, 20 Temmuz 2018, https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/39630132/greenage_symposium_III_Erikci__S.N_and_Ozbek__D..pdf.
- Eskin, N. (2006). Türkiye’de güneş enerjisi araştırma ve geliştirme. *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, 91, 74-82.
- European Commission. (1998). *The public library of Pompeu Fabra Mataró-Barcelona*. Report Summary, Teulades I Facanes Multifunctionals SA, Spain.
- Fang, X. ve Li, D. (2013). Solar photovoltaic and thermal technology and applications in China. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 23, 330-340.
- Farkas, K., Andresen, I. ve Hetnes, A.G. (2009). Architectural integration of photovoltaic cells overview of materials and products from an architectural point of view. In: *Proceedings of the 3rd CIB International Conference on Smart and Sustainable Built Environments*, 15-19.

- Gemi, M.A. (2010). Çevre dostu çatılara örnek uygulamalı bir yaklaşım. 5. *Ulusal Çati & Cephe Sempozyumu*, 20 Temmuz 2018, <http://catider.org.tr/pdf/sempozyum5/Semp%205%20Bildiri%2021.pdf>.
- Gemicioğlu, A.G. (2011). *Türkiye’de enerji verimliliği açısından PV sistemlerin performansının değerlendirilmesinde kullanılabilecek bir yaklaşım*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Global Energy Network Institute. (2009). *Suntech to develop 20% of BIPV solar rooftop program projects*. 10 Şubat 2018, <http://www.geni.org/globalenergy/library/technical-articles/generation/solar/pv-tech.org/suntech-to-develop-20%25-of-bivpsolar-rooftop-program-projects,-china/index.shtml>.
- Gonçalvez, H., Aelenei, L. ve Rodrigues, C. (2012). SOLAR XXI: A Portuguese office building towards net zero-energy building. *REHVA Journal*, 34-40.
- Good, C., Chen, J., Dai, Y. ve Hestnes, A.G. (2015). Hybrid photovoltaic-thermal systems in buildings – a review. *Energy Procedia*, 70, 683-690.
- Göksal, T. ve Özbalta, N. (2002). Enerji korunumunda düşük enerjili bina tasarımları. *Mühendis ve Makine*, 506(43), 26-32.
- Hagemann, I.B. (2004). Examples of successful architecture integration of PV: Germany. *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, 12, 461-470.
- Hegedus, S.S. ve Luque, A. (2014). *Status, trends, challenges and the bright future of solar electricity from photovoltaics*. 20 Mayıs 2019, https://www.researchgate.net/profile/Steven_Hegedus/publication/242548712_and_the_Bright_Future_of_Solar_Electricity_from_Photovoltaics/links/53edfc510cf23733e80b20aa.pdf
- Herrando, M. ve Markides, C.N. (2016). Hybrid PV and solar-thermal systems for domestic heat and power provision in the UK: Techno-economic considerations. *Applied Energy*, 161, 512-532.

- Herrando, M., Markides, C.N. ve Hellgardt, K. (2014). A UK-based assessment of hybrid PV and solar-thermal systems for domestic heating and power: system performance. *Applied Energy*, 122, 288-309.
- Herzog, Antonia V., Lipman, Timothy E. ve Kammen Daniel M. (2001). *Renewable energy sources*. Berkeley, USA:University of California.
- IBA Hamburg GmbH. (2019). *Smart Material Houses: Soft House*. 2 Kasım 2019, <https://www.internationale-bauausstellung-hamburg.de/en/themes-projects/the-building-exhibition-within-the-building-exhibition/smart-material-houses/soft-house/projekt/soft-house.html>.
- İlgül, A. (2010). *Güneş gözeleri ile beslenen sistemlerde enerji üretimi ve örnek uygulamaların simülasyonlar ile analizi*. Yüksek Lisans Tezi, Dicle Üniversitesi, Diyarbakır.
- Kabul, A. ve Yaşar, E. (2017). Fotovoltaik/Termal (PV/T) hibrit sistemlerin soğutma tekniklerinin deneysel olarak incelenmesi. *SDU International Journal of Technological Science*, 9(1), 17-32.
- Kandilli, C., Külahlı, G. ve Savcı, G. (2013). Fotovoltaik Termal (PV/T) Sistem 2D termodinamik modellemesi ve deneysel sonuçlarla karşılaştırılması. *11. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, 1325-1335.
- Kennedy & Violich Architecture. (2014). *Soft House*. 3 Kasım 2019, <http://arcintex.hb.se/uploads/images/pdf/Soft-House-Prospectus-2014.pdf>.
- Keser, U. (2010). *Elektrik üretiminde güneş enerjisi kullanımı yatırımlarının finansal modellemesi*. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Kıncay, O. ve Utlü, Z. (b.t.). *Güneş bacaları*. 2 Mayıs 2018, <http://www.yildiz.edu.tr/~okincay/dersnotu/gunesbacalari.pdf>.
- Koç, E. ve Şenel M.C. (2013). Dünyada ve Türkiye’de enerji durumu - genel değerlendirme. *Mühendis ve Makine*, 54(639), 32-44.

- Kramer, K. ve Helmers, H. (2013). The interaction of standards and innovation: Hybrid photovoltaic–thermal collectors. *Solar Energy*, 98, 434-439.
- Lisserre, M., Sauter, T. ve Yung, J.Y. (2010). Future energy systems: Integrating renewable energy sources into the smart power grid through industrial electronics. *IEEE Industrial Electronics Magazine*, 4 (1), 18-37.
- Maier, F. (2014). Bewegliche PV-Membranen: Soft House in Hamburg. 1 Kasım 2019, <http://www.detail.de/artikel/bewegliche-pv-membranen-soft-house-in-hamburg-8881>.
- Maria, W., et al. (2012). Achieving solar energy in architecture-IEA SHC Task 41. *Energy Procedia*, 30, 1250-1260.
- MDBR (2018). 28 Mayıs 2018, <https://www.mdbr.it/en/visita-il-museo/il-museo>.
- Mertens, K. (2013). *Photovoltaics: fundamentals, technology and practice*. Germany: John Wiley & Sons.
- Munari-Probst, C.M. ve Roecker, C. (2009). *Architectural integration and design of solar thermal systems*. Lausanne: EPFL Press.
- Munari-Probst, M.C., et al. (2004). Impact of new developments of the integration into facades of solar thermal collectors. In: *Proceedings of EUROSUN*, 351-357.
- Munari-Probst, MC. et al. (2013). Solar energy systems in architecture integration criteria and guidelines. 28 Mayıs 2018, <http://task41.iea-shc.org/publications>
- Mutlu Danacı, H ve Gültekin, R.E. (2009). Yapılaşmada güneş enerjisi kullanımı ve estetik çözüm önerileri. *V. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu*, 19-21.
- Orhon, A.V. ve Altın, M. (2014). Spor yapılarında sürdürülebilir çatı ve cepheler. 7. *Ulusal Çatı & Cephe Sempozyumu*, 20 Mayıs 2018, http://www.catider.org.tr/pdf/sempozyum7/15_%20Bildiri%20Orhon%20Alt_n.pdf.

- Orhon, A.V. (2016). A Review on adaptive photovoltaic facades. *SOLAR TR2016 Solar Conference & Exhibition*, 463-470.
- Özakin, A.N., Yeşilyurt, M.K., Öner, İ.V. ve Yakut, K. (2017). Fotovoltaik Termal (PVT) sistemlerin ısı performansının deneysel olarak incelenmesi. *Uluslararası Mühendislikte Yeni Teknolojiler Sempozyumu*, 386-390.
- Özburak, Ç. (2016). Mimari Yaklaşımda Binaya Entegre (Bütünleşik) Yenilenebilir Enerji Kaynakları Kullanımının Kent Kimliğine Olan Etkileri. *SBE16 Bildiri Kitabı*, 146-151.
- Özdoğan, H.P. ve Hıraoğlu, E.E. (2011). Bina kabuğunda kullanılan fotovoltaik paneller ve Türkiye uygulamalarından örnekler. *Çevre-Tasarım Kongresi*, 1-14.
- Özek, E. (2009). *Peyzaj mimarisi uygulamalarında güneş enerjisinin kullanımının değerlendirilmesine yönelik bir araştırma ve Yalova-Termal Yolu Örneği*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, İstanbul.
- Papamanolis, N. (2016). An overview of solar energy applications in buildings in Greece. *International Journal of Sustainable Energy*, 35(8), 814–823.
- Perraudinarchitectes (2017). 22 Mayıs 2017, http://www.perraudinarchitectes.com/projets/herne_allemaigne/herne_allemaigne.htm
- Prasad, D. ve Snow, M. (2014). *Designing with Solar power: a source book for building integrated photovoltaics (BIPV)*. USA: Routledge.
- Probst Munari, C.M. ve Roecker, C. (2012). Criteria for architectural integration of active solar systems IEA Task 41, Subtask A. *Energy Procedia*, 30, 1195-1204.
- Researchgate (2018). 10 Mayıs 2018, https://www.researchgate.net/figure/228899894_fig17_Figure-17-Renovation-of-the-Department-of-Energy-DOE-in-Washington-USA-The-building.

- Roberts, S. ve Guariento, N. (2009). *Building integrated photovoltaics: a handbook*. Birkhauser.
- Sa'atlu, B.A. (2014). Innovative solar panels with 60% efficiency. *Energy and Environmental Engineering*, 2(4), 98-102.
- Saber, E.M., Lee, S.E., Manthapuri, S., Yi, W. ve Deb, C. (2014). PV (photovoltaics) performance evaluation and simulation-based energy yield prediction for tropical buildings. *Energy*, 71, 588-595.
- Sanchez, E. ve Izard, J. (2015). Performance of photovoltaics in non-optimal orientations: An experimental study. *Energy and Buildings*, 87, 211-219.
- Sayın, S. ve Koç, İ. (2011). Güneş enerjisinden aktif olarak yararlanmada kullanılan Fotovoltaik (PV) sistemler ve yapılarda kullanım biçimleri. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 26(3), 89-106.
- Schilken, P. (2008). *Photovoltaic energy and library: the experience of Mataró*. International Preservation News, No 44.
- Schittich, C. (2001). Shell, skin, materials. In: Schittich, C. (ed.), *Building skins-concept, layers, materials* (8-27) Switzerland: Birkhauser.
- Scognamiglio, A. ve Privato, C. (2008). Starting points for a new cultural vision of BIPV. *23rd European Photovoltaic Solar Energy Conference*, 3222-3233.
- Skaaland, A., Ricke, M., Wallevik, K., Strandberg, R. ve Imenese, A.G. (2011). *Potential and Challenges for building integrated photovoltaics in the Agder region*. Prosjekt/FoU-report nr. 6/2011, Agderforskning Gimleoen 19 N-4630 Kristiansand.
- Soysal, S. (2008). *Konut binalarında tasarım parametreleri ile enerji tüketimi ilişkisi*. Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara.
- Şahin, S. (1986). Geleceğin enerji kaynağı ince film fotovoltaik güneş pilleri. *Elektrik Mühendisliği*, 330-331, 66-68.

- Tiwari, G.N., Dimri, V. ve Chel, A. (2009). Parametric study of an active and passive solar distillation system: Energy and exergy analysis. *Desalination*, 242, 1-18.
- TMMOB-EMO Diyarbakır Şubesi. *Diyarbakır güneş evi ve teknik özellikleri*. 3 Kasım 2019, http://www.emo.org.tr/ekler/f55ac7af35fb9a8_ek.pdf?dergi=538.
- Topal, M. ve Arslan, I. (2008). Biyokütle enerjisi ve Türkiye. *VII. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu*, 241-248.
- Turcotte, D., Ross, M. ve Sheriff, F. (2001). *Photovoltaic hybrid systems sizing and simulation tools: status and need*. PW Horizon: Workshop on Photovoltaic Hybrid Systems.
- United States Department of Energy. (2001). *Winning design: solar net*. Sunwall National Solar Design Competition.
- Üçgül, İ. ve Koyun, A. (2010). Güneş bacası tasarım parametreleri ve performansının deneysel olarak incelenmesi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 16(3), 255-264.
- Ülgen, K. (b.t). *Binaların pasif güneş enerjili sistemler yardımıyla ısıtılması*. 2 Haziran 2018, http://www1.mmo.org.tr/resimler/dosya_ekler/e5140df15d046a6_ek.pdf?dergi=160
- Ünal, O. (2006). *Güneş pilleri*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Konya.
- Wang, C. ve Lu, Y. (2014). *Solar photovoltaics*. Bachelor's Thesis, Savonia University of Applied Sciences, Finland.
- Waymarking (2018). 2 Haziran 2018, http://www.waymarking.com/waymarks/WM5HF3_Solar_Cube_Santa_Ana_CA.
- Yajnik, U.A. (2017). The conception of photons. *Journal of Science Education*, 1-29.

- Yang, L., He, B-J. ve Yei M. (2014). The application of solar technologies in building energy efficiency: BISE design in solar-powered residential buildings. *Technology in Society*, 38, 111-118.
- Yetkin, E.G. (2014). *Mevcut yapılar kapsamında yeşil bina sertifikası sistemleri enerji kriterlerinin belirlenmesi için LEED, BREEAM ve DGNB sistemlerinin karşılaştırmalı analizi*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Yılmazoğlu, M.Z. (2010). Isı enerjisi depolama yöntemleri ve binalarda uygulanması. *Politeknik Dergisi*, 13(1), 33-42.
- Yüre, M.T. (2007). *Güneş enerjisinden edilgen sistem yararlanmada güneş odası ekleme yönteminin iç ortam sıcaklığına etkisinin incelenmesi-İstanbul örneği*. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Zaytsev, V. (2014). *Photovoltaic panels application for energy savings in gas transportation system*. Master of Science Thesis, KTH School of Industrial Engineering and Management, Stockholm.
- Zhang, X., Zhao, X., Smith, S., Xu, J. ve Yu, X. (2012). Review of R&D progress and practical application of the solar photovoltaic/thermal (PV/T) Technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16, 599-617.
- Zondag, H.A., De Vries, D.W., Van Helden, W.G.J., Van Zolingen, R.J.C., Van Steenhoven, A.A. (2002). The thermal and electrical yield of a PV-Thermal collector. *Solar Energy*, 72(2), 113-128.

EKLER

EK-1 Kısaltmalar ve Semboller Dizini

ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
cm	: santimetre
CO ₂	: Karbondioksit
DC	: Doğru akım
GW	: Gigawatt
IEA	: Uluslararası Enerji Ajansı
kWh	: Kilowatt saat
LPG	: Sıvılaştırılmış petrol gazı
m	: metre
MW	: Megawatt
NASA	: Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi
NO _x	: Azot (nitrit) oksit
OECD	: Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Örgütü
PV	: Fotovoltaik
RES	: Yenilenebilir enerji sistemleri
SO ₂	: Kükürt dioksit
T	: Termal
US\$: Amerikan doları