



**YAPI KABUĞUNDA AKTİF GÜNEŞ SİSTEMLERİ İLE ENERJİ ÜRETİMİ
ODAKLI BÜTÜNLEŞİK TASARIM YAKLAŞIMLARININ SİMÜLASYON
TABANLI ANALİZİ**

Gevher Nesibe KAYA

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MİMARLIK ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

HAZİRAN 2022

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Gevher Nesibe KAYA

13/06/2022

YAPI KABUĞUNDA AKTİF GÜNEŞ SİSTEMLERİ İLE ENERJİ ÜRETİMİ ODAKLI BÜTÜNLEŞİK TASARIM YAKLAŞIMLARININ SİMÜLASYON TABANLI ANALİZİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Gevher Nesibe KAYA

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Haziran 2022

ÖZET

Enerji kaynaklarının tükenmesi ve karbon salınımlarının artması ile birlikte ekosistemde büyük hasarlar meydana gelmektedir. Bu durumun ortaya çıkmasında büyük paya sahip olan inşaat ve yapı sektöründe, binaların enerji verimli hale getirilmesi gerekmektedir. Bunun için yapının sadece enerji tüketiminin azaltılması yeterli olmamakta bütünsel tasarım yaklaşımlarıyla birlikte yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanarak ihtiyacı olan enerjiyi üretmesi de gerekmektedir. Tez çalışmasında amaç, aktif güneş sistemlerinin yapı kabuğunda bütünlendirilmesi üzerine tasarımcı ve araştırmacılara yönelik sistematik bilgileri derleyerek sonraki çalışmalara katkı sağlamaktır. Çalışma, “bütünsel tasarım yöntemleri” ve “yapı kabuğundan aktif güneş sistemleri ile enerji üretimi” bağlamında sınırlandırılmıştır. Yapılan alan çalışmasında, yüksek güneş enerjisi potansiyeline sahip Antalya ilinde iki katlı bir ofis prototipi oluşturulmuştur. Literatürden gelen veriler dikkate alınarak aktif güneş sistemlerinin cephelere bütünlendirdiği farkı senaryolar oluşturulmuştur. Oluşturulan senaryoların enerji kullanımları ve aktif güneş sistemlerinden enerji üretimleri, modellemelerinin yapıldığı “Design Builder” simülasyon programında hesaplanmış daha sonra veriler birbirleriyle kıyaslanmıştır. Ulaşılan bilgiler dahilinde, optimum enerji veriminin elde edildiği eğimli PV cephe sistemine sahip prototipin enerji üretimi %104,22 oranında gerçekleştiği görülmüştür. Sonuç olarak, analizleri yapılan enerji senaryolarıyla performans ölçütleri dikkate alınarak bütünsel tasarım yöntemlerinin uygulandığı yapının kabuğuna bütünlendirilen aktif güneş sistemleri ile yapının ihtiyaç duyduğu elektrik enerjisinden daha fazlasını üretebileceği bu araştırma ile kanıtlanmıştır.

Bilim Kodu : 80103

Anahtar Kelimeler : BIPV, yenilenebilir enerji, aktif güneş sistemleri, yapı kabuğu, bütünsel tasarım, güneş kolektörleri, optimizasyon

Sayfa Adedi : 188

Danışman : Prof. Dr. Figen BEYHAN

SIMULATION ANALYSIS OF INTEGRATED DESIGN APPROACHES FOCUSED
ON ENERGY GENERATION BY ACTIVE SOLAR SYSTEMS IN BUILDING
ENVELOPE

(M. Sc. Thesis)

Gevher Nesibe KAYA

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

June 2022

ABSTRACT

The ecosystem suffers greatly as a result of the depletion of energy resources and the increase in carbon emissions. Buildings should be made energy efficient in the construction and building sector, which has played a significant role in the formation of this situation. Therefore, it is not enough to reduce only the energy consumption of the building, it is also necessary to produce the energy it needs by using renewable energy sources together with integrated design approaches. The aim of the thesis is to contribute to further studies by compiling systematic information for designers and researchers on the integration of active solar systems in the building envelope. The study is limited in the context of “integrated design methods” and “energy production from the building envelope with active solar systems”. In the field study, a two-storey office prototype has been created in Antalya, which has a high solar energy potential. Considering the data from the literature, different scenarios that active solar systems are integrated into the facades have been created. The energy use of the scenarios created and the energy production from active solar systems have been calculated in the Design Builder simulation program, where the models were made, and then the data were compared with each other. Within the information obtained, it has been observed that the energy production of the prototype with the inclined PV façade system, where optimum energy efficiency is achieved, is realized at a rate of %104,22. As a result, it has been proven with this research that the active solar systems integrated into the envelope of the building, where integrated design methods are applied, considering the energy scenarios and performance criteria, can produce more than the electrical energy needed by the building.

Science Code : 80103

Key Words : BIPV, renewable energy, active solar systems, building envelope, integrated design, solar collector, optimization

Page Number : 188

Supervisor : Prof. Dr. Figen BEYHAN

TEŞEKKÜR

Öncelikle yüksek lisansa başladığım günden itibaren değerli bilgilerini ve engin tecrübelerini aktaran, tez çalışmasındaki sıkıntılı süreçte yüksek enerjisiyle beni motive eden ve yol gösteren çok değerli danışman hocam Prof. Dr. Figen BEYHAN' a sonsuz teşekkür ederim. Tez sürecinde yardımlarını benden esirgemeyen Arş. Gör. Gökhan GENÇ hocama ve Arş. Gör. Merve ERTOSUN YILDIZ hocama çok teşekkür ederim.

Tez sürecinde ve hayatımın her anında maddi ve manevi her türlü desteği sağlayan kıymetli annem Ayşe KAYA, babam Erdal KAYA ve dedem Fakı KAYA' ya teşekkürü bir borç bilirim.

Son olarak TÜBİTAK'a (BİDEB 2210-A programı) yüksek lisans sürecindeki maddi desteklerinden dolayı çok teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xi
RESİMLERİN LİSTESİ	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xvi
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR TARAMASI	4
2.1. Yapı Kabuğunda Bütünleşik Mimari Tasarım	5
2.1.1. Sistem yaklaşımı	5
2.1.2. Bütünleşme.....	8
2.1.3. Bütünleşik (Entegre) yapı tasarımı.....	8
2.2. Güneş Enerjisi ve Enerji Üretim Potansiyeli	11
2.3. Aktif Güneş Sistemleri.....	19
2.3.1. Fotovoltaik (PV) sistemler	21
2.3.2. Güneş Kolektörleri	59
2.4. Ulusal ve Uluslararası Mevzuatlar	66
2.4.1. Uluslararası mevzuatlar.....	66
2.4.2. Ulusal mevzuatlar.....	71
2.5. Bütünleşik Tasarım Uygulama Örnekleri	74
3. MATERYAL VE METOT	141

4. SENARYOLARIN HAZIRLANMASI VE BÜTÜNLEŞİK TASARIM YÖNTEMİNİN SINANMASI.....	151
4.1. Enerji Senaryolarının Hazırlanması	151
4.2. Enerji Senaryolarının Karşılaştırılması	156
5. BULGULARIN DEĞERLENDİRİLMESİ	159
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	167
KAYNAKLAR	171
EKLER.....	185
EK-1. ALFA Solar Enerji 36 hücreli monokristal silikon hücre modül kataloğu	186
ÖZGEÇMİŞ	188

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Küresel bazda yenilenebilir elektrik üretim kapasitesi	16
Çizelge 2.2. Türkiye'nin bölgeler bazında toplam güneş enerjisi potansiyeli ve güneşlenme süresi	17
Çizelge 2.3. PV hücre tipi ve özellikleri	24
Çizelge 2.4. Tasarım için bileşen verimliliği toplam güç hesabı	26
Çizelge 2.5. BIPV sistemlerin yüzdelik bina üzerinde uygulama durumları.....	35
Çizelge 2.6. Çatı ve cephelerde BIPV uygulama örnekleri	37
Çizelge 2.7. PV sistem avantaj ve dezavantajları	53
Çizelge 2.8. PV sistemlerin yapı ile farklı bütünleşme düzey ve şekilleri	54
Çizelge 2.9. Mimari tasarımın etkisine göre PV sistemlerin performans analizi	59
Çizelge 2.10. Standardizasyon için gereksinim kategorileri.....	70
Çizelge 2.11. Fotovoltaik sistem bileşenlerinin Türkiye'deki mevcut fiyatları.....	73
Çizelge 2.12. Energybase ofis binası analizi	76
Çizelge 2.13. FKI ofis binası analizi.....	79
Çizelge 2.14. Grosspeter ofis binası analizi.....	82
Çizelge 2.15. Multi Family Plus Enerji binası analizi	85
Çizelge 2.16. Copenhagen International Eğitim binası analizi.....	88
Çizelge 2.17. Wohnhaus Solar bina analizi	91
Çizelge 2.18. BSolution Ofis binası analizi	93
Çizelge 2.19. Bursagaz Ofis binası analizi	95
Çizelge 2.20. Solar Silo Ofis binası analizi	97
Çizelge 2.21. Freiburg yeni belediye binası analizi	99
Çizelge 2.22. Silo Bleu binası analizi	102
Çizelge 2.23. Stadterke Konstanz Customer Centre binası analizi.....	104
Çizelge 2.24. Umwelt Arena AG binası analizi.....	106

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.25. Fehlman Estate binası analizi	108
Çizelge 2.26. Die Mobiliar yenileme bina analizi	110
Çizelge 2.27. Hanwha Headquarters binası analizi	112
Çizelge 2.28. DeltaRosso bina analizi	115
Çizelge 2.29. Solar WWI ofis binası analizi	118
Çizelge 2.30. Pixel ofis binası analizi	121
Çizelge 2.31. Powerhouse Telemark ofis binası analizi	123
Çizelge 2.32. Fabrikstrasse 15 ofis binası analizi	126
Çizelge 2.33. Powerhouse Brattkaia ofis binası analizi.....	128
Çizelge 2.34. Eden Project Faz 4 eğitim binası analizi.....	131
Çizelge 2.35. Paris Law Courts ofis binası analizi	133
Çizelge 2.36. Washington Üniversitesi Yaşam Bilimi binası analizi	136
Çizelge 2.37. Örnek binaların aktif güneş sistem uygulama biçim ve düzeyleri.....	139
Çizelge 3.1. Yapı kabuğunun pencere duvar oranı	146
Çizelge 3.2. Prototip binada kullanılan yapı malzemelerinin özellikleri.....	147
Çizelge 3.3. Prototip yıllık enerji kullanım değerleri	148
Çizelge 4.1. Oluşturulan enerji senaryoları.....	152
Çizelge 4.2. Cephe senaryolarının enerji kullanımları.....	156
Çizelge 4.3. Cephe senaryolarının m ² başına enerji kullanımı	156
Çizelge 4.4. Cephe senaryolarının yapıda enerji kullanım alanlarına göre yüzdelik değerleri	156
Çizelge 4.5. Cephe senaryolarının enerji kullanım ve tüketim değerleri.....	157
Çizelge 5.1. Düşey PV cephe ofis prototip analizi	162
Çizelge 5.2. Eğimli PV cephe ofis prototip analizi.....	163
Çizelge 5.3. Düşey dişli PV cephe ofis prototip analizi	164
Çizelge 5.4. Akordeon PV cephe ofis prototip analizi.....	165

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Sistemin kuruluşu	6
Şekil 2.2. Sistemin bileşenleri şekli	7
Şekil 2.3. Bütünleşik bir ekibin genel oluşumu	10
Şekil 2.4. 2018 mevcut CO ₂ salınımı ve gelecekte CO ₂ salınımını azaltan faktörler.....	12
Şekil 2.5. Güneşten enerji üretimi kapasitesinin tarihsel ve gelecekteki tahmini durumu	13
Şekil 2.6. Yenilenebilir güç kapasitesindeki küresel büyüme	13
Şekil 2.7. Yenilenebilir elektrik enerjisi üretiminde küresel büyüme	14
Şekil 2.8. Küresel bazda fotovoltaik (PV) kurulum kapasitesi.....	15
Şekil 2.9. Ülkemizde bulunan toplam kurulu güç dağılımı	17
Şekil 2.10. Çatıda güneş enerjisi sistemlerinin iklim bölgeleri bağlamında bina tipolojilerine göre teorik ve teknik potansiyelleri.....	18
Şekil 2.11. Dünya’da (a) ve Türkiye’de (b) 2010 yılı itibarı ile kurulu güneş kolektörü ve PV panel kurulum kapasitesi	19
Şekil 2.12. Güneş cephe sistemlerinin sınıflandırması	20
Şekil 2.13. BAPV ve BIPV sistemlerinin bina çatı ve cephesinde uygulamalarındaki farklılıklar	33
Şekil 2.14. (a) Yarı saydam, binayla bütünleşik fotovoltaik sistem şematik diyagramı.	36
Şekil 2.15. BIPV sistemlerinin cephe ve çatı bileşeni olarak kullanım biçimleri.....	38
Şekil 2.16. BIPV sistemlerin yapı kabuğu ile bütünleşme tipleri	39
Şekil 2.17. Cepheye uygulanmış PV güneş kırıcı cihazı	40
Şekil 2.18. Soğuk cephe PV uygulaması	40
Şekil 2.19. Soğuk cephe PV sisteminin bağlantı ve hava boşluğu kesit detayı.....	41
Şekil 2.20. Opak ve yarısaydam PV bütünleştirilmiş çift kabuklu PV cephe sistem kesiti	43
Şekil 2.21. Prefabrik hafif (lightweight) PV sistemli çift kabuklu cepheye uygulama ve kontrol örneği	44

Şekil	Sayfa
Şekil 2.22. Düşey PV cephe perspektif ve kesitler	46
Şekil 2.23. Yatay dişli PV cephe	47
Şekil 2.24. Düşey dişli PV cepheler perspektif, kesit ve plan çizimi	47
Şekil 2.25. Akordeon PV cephe sistemleri	49
Şekil 2.26. Eğimli PV cephe sistemi perspektif ve kesitler	50
Şekil 2.27. Kademeli PV cephelerin perspektif ve kesitleri	50
Şekil 2.28. BIPV sistemlerinin SWOT analizi.....	51
Şekil 2.29. Alttan havalandırılmalı (a), havalandırmasız (b) güneş kolektörü	61
Şekil 2.30. PV/T sistem birleşimleri	63
Şekil 2.31. BIPV/T sistemi şematik gösterim.....	65
Şekil 2.32. Planlanan yeni IEC 63092-1 ve IEC 63092-2'nin arka planı olarak geçmiş ve mevcut BIPV standartlarının kapsamı	69
Şekil 2.33. Örnek analizlerindeki yapıların dünya üzerindeki konumları	75
Şekil 3.1. Veri tabanının oluşturulması ve tasarım kılavuzunun geliştirilmesi süreci.....	141
Şekil 3.2. Tasarım kılavuzunda yer alan tasarım karar adımları.....	142
Şekil 3.3. Tasarlanan prototip binanın kat planı	143
Şekil 3.4. Design Builder programında modellenen prototip binanın iç mekân örgütlenmesi	144
Şekil 3.5. Doğu batı aksında konumlandırılan prototip binanın 15 Temmuz ve 15 Aralık güneş yörünge (sun path) analizi.....	144
Şekil 3.6. Prototip binanın güney ve doğu görüşleri.....	145
Şekil 3.7. Antalya ilinin aylara göre güneşlenme süresi	145
Şekil 3.8. Proje alanı	146
Şekil 3.9. Ofis prototip binasının yapı elemanları kesit detayı	147
Şekil 3. 10. Ofis prototipindeki enerji kullanım yüzdeleri.....	148
Şekil 3.11. Bütünleşik tasarım kılavuzunun çalışma şeması	149
Şekil 4.1. Prototip S1 düşey PV cephe modellenmesi ve sun path analizi	152

Şekil	Sayfa
Şekil 4.2. Prototip S1 düşey PV cephe güney görünüşü, doğu görünüşü.....	153
Şekil 4.3.Prototip S2 eğimli PV cephe sun path analizi	153
Şekil 4.4. Prototip S2 eğimli PV cephe güney ve doğu görünüşü	153
Şekil 4.5. Prototip S3 düşey dişli PV cephe sun path analizi	154
Şekil 4.6. Prototip S3 düşey dişli PV cephe güney ve doğu görünüşü	154
Şekil 4.7. Prototip S4 akordeon PV cephe modellemesi ve sun path analizi.....	155
Şekil 4.8. Prototip S4 akordeon PV cephe güney ve doğu görünüşü	155
Şekil 4.9. Senaryolara göre PV modüllerin ihtiyaç duyulan enerjiyi karşılama yüzdeleri	157
Şekil 5.1. Optimal sonuca ulaşılan S ₂ eğimli PV cephe, güney ve doğu cephesindeki PV güneş radyasyon analizi.....	160
Şekil 5.2. S ₄ senaryosu akordeon PV cephe güney ve doğu cephesi PV güneş radyasyon analizi	161

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 2.1. Telstar uydusu.....	21
Resim 2.2. Tek kristalli silikon panel ve hücre.....	23
Resim 2.3. Çok kristalli silikon panel ve hücre	23
Resim 2.4. İnce katmanlı panel ve hücre	24
Resim 2.5. Palais des Congrès, Montreal Kanada bina iç mekan.....	25
Resim 2.6. Elektrikli Mondrian fotovoltaiik panel	26
Resim 2.7. PV yapılandırmasının hiyerarşisi.....	27
Resim 2.8. Béjar, İspanya çatıya belirli bir eğim ile bütünleştirilmiş PV sistem	29
Resim 2.9. Şebekeye bağlı (on grid) sistem.....	31
Resim 2.10. Şebekeden bağımsız (off grid) sistemler	32
Resim 2.11. Solar I House, binalarda ilk PV uygulaması.....	32
Resim 2.12. BAPV sistem Indira Paryavaran Bhawan	33
Resim 2.13. Twin City Centre, Bratislava, Slovakya	42
Resim 2.14. Ofis Binası, Dijon, Fransa, tek kristalli silikon tabanlı PV panellerin çift kabuklu cephede kullanımı.....	43
Resim 2.15. Tavan penceresi	44
Resim 2.16. Genyo Binası	45
Resim 2.17. Brunel University London	48
Resim 2.18. Akordeon PV cepheler Endesa Pavilion, Barcelona, FKI Tower, Seul Kore	48
Resim 2.19. Solarfabrik Freiburg	49
Resim 2.20. Blauhaus binası BIPV uygulaması Mönchengladbach, Almanya	55
Resim 2.21. Endesa Pavilion Barcelona BIPV uygulaması.....	56
Resim 2.22. BIPV sistemlerinin işlevsel bütünleşmesi, Cafe Ambiente, Almanya	57
Resim 2.23. PV sistemlerde dinamik bütünleşme, A/S Group at ETH Zürih	57

Resim	Sayfa
Resim 2.24. Yapıya sonradan uygulanan (a) ve tasarımda aşamasında bütünleştirilen (b) kolektörler).....	60
Resim 2.25. Bina cephesine bütünleştirilen güneş kolektörler	62
Resim 2.26. Çatıda kullanılan eğimli güneş kolektör örneği, Plan-les-Quates	62
Resim 2.27. PV bileşenli termal sistem PV/T, Fiat Research Center bina cephesi	64

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler

%	Yüzde
cm	Santimetre
CO₂	Karbondioksit
GW	GigaWatt
Kw	Kilowatt
kWh	Kilowatt Saat
m	Metre
m²	Metrekare
TWh	TeraWatt Saat
°	Derece
U	Isıl geçirgenlik katsayısı
W	Watt

Kısaltmalar

Açıklamalar

AB	Avrupa Birliği
BEP	Binalarda Enerji Performansı
BREEAM	Building Research Establishment Environmental Assessment Method
BIPV	Building Integrated Photovoltaic
BIPVT	Building Integrated Photovoltaic Thermal
CEN	European Committee for Standardization
CPR	European Construction Product Regulation
ECD	Electromagnetic Compatibility Directive
EN	European Norm

Kısaltmalar**Açıklamalar****IEC**

International Electrotechnical Commission

IRENA

International Renewable Energy Agency

ISO

International Organization for Standardization

LEED

Leadership in Energy and Environmental Design

LVD

Low Voltage Directive

NZEB

Nearly Zero Energy Building

PV

Photovoltaic

PVT

Photovoltaic Thermal

STBIPV

Semi-transparent building-integrated photovoltaic

TS

Türk Standardı

1. GİRİŞ

1974 petrol krizinden sonra fosil yakıtların maliyetindeki artış, kaynakların tükenmeye başlaması ve enerji arz güvenliğine dair kaygılar enerjinin kullanımını daha önemli bir konu haline getirmiştir. Bugün enerji tüketiminin yaklaşık olarak %40'ı binalar tarafından gerçekleştirilmektedir. Binalardan kaynaklı mevcut yüksek enerji tüketimini azaltmak için ülkeler mevzuatlar hazırlamakta, anlaşmalar ve protokoller yapmakta, sürdürülebilir yaklaşımlara dayalı olarak enerji politikalarını geliştirmektedir. AB (Avrupa Birliği) ve küresel ölçekte belirlenen hedefler ile gerçekleştirilen düzenlemelere ve yüksek performanslı binalar üzerine yöneldikçe binalarda temiz bir şekilde elektrik enerjisi üreten güneş enerjisine, şimdi olduğu gibi gelecekte de oldukça ihtiyaç duyulacaktır. Bundan dolayı güneş ışıınımı ile enerji ve ısı üreten aktif güneş sistemlerinin (PV – fotovoltaiik ve güneş kolektör sistemlerinin) kullanımında bütünleşik tasarım çalışmaları her geçen gün daha büyük önem kazanmaktadır. Konuyla ilgili çalışmaların yaygınlaşmasıyla birlikte aktif güneş sistemlerinin uygulamaları artmakta aynı zamanda bu sistemler özellikle enerji politikaları gereği öncelikli hedef haline gelen sıfır enerjili bina yaklaşımlarının temel bileşeni olarak mimari konseptin önemli bir parçası haline gelmektedirler.

Projelerin tasarım aşamasında karar verme sürecine dahil olan aktif güneş sistemlerini bütünleşik bir yaklaşımla binalara uyarlamada temel görev mimarlara aittir. Ancak, mimarlar gerek sistemlerin özelliklerine dair yeterli bilgiye ulaşamamaları ve gerekse sistemlerin tasarıma dahil edilebilmeleri üzerine teknik ve yöntemlere hakim olmayışları nedenleriyle enerji üretim odaklı yapı kabuğu tasarımında yetkin ve yeterli çözümlerde zorlanmaktadır.

Bu nedenle mimarlar, mühendisler ve akademisyenler tarafından, ulusal ve uluslararası mevzuatlar çerçevesinde binalarda aktif güneş sistemleri ile enerji üretimi üzerine yapılan çalışmalar büyük önem taşımaktadır.

Proje oluşturmaya yönelik bütüncül planlama stratejisi ile binayla bütünleşik fotovoltaiik (BIPV) sistemlerinin etkili bir şekilde kullanılması üzerine hazırlanmış olan bir konferans metninde, Kaftan, Sautter ve Kubicek (2019) özellikle erken tasarım aşamasında fotovoltaiik (PV) sistemler konusunda uzman olmayanların, hem malzemelerin kullanımı hem de kolay kullanımlı planlama yardımı kılavuzlarının olması gerektiğine dikkat çekmiş, bir bina

projesi için BIPV potansiyelini hızlı bir şekilde analiz etme ve binanın enerji talep profiline göre panellerin optimum ekonomik miktarını ve konumunu önermeye yardımcı olan hesaplama yöntemlerini oluşturmuştur (Kaftan ve diğ., 2019).

Fotovoltaik sistemler ve yapılarda kullanım biçimleri ile ilgili, Sayın ve Koç (2011) sistemlerin bileşenleri, malzemeleri, yapıları ve türlerinde incelemeler gerçekleştirerek, fotovoltaik sistemlerin yapılarda kullanım biçimlerini sınıflandırmış ve detayları ile ilgili ayrıntılı incelemeler gerçekleştirmişlerdir (Sayın ve Koç, 2011).

Binayla bütünleşik fotovoltaik (BIPV) ve binayla bütünleşik fotovoltaik/termal (BIPV/T) sistemlerinin karşılaştırılması üzerine, Debbarma, Sudhakar ve Baredar (2016) aktif ısı geri kazanımını, kapalı döngüde (sıvı döngülü PV-T gibi) veya basınçlı hava içeren açık döngüde BIPV sistemleriyle birleştirilmesi sonucu BIPV/T sistemlerin oluşumu ve bu iki sistemin maliyet, fonksiyon ve estetik özelliklerinin incelemelerini yaparak binalarda kullanım potansiyellerini incelemiştir (Debbarma ve diğ., 2016).

Problem durumu / Konunun tanımı

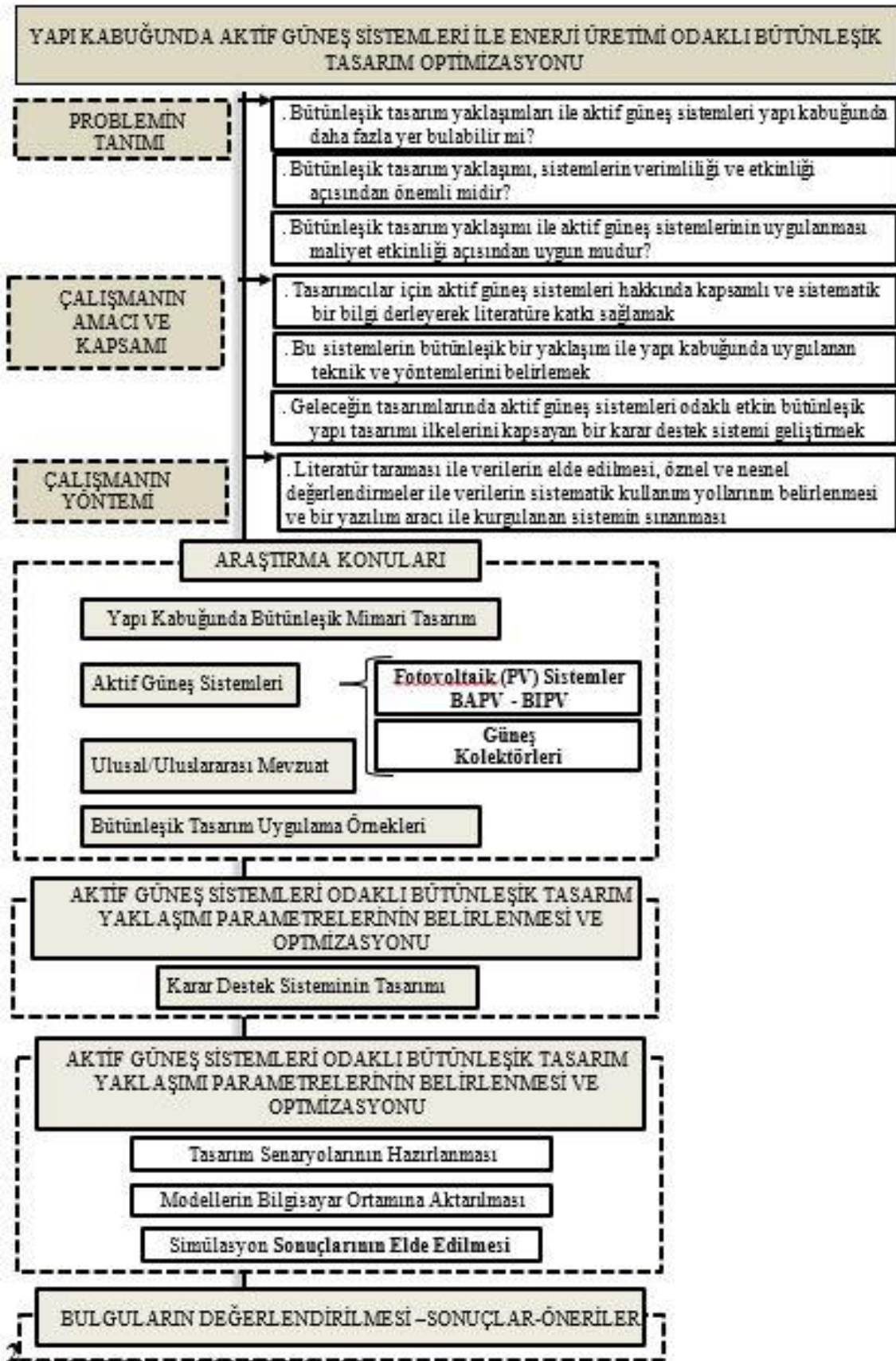
Küresel ve Türkiye ölçeğinde güneş enerjisi potansiyellerine ilişkin bilgilerin sunulması, binalarda aktif güneş sistemlerinin kullanımının incelenmesi, yapı kabuğundan aktif güneş sistemleri ile enerji üretilmesi üzerine ulusal ve uluslararası mevzuatların irdelenmesi aktif güneş sistemlerinin bütünleşik mimari tasarımına dair yaklaşımlarının belirlenmesi yapı kabuğu üzerine etkisinin sorgulanması ve ilgili kapsamda yer alan uygulama örnekleri üzerinden analizlerin yapılması, bu çalışmanın konusunu oluşturmaktadır.

Araştırmanın amacı

Tasarımcılar için aktif güneş sistemleri üzerine kapsamlı ve sistematik bir bilgi derleyerek literatüre katkı sağlamak, bu sistemlerin bütünleşik bir yaklaşım ile yapı kabuğunda uygulanan teknik ve yöntemlerini belirlemek ve geleceğin tasarımlarında aktif güneş sistemleri odaklı etkin bütünleşik yapı tasarımı ilkelerini kapsayan bir karar destek sistemi geliştirmek ise tez çalışmasının amacını oluşturmaktadır.

Araştırmanın önemi

Araştırmanın amacı doğrultusunda bütünleşik tasarım yaklaşımları ile aktif güneş sistemlerinin yapı kabuğunda daha fazla yer bulma olasılığı, bütünleşik tasarım yaklaşımlarının sistemlerin verimliliği ve etkinliği açısından önemi, maliyet etkinliği açısından uygunluğu konuları araştırılarak aktif güneş sistemlerinin mimari ile bütünleşik tasarım ilkeleri ortaya konacak ve elde edilen veriler ışığında hazırlanacak olan karar destek sistemi değerlendirilecektir. Tez çalışmasının akış şeması Şekil 1.1’de verilmiştir.



Şekil 1.1. Tez akış şeması

2. LİTERATÜR TARAMASI

Bu bölümde, son yıllarda giderek önem kazanan konulardan biri olan mimaride bütünleşme kavramı ve aktif güneş sistemleri üzerine incelemeler yapılmıştır. Literatür taraması; “yapı kabuğunda bütünleşik mimari tasarım”, “güneş enerjisi ve enerji üretim potansiyeli” ve “aktif güneş sistemleri” olmak üzere üç ana başlıkta incelenmiştir.

Öncelikle mimarideki bütünleşik tasarımın enerji verimliliği ile ilişkisi ve güneş enerjisinin enerji üretim potansiyeli araştırılmış, daha sonra fotovoltaik sistemler ve güneş kolektörlerinin bina kabuğu ile bütünleşmesi, sistemlerin bileşenleri, bileşenlerin uyumunu sağlayan süreçler incelenmiş, en son kısımda ise sistemlerin kullanıldığı dünyadaki öncü binalar üzerinden örnek uygulamalarının analizleri gerçekleştirilmiştir.

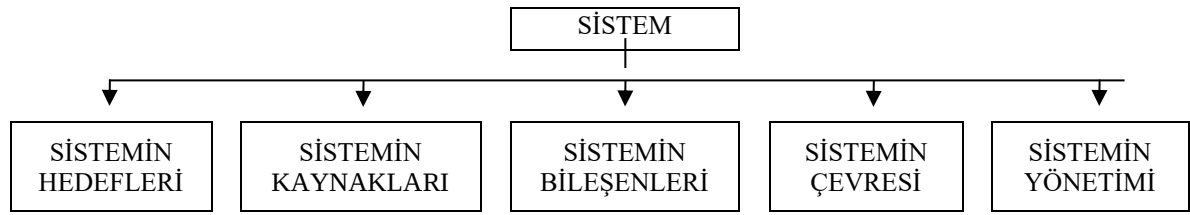
2.1. Yapı Kabuğunda Bütünleşik Mimari Tasarım

Bütünleşme kavramı, genel anlamada bütünü oluşturan parçaların, bütün ile gerçekleştirdiği ilişkiyi belirtmek için kullanılmaktadır (Tosun, 2010). Günümüzde, birçok alanda bütünleşme kavramı kullanılmaktadır. Özellikle, mimaride enerji etkin ve sürdürülebilir bina tasarımlarını ortaya koymak için bütünleşme kavramı bir gereklilik haline gelmiştir. Bu bölümde, bütünleşme hedeflerinin gerçekleşmesinde önemli olan sistem yaklaşımına yönelik tanımlamalar yapıp, bütünleşme ve bütünleşik bina tasarım kavramı ve sonrasında mimari yapı kabuğu sistemleri ile aktif güneş sistemlerinin bütünleştirilmesi konuları ele alınıp detaylandırılacaktır.

2.1.1. Sistem yaklaşımı

Disiplinlerarası bir teori olan sistem yaklaşımı, 1920’lerde Von Bertalanffy’nin ortaya koyduğu “Genel Sistem Teorisi”’nden gelmekte olup bütün bilim adamları için ortak analitik bir model kurma sistemler ve sistemi oluşturan alt sistemler arası ilişkileri açıklamak için sistematik ve kuramsal bir çerçeve geliştirme amacını taşıyan araştırma odaklı bilimsel bir model aracıdır (Hofkirchner ve Schafraneck, 2011). Bütünsel yaklaşım ilkesi, disiplinlerarası yaklaşım ilkesi ve bilimsel yaklaşım ilkesi olmak üzere üç temel ilkeye dayanan sistem yaklaşımı, oluşumların bir bütün olarak ele alınmasını, aralarındaki ilişkinin açıklanmasını ve söz konusu oluşumları ayrı ayrı açıklamak üzere çalışmalar yürüten bilim alanlarının

anlamlı bir ilişkiler zinciri ile bir araya gelmesini sağlayacak analiz yöntemi olarak benimsenmektedir (Perker ve Akıncıtürk, 2012). Sistem ise, bir amaca ulaşmak için çevreden aldıkları bilgileri çıktılara dönüştüren ve birbirinden etkilenecek hareket eden sınırlanmış ve organize bir şekilde birbiriyle ilişkilendirilmiş elemanlar kümesidir (Çağnan ve Özer, 2014). Sistemde belirli süreçlerden geçen çeşitli girdiler bir araya gelerek genel hedefi gerçekleştirmek için belirli çıktılar üretirler (Authenticity Consulting, LLC). Böylece girdiler ve alt sistemler bir araya gelerek karmaşık sistemleri oluşturabilmektedir. Bir sistemin oluşabilmesi için sistemi oluşturan alt sistemlerin bir bütün olarak çalışması gerekmektedir. Alt sistemlerden herhangi biri çıkarıldığında sistemin işleyişi durmaktadır. Aynı zamanda belirli bir sistem, hiyerarşik bir düzen içinde başka bir sistemin alt veya üst sistemi olarak düşünülebilir (Tosun, 2010). Bu bağlamda sistemin kuruluşu Şekil 2.1’de verilmiştir.

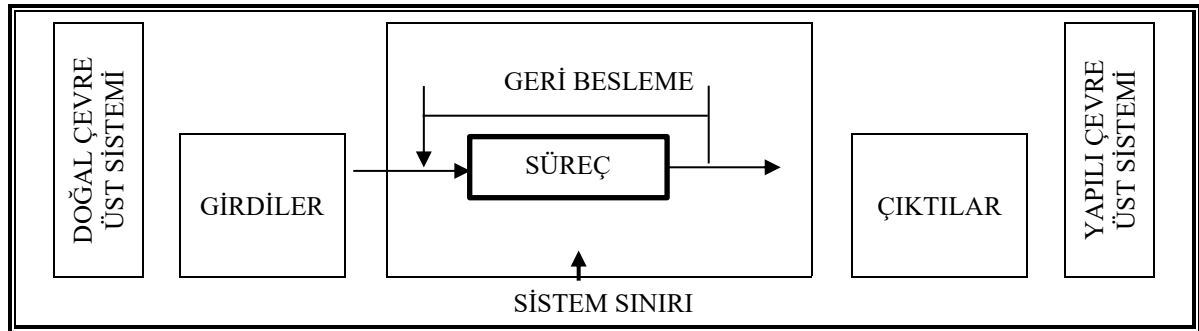


Şekil 2.1. Sistemin kuruluşu

Sistem kuruluşundaki alt sistemler belirlenirken, sistemin temel amacını gerçekleştiren üretim ve teknik alt sistemleri hedefin işleyişi için gerekli malzemeleri, araç ve gereçleri sunan destekleyici alt sistemleri işleyişin sürdürülebilmesi ve olası değişimlerin izlenerek doğrulanması eylemlerini gerçekleştirecek varlık koruma alt sistemlerini ve tüm alt sistemlerin uyumlu çalışmasını denetleyen ve koordine eden yönetimsel alt sistemleri iyi kurgulamak gerekmektedir (Akkuş ve İzci, 2018).

Sistem yaklaşımı bütüncüllük ve işlevsellik ile yakından ilişkilidir. İnsan gereksinimlerinin artması ile yapıları çevrede sorunların karmaşık bir hal alması, sorun ölçeklerinin büyümesi ve yapıları çevreyi oluşturan parçaların çeşitlenerek çoğalması sorunların çözülmesinde sistem yaklaşımının bilimsel felsefesinin yaygınlaşmasına neden olmuştur. Yapı üretimi ve çevresini çeşitli sistemlerden oluşturan bir bütün şekilde tarifleyerek, içerdiği sistemleri, işlevleri, sistemler arası etkileşimleri analiz etmek ve yorumlayarak çözüm önerileri geliştirmek için bir araç olarak kullanılan sistem yaklaşımı, inceleme (yapımın sistem kimliğinde işleyişi), tasarım (performans beklentilerinin yerine getirilmesi) ya da üretim

(bütüncül bir şekilde işleyişi öngören alt sistemlerin üretimi) stratejisi olarak kullanılabilmektedir (Çağnan ve Özer, 2014). Yapının tekil olarak her bir parçasının özellikleri yanında, bütün bir sistem olan yapı ile ilişkisi ve parçaların birbirleri ile olan ilişkisi sistem yaklaşımı altında ele alınabilir (Tosun, 2010). Bu bağlamda tez çalışmasının konusu olan aktif güneş sistemlerinin, yapı kabuğunun bir parçasını oluşturan sistem bileşenleri olarak değerlendirilmesi ve bütünleşik tasarım yaklaşımı çerçevesinde sistem yaklaşımı kullanılarak ele alınması mümkündür.



Şekil 2.2. Sistemin bileşenleri şekli

Sistem yaklaşımı; girdi, çevre, süreç, geri besleme ve çıktı olmak üzere beş ana bileşenden oluşmaktadır (Şekil 2.2). Doğal çevre üst sistemine aktarılan girdilerin farklı süreçlerden geçirilmesiyle çıktılar meydana gelmektedir.

Bir bütün, sistem yaklaşımı ile analiz edileceği zaman, aşağıdaki gibi sistem bileşenin içinde bulunan belirli soruların cevabının verilmesi beklenmektedir (Tosun, 2010):

- Sistemin vazgeçilmez bileşenleri nelerdir?
- Bileşenleri birbirine bağlayan ve birbiriyle uyumunu sağlayan süreçler nelerdir,
- Süreçlerin özellikleri nelerdir,
- Sistemin amaçları nelerdir.

Analizler sonucunda, sistem yaklaşımı ile farklı disiplinlerde etkili sonuçlar elde edilmiştir. Mimari bir kavram olarak bütünleşme farklı birçok alt sistemlerin bir bütünü oluşturması durumu olarak tanımlanabilmektedir (Tosun, 2010). Bu durum ile farklı ihtiyaçların bir bütün olarak karşılanması sağlanmaktadır. Tüm bu ihtiyaçların performans kriterlerine göre karşılanması sonucu bütüncül sistemler meydana gelmekte ve böylece mimaride yüksek oranda verimlilik elde edilebilmektedir.

Mimarideki sistem bütünleşmesinde, fiziksel ihtiyaçlar ile yangın, zehirli dumanlar, binaların dayanımı, yetersiz veya aşırı ışık, havalandırma ya da ısı konfor koşulları gibi durumlarda bina kullanıcılarının güvenliğini ve sağlığını korumak amaçlanmaktadır. Bu durum görme, duyma, hissetme ve hareket gibi temel bedensel işlevleri barındırmaktadır. Temel ihtiyaçlar ise psikolojik, sosyolojik ve ekonomik ihtiyaç olmak üzere üçe ayrılmıştır (Guilliams, 1991). Psikolojik ihtiyaçlar mahremiyet, etkileşim, açıklık ve değişim için uygun hükümler yoluyla bireysel ruh sağlığının desteklenmesini gerektirmektedir. Sosyolojik ihtiyaçlarla bireylerin ihtiyacını toplumun ihtiyaçlarıyla ilişkilendirerek toplumun refahını sağlamak amaçlanmaktadır. Tasarımcılar tarafından en üst düzeyde tutulan somut olmayan bina estetiği ve aynı zamanda yapı performansı sosyolojik ihtiyaçları kapsamaktadır. Ekonomik ihtiyaçlarda ise sosyal bağlamda kullanıcı ihtiyacına hizmet etmek için kaynakları en verimli şekilde kullanma amaçlanmaktadır.

2.1.2. Bütünleşme

Bütünleşme, birçok disiplinde mevcut olan bir kavramdır. Birçok disiplinde kullanılmasına rağmen bütünleşme kavramının tanımının yapılması kolay olmamaktadır (Şahin, 2018). Şu ana kadar bütünleşme kavramı ile ilgili farklı disiplinlerde farklı tanımlamalar yapılmaktadır. Bütünleşme, iki veya daha fazla durumu bir araya getirme sürecidir (Cambridge Dictionary). “Bütünleşme” terimi hem ticari hem de akademik literatürde bir süreci, bir koşulu, bir sistemi ve bir sonraki durumu tanımlamak için kullanılmaktadır (Gulledge, 2006). Bütünleşme kavramını ifade etmek için farklı tanımlamalar kullanılmasına rağmen, bütünleşmenin sınırlarının her geçen zaman artması ile içeriğinde de sürekli ilerlemeler olmaktadır (Şahin, 2018).

Tez konusu kapsamında bütünleşme kavramı, mimaride teknolojik sistemlerin bütünleşme düzeyleri üzerinde detaylandırılıp açıklanmıştır.

2.1.3. Bütünleşik (Entegre) yapı tasarımı

Modernleşmenin bir sonucu olarak teknolojik gelişmeler, yapı tasarımının başından itibaren teknolojik sistemlerin bir arada kullanılması ve sürdürülebilir yapı yaklaşımlarının artması ile birlikte (Düzgün ve Aladağ, 2016) bütünleşik (entegre) yapı tasarımı ve bütünleşme gibi kavramlar ortaya çıkmıştır. Bütünleşik yapı tasarımında, yapıyı oluşturan tüm sistemlerin,

bileşenlerin ve teknolojilerin bütünleşerek aynı anda sürece dahil olması gerekmektedir. Bütünleşik yapı tasarımları ile birlikte binanın enerji ihtiyacının azaltılmasına ve enerjinin verimli kullanılmasına ek olarak yaşam döngüsü süresince maliyet optimizasyonu da sağlanmaktadır. Bu sayede, çevreye yönelik olumsuz durumlar da en aza indirgenmektedir.

Sürdürülebilir yapı bütünleşmeleri üzerine, Ken Yeang ideal çevreye duyarlı sürdürülebilir mimarinin doğayla üç farklı açıdan çok etkili bir biçimde bütünleşmede olabilmesi için; fiziksel olarak, sistem olarak ve zamansal olarak bütünleşmelerin sağlanması gerektiğini belirtmiştir (Enginöz, 2009). Bütünleşik tasarım yaklaşımının, mimaride net sıfır enerjili bina, yüksek enerji performanslı bina gibi sürdürülebilir bina kavramlarının ortaya çıkması ile birlikte önemi daha da artmaktadır. Bu durumun başlıca sebeplerinden biri, tüm süreçlerde aynı anda yer alan ekiplerin olması ile tasarımda optimum şartların elde edilebilmesini sağlamaktır. Bu tez konusu kapsamında da farklı teknolojik sistemler mimariyle bütünleştirilirken disiplinler arası bir çalışma gerçekleştirilmesi sonucu sistemin optimum düzeyde çalışması ve binada optimum enerji üretiminin sağlanması ile binanın kendi enerji ihtiyacını karşılamasına yönelik sonuçların ortaya çıkarılması amaçlanmaktadır. Bu doğrultuda öncelikle, bütünleşik yapı tasarım kavramının açıklanması yapılmıştır.

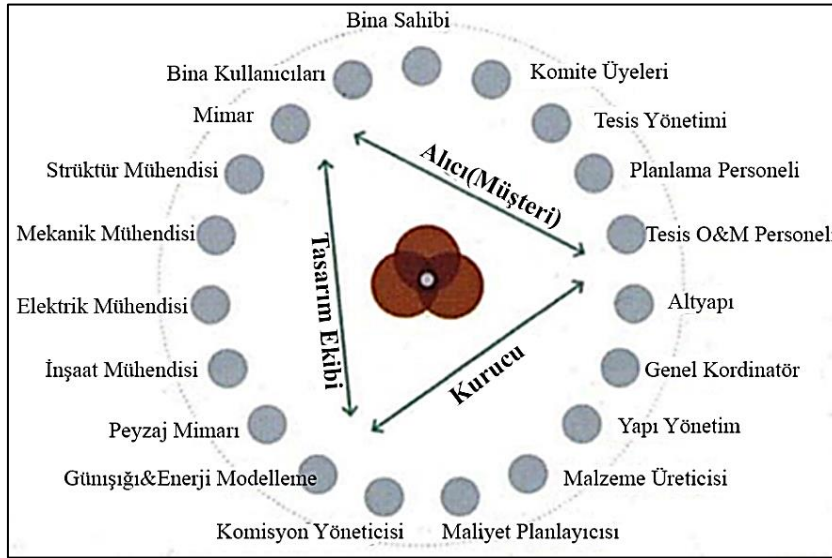
Bütünleşik yapı tasarımı ile ilgili farklı tanımlamalar bulunmaktadır; “Bütünleşik Bina Tasarımı Yaklaşımı binaların enerji ve çevre performansında büyük iyileştirmeler yapmaya yönelik süreç odaklı bir yöntemdir” (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2016).

"Bütünleşik yapı tasarımı, artan maliyetleri engellerken ya da en aza indirirken yüksek performanslı (sürdürülebilir) binalar elde etmek için bir binanın tüm yaşam döngüsü boyunca tasarımına, yapımına, işletilmesine ve kullanımına odaklanan ortak bir süreç olarak düşünülebilir. Bu süreç, birçok uzmanlık alanından çok disiplinli ve işbirlikçi bir ekibe dayanmaktadır." (Düzgün ve Aladağ, 2016)

“Bütünleşik yapı tasarımı, yapı kullanıcıları olan insanlar, yapı teknoloji uzmanları, tasarımcılar, mimarlar, inşaat mühendisleri, makine ve elektrik mühendisleri ve bunlar dışında birçok uzmanlık alanlarından katılımcıların birlikte çalışmasını içermektedir” (Çelebi ve Tosun, 2011).

Bütünleşik tasarım yöntemi, temelde sarmal ve bütünleşik platform içeren organik kombinasyonu içine alan bir yöntemdir. Yaşam döngüsü boyunca bütünleşik süreç ve değerlendirme gerçekleşmektedir. (Yao, 2017)

Bütünleşik yapı tasarım süreci, geleneksel tasarım sürecine alternatif oluşumlar yaratma ihtiyacından ortaya çıkmıştır (Attia ve diğ., 2013). Geleneksel tasarımda, ekiplerin farklı süreçlerde tasarıma katılması ve ilk yatırım maliyeti odaklı ilerleyen bir süreç olması sonucu bütünleşik tasarım süreci ile kıyaslandığında verim düzeyi daha düşük olmaktadır. Genel olarak bütünleşik tasarım ile optimum düzeyde bir süreç yönetimi elde edilebilmektedir.



Şekil 2.3. Bütünleşik bir ekibin genel oluşumu (Attia ve diğ., 2013)

Bütünleşik bir tasarımda; sistematik, teknik ve malzemelerin bütünleşmesinin sağlanmasının yanı sıra bütünleşik bir ekibin oluşması da önemli bir diğer husustur (Şekil 2.3). Ekip oluşumu projenin türüne, amacına, hedefine veya katılımcıların niteliklerine bağlı olarak değişkenlik göstermektedir (Attia ve diğ., 2013).

Bütünleşik yapı tasarım yaklaşımları, tasarımı değerlendirmede bütüncül bir çerçeve oluşturmakta ve sürdürülebilir yeşil bina sertifika sistemleri üzerinde önemli bir araç olarak uygulanabilmektedir (Düzgün ve Aladağ, 2016). Tasarımın başından itibaren yaşam döngüsü kriterlerini dikkate alarak disiplinlerarası bir ekip çalışması ile yapılan bütünleşik tasarım, binanın sürdürülebilirlik kriterlerinin sağlanmasında önemli rol oynamaktadır.

Bütünleşik yapı tasarımında süreç yönetimi, Tosun, (2010)'a göre 4 adımda gerçekleşmektedir:

1. Sorunun belirlenmesi,
2. Soruna uygun çözümler oluşturmak,
3. Çözümlerin verimliliklerini değerlendirmek,
4. Çözümleri değerlendirmelere göre sınıflandırmak (Tosun, 2010).

Yapı tasarım sürecinde tüm faktörleri, aynı anda dikkate alarak bütüncül bir yaklaşımla analizin gerçekleştirilmesi yapı sürdürülebilirlik kriterleri bağlamında; enerji verimliliğinde artma, yaşam döngüsü boyunca maliyet optimizasyonunu sağlama, kullanıcı konforunu sağlama, yapı enerji ihtiyacını azaltma bütünleşik tasarımın faydaları olarak sıralanmaktadır.

Ancak Koch ve Buhl, (2013)'a göre bütünleşik tasarım süreci yapının sürdürülebilirliği üzerinde tüm bu faydalarının yanı sıra aşağıda sıralanan bazı olumsuzluklara neden olmaktadır:

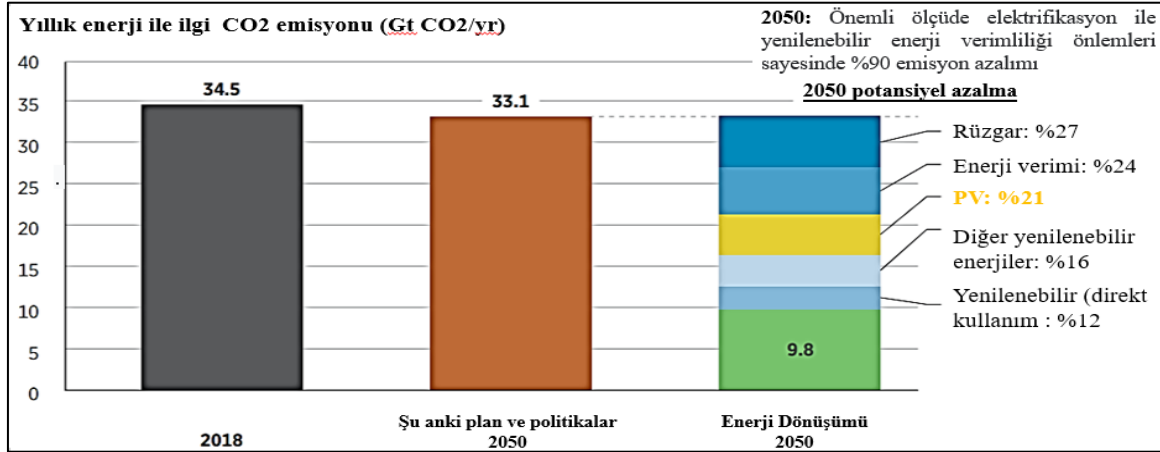
- Geleneksel tasarım sürecine kıyasla daha belirsiz sınırlar (Ne zaman, kim ne yaptı?),
- Aynı karar üzerine farklı anlaşılmalara,
- Tasarım ekibinde mimari niteliklerden daha çok teknik yönle odaklanmalar,
- Mimari tasarımın sınırlandırıldığı bağlayıcı sınırlar (Koch ve Buhl, 2013).

Farklı durumların değerlendirilmesi yapıldığında, bütünleşik bina tasarımının olumlu birçok yönüne karşın bazı olumsuz yönleri de barındırdığı görülmektedir. Yöntemden yüksek verim elde edilebilmesi için olumsuzlukların en aza indirgenmesine yönelik önlemlerin alınması gerekmektedir. Bu doğrultuda, ilerleyen bölümlerde bütünleşik tasarım yaklaşımları dikkate alınarak mimari yapı kabuğu sistemleri ile aktif güneş sistemlerinin bütünleştirilmesi üzerine incelemeler yapılmıştır.

2.2. Güneş Enerjisi ve Enerji Üretim Potansiyeli

İklim değişikliği, çevresel etkiler ve sağlık konusunda artan edişeler, enerji arz güvenliği ve enerjiye erişim, kaynakların korunumu hususunda artan problemler sonucunda küresel olarak düşük karbonlu, alternatif yenilenebilir enerji kaynaklarının üretim ihtiyacı ortaya çıkmıştır. Bu durumlar sonucunda, son yıllarda aktif güneş teknolojileri yenilenebilir enerji

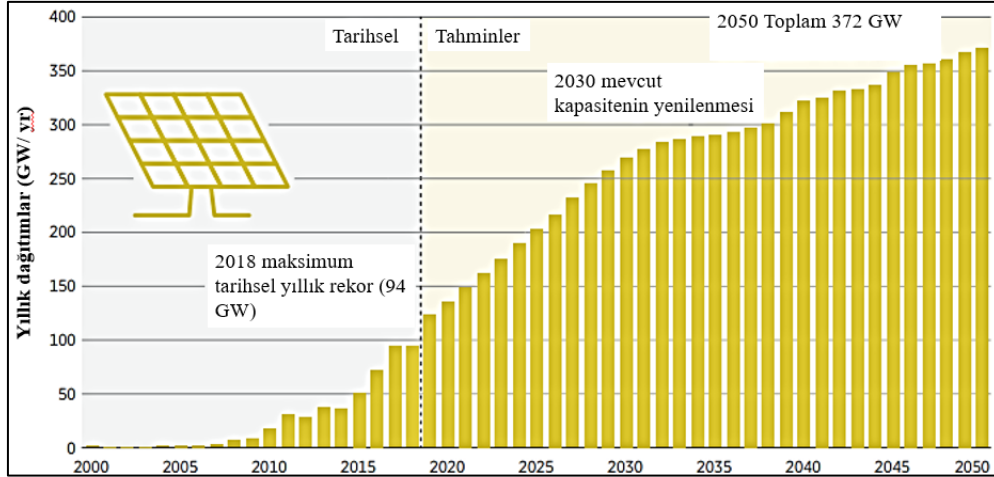
kaynaklarının öncülerinden biri haline gelmiştir (IRENA, 2019). Bu doğrultuda güneşten enerji üreten aktif güneş sistemlerinin kullanımlarının hızlandırılması ve yaygınlaştırılması ile birlikte enerji ihtiyaçlarının karşılanması ve CO₂ emisyonunun azaltılması amaçlanmaktadır.



Şekil 2.4. 2018 mevcut CO₂ salınımı ve gelecekte CO₂ salınımını azaltan faktörler (IRENA, 2019)

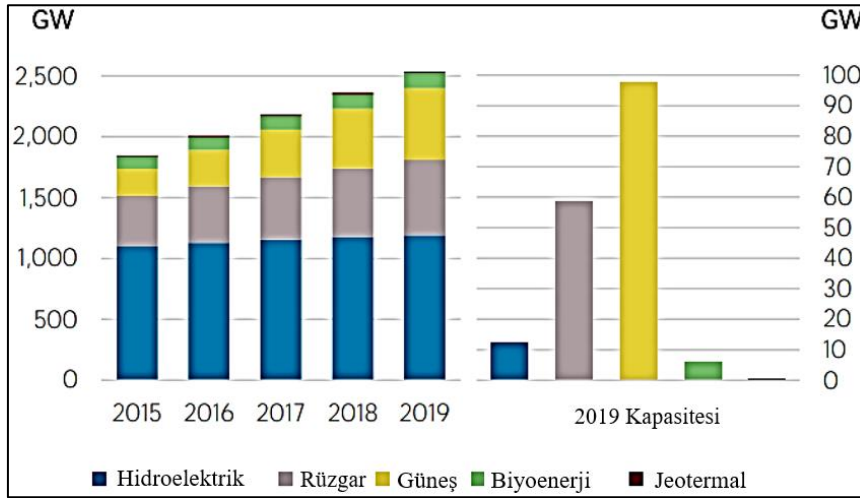
Son yıllarda özellikle endüstride aktif güneş sistemleri, maliyetlerindeki azalma ve teknolojiye ileriye ilerlemelerle birlikte dünyada hızla yayılmakta ve artan bir güç haline gelmektedir. Önümüzdeki yıllarda da bu teknolojilerin, yenilenebilir enerji kaynakları arasında öncelikli seçenek olarak kullanılmaya devam edeceğini öngörülmektedir (Şekil 2.4).

Aktif güneş sistemleri, dünya genelinde elektrik üretme, suyu ve mekan ısıtma gibi durumlar için giderek artan bir oranda kullanılmaktadır (IRENA, 2020). Özellikle, 2040 yılına kadar dünya genelinde enerji piyasasına olan etkisi büyük oranda artacak olan güneş enerjisi, gerçekleşecek kapasite artışının %35'ine ve küresel bazda yapılacak olan enerji yatırımlarının ise yaklaşık %30'una ulaşacağı tahmin edilmektedir (Zorlu enerji, 2015). Günümüzde, aktif güneş sistemlerinden biri olan fotovoltaik sistemler en hızlı büyüyen yenilenebilir güneş enerjisi kaynaklarından biri olmaktadır. Aynı şekilde bu sistemlerin gelecekte küresel elektrik üretiminde büyük bir rol oynaması beklenmektedir. Güneşten enerji üreten sistemler, özellikle gelişmekte olan ve yüksek güneş ışığı potansiyeline sahip ülkeler için büyük bir enerji kaynağı olarak görülmektedir (IRENA, 2020).



Şekil 2.5. Güneşten enerji üretimi kapasitesinin tarihsel ve gelecekteki tahmini durumu (IRENA, 2019)

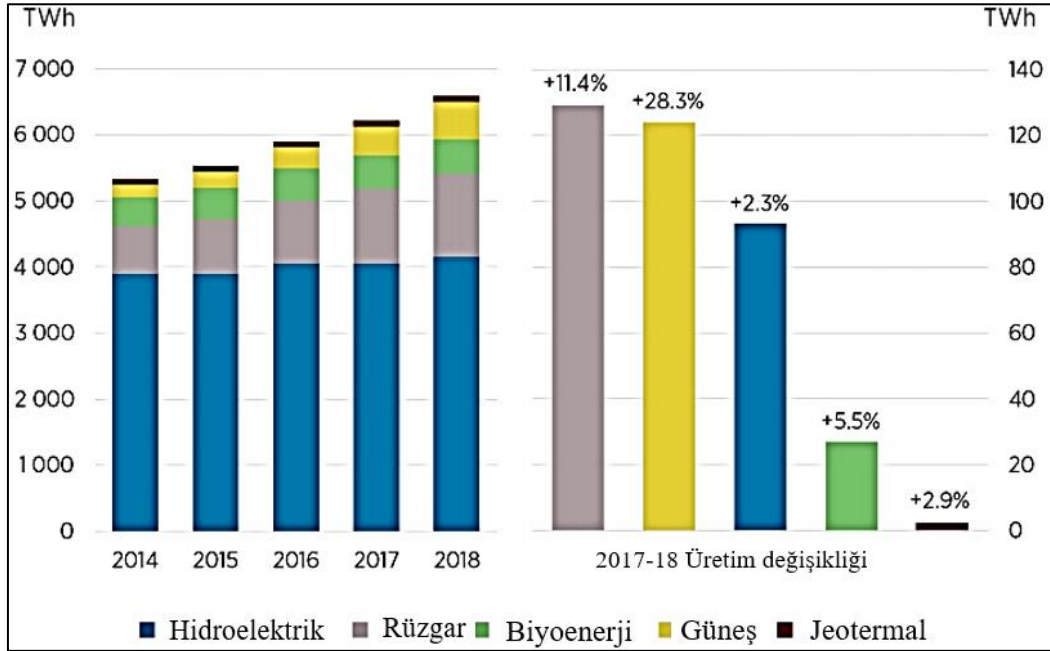
Şekil 2.5'teki grafik incelendiğinde özellikle fotovoltaik sistem elemanlarındaki maliyet düşüşü, fosil yakıtlardaki maliyet artışı ve politik destekler ile birlikte küresel boyuttaki enerji üretimi için fotovoltaik sistemlerin kullanımı her geçen yıl artacağı görülmektedir.



Şekil 2.6. Yenilenebilir güç kapasitesindeki küresel büyüme (IRENA, 2020)

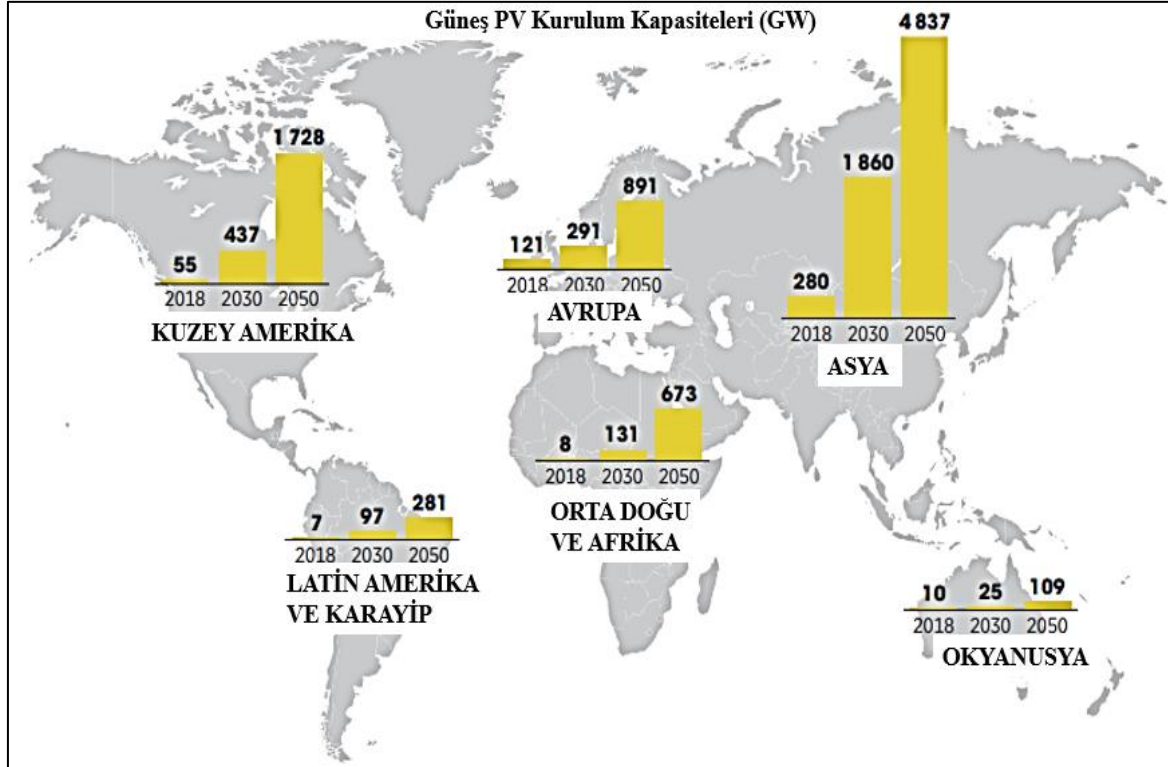
IRENA tarafından gerçekleştirilen çalışmada, 2019 verilerine göre dünya genelinde güneş enerjisi kullanımındaki ilerleme diğer yenilenebilir enerji kaynaklarına göre daha fazla olduğunu göstermektedir (Şekil 2.6). Yıllara göre yenilenebilir güç kapasiteleri incelendiğinde güneş enerjisi 2019 yılında 2018'e göre 176 GW (+7.4%) artmıştır. Güneş enerjisindeki 98 GW (+20%) artış kapasitenin genişlemesini sağlamıştır. Güneş enerjisini 59 GW (+10%) artışla rüzgar enerjisi takip etmektedir. Güneş ve rüzgar enerjisindeki kapasite büyümesi 2019 yılında tüm yenilenebilir kaynakların %90'ını oluşturmaktadır.

Ancak bu yüksek oranda büyümenin 2019’da hidroelektrikteki düşük oranda artıştan da kaynaklandığı düşünülmektedir (IRENA, 2020).



Şekil 2.7. Yenilenebilir elektrik enerjisi üretiminde küresel büyüme (IRENA, 2020)

Yenilenebilir elektrik üretimi 2018 yılında 2017’ye göre 376 TWh daha fazladır, bu durum %6.1 oranında artış oluşturmaktadır. Güneş enerjisi ise, 2018 yılında biyoenerjiyi geride bırakarak büyük oranda artmıştır. 2018 yılında güneş ve rüzgar enerjisinden elde edilen üretim 2018 yılında sırasıyla %28 ve %11 oranında artmıştır. Bu iki enerji kaynağı 2014 yılından bu yana yenilenebilir enerji üretiminin %78’ini oluşturmaktadır (Şekil 2.7) (IRENA, 2020).



Şekil 2.8. Küresel bazda fotovoltaik (PV) kurulum kapasitesi (IRENA,2019)

Küresel boyutta güneşten enerji üretimi üzerine yapılan incelemede ilerleyen yıllarda fotovoltaik sistemlerin yaygınlaşacağı tahmin edilmektedir (Şekil 2.8). IRENA tarafından oluşturulan yol haritalarında, 2018’de fotovoltaik sistem sektöründe baskın rol oynayan Asya’nın gelecek yıllarda fotovoltaik sistem kurulumuna hakim olacağı da görülmektedir. Avrupa ise dünyada ikinci büyük fotovoltaik sistem pazarına sahiptir ve bu bölgede 45GW ile Almanya ilk sırada yer almaktadır (IRENA, 2019). Yol haritası incelendiğinde, 2030 yılında Asya %65 oranla PV kurulumlarında öncü olmaya devam edeceği görülmektedir. Asya’daki önemli güç olan Çin’in 2030 yılında 1412 GW enerjiye ulaşacağı tahmin edilmektedir. Kuzey Amerika’nın ise ikinci büyük PV kapasitesine (437 GW) ve Avrupa’nın ise üçüncü sırada yer alacağı öngörülmektedir (IRENA, 2019).

Türkiye’de güneş enerjisi üretim potansiyeli

Son yıllarda, Türkiye’nin enerji kullanımında dışa bağımlılığı yaklaşık %75 seviyelerine çıkmıştır. Bu durum, Türkiye’de enerji güvenliği ve enerjinin verimli kullanılmasının yeterli olmayacağını yenilenebilir enerji kullanımlarının artırılması üzerine de politikaların yapılması gerektiğini göstermektedir (Zorlu enerji, 2015). Dışa bağımlılığı azaltma ve enerji ihtiyacının temiz bir düzeyde karşılanabilmesi için, yenilenebilir enerji kaynaklarının

kullanılarak enerji güvenliği sağlanması ve CO₂ salınımının azaltılmasına katkı sağlayacak bir üretiminin gerçekleştirilmesi gerekmektedir.

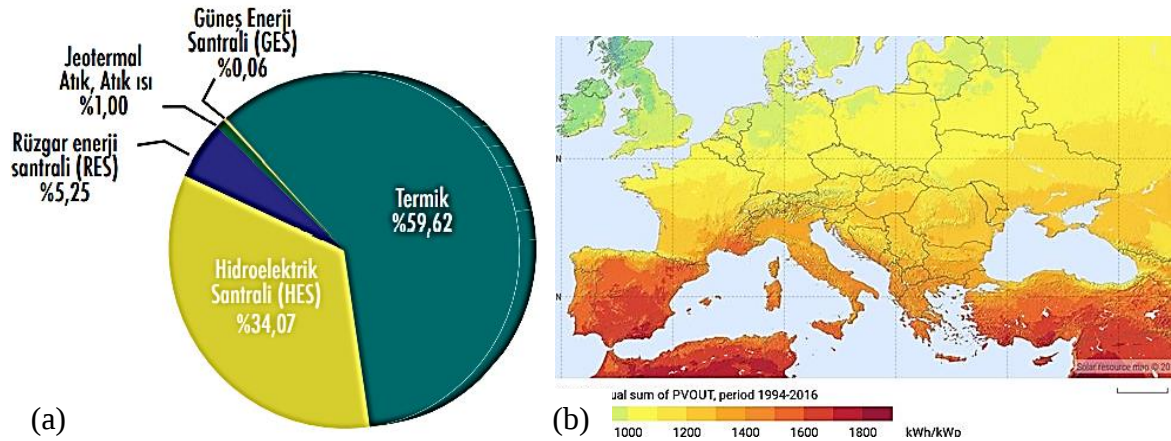
Ülkemizdeki yenilenebilir enerji kullanımı üzerine gerçekleştirilen çalışmalar, BEP yönetmeliği ile düzenlenen Enerji Kimlik Belgesinde 2010/31/EU direktifi sonrası dönüşüme gidilerek yapılarda tüketilen yenilenebilir enerji kaynağı oranını gösterilmektedir. 5627 sayılı enerji verimliliği kanununda, Türkiye’de yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının yaygınlaştırılması için ve sektörel uygulamalara ilişkin karar organlarını, desteklerle üzerine yapılacak düzenlemeleri ve yasal zorunlulukları gerçekleştirmeyenlere uygulanması gereken yaptırımları belirlemek üzere farklı bölümlerden oluşmaktadır. (Öztorun, 2017) Bu kanunla birlikte amaçlanan, CO₂ salınımının azaltılması ve mevcutta bulunan yenilenebilir enerji potansiyelinden yararlanılarak aynı zamanda çevrenin korunumu sağlanmasıdır.

Binalarda yenilenebilir enerji kaynağı kullanımında en güçlü potansiyele sahip olan enerji güneş enerjisidir. Türkiye’de enerjiye duyulan ihtiyaç ile birlikte yenilenebilir güneş enerjisi potansiyellerin yüksek enerji tüketimine sahip olan binalar üzerinde de kullanılması büyük bir gereklilik haline gelmektedir.

Çizelge 2.1. Küresel bazda yenilenebilir elektrik üretim kapasitesi (Zorlu enerji, 2015)

Enerji kaynakları	Dünya	AB-28	Çin	ABD	Almanya	Hindistan	Türkiye
Rüzgâr	370	129	115	66	39	22	3,6
Rüzgâr -Ülkelerin dünya toplamına oranı		%34,9	%31,1	%17,8	%10,5	%5,9	%0,97
Biyokütle	93	36	10	16	9	5	0,3
Biyokütle -Ülkelerin dünya toplamına oranı		%38,7	%10,8	%17,3	%9,5	%5,4	%0,32
Güneş (PV)	177	87	28	18	38	3	0,04
Güneş (PV) Ülkelerin dünya toplamına oranı		%49,2	%15,8	%10,2	%21,5	%1,8	%0,02

Türkiye’nin yenilenebilir enerji ile elektrik üretim kapasitesi küresel bazda diğer ülkelere kıyasla oldukça düşüktür (Çizelge 2.1). Ayrıca güneş enerjinden sağlanan elektrik üretimi de diğer yenilenebilir enerji kaynaklarına göre daha düşük oranda kalmaktadır.



Şekil 2.9. Ülkemizde bulunan toplam kurulu güç dağılımı (a) (Zorlu enerji, 2015), Avrupa'daki güneş enerjisi potansiyeli (b) (Solargis, 2019)

Türkiye'de 2015 verilerine göre güneşten enerji üretimi mevcut kaynaklar içinde %0,06 oranında olup küçük bir bölümü kapsamaktadır (Şekil 2.9). Türkiye güneş kaynağı açısından Avrupa'daki en yüksek potansiyele sahip ülke olmasına rağmen çok düşük miktarda güneşten enerji üretimi gerçekleştirmektedir. Aynı zamanda Türkiye güneş enerjisi üretiminde Avrupa'da ön sıralarda olan Almanya'dan %60 daha fazla güneş ışığına sahip olmasına rağmen Almanya ile kıyaslandığında daha az enerji üretimi gerçekleştirmektedir (Zorlu enerji, 2015). Türkiye'nin elektrik üretiminde güneş enerjisi teknik potansiyeli yaklaşık 190 TWh/ yıl ile ikinci sıradaki İspanya'dan %29 daha fazla olmaktadır (Zorlu enerji, 2015). Bu potansiyel ile Türkiye mevcut elektrik ihtiyacının %75'ini güneş enerjisi ile karşılayabileceği görülmektedir.

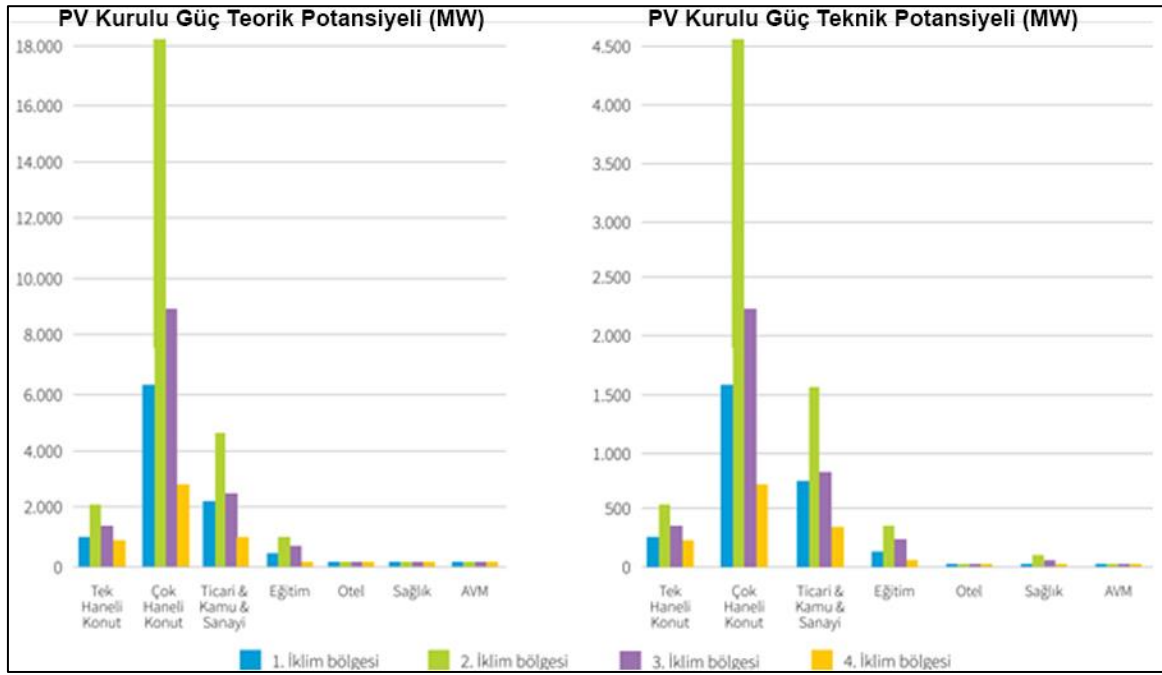
Çizelge 2.2. Türkiye'nin bölgeler bazında toplam güneş enerjisi potansiyeli ve güneşlenme süresi (Cebeci, 2017)

Bölge	Toplam Güneş Enerjisi (kWh/m ² y)	Güneşlenme Süresi (saat-yıl)
Güney Doğu Anadolu	1.648	2.845
Akdeniz	1.548	2.737
Doğu Anadolu	1.528	2.615
İç Anadolu	1.523	2.519
Ege	1.481	2.563
Marmara	1.329	2.250
Karadeniz	1.305	1.929

Çizelge 2.2 incelendiğinde Türkiye'nin yüksek güneşlenme süresi ve enerji üretim potansiyeline sahip olmasından dolayı yapılara eklenen aktif güneş teknolojilerinin kurulumları her geçen yıl hızla artmaktadır. Yapılar özelinde çatıda fotovoltaiik (PV)

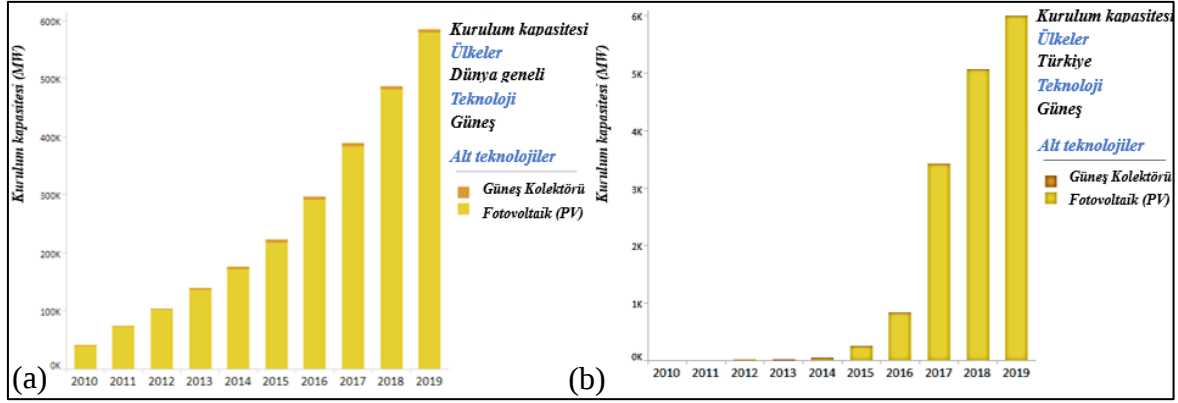
kapasitesi kurulumu için teknik potansiyel 14,9 GW olmaktadır. Mevcutta bulunan yapıların tamamının çatılarına uygun yönlenme ve eğimle fotovoltaik sistemlerin uygulanması sonucu, teknik potansiyelin 55 GW olacağı hesaplanmıştır (Acar ve diğ., 2020). Dolayısıyla fotovoltaik sistemlerin yapılarda kullanılarak bu teknik potansiyelin oluşturulması enerji ihtiyacının karşılanmasına büyük katkı sağlanacağını söylemek mümkündür.

Yapı tipolojileri özelinde, güneş enerjisinden yararlanmalarda ise mevcuttaki fotovoltaik sistemler ile 6 GW kapasitenin ortalama %15'i, büyük ölçüde çatıda ticari, kamu ve sanayi yapı tipolojilerinden karşılanmaktadır (Acar ve diğ., 2020). Özellikle çok haneli konut binalarının kurulu güç teknik ve teorik potansiyeli, büyük enerji potansiyeli farkıyla öne çıkmaktadır (Şekil 2.10). Bu durumun temel sebebi olarak büyük oranda Türkiye'deki mevcut çok haneli konut stokunun fazla olması gösterilebilmektedir.



Şekil 2.10. Çatıda güneş enerjisi sistemlerinin iklim bölgeleri bağlamında bina tipolojilerine göre teorik ve teknik potansiyelleri (Acar ve diğ., 2020)

Yapılan incelemelerle yüksek güneş ışığı alım potansiyeline sahip Türkiye için güneş enerjisinden yararlanmak her geçen gün bir ihtiyaç haline gelmektedir. Artan enerji ihtiyacı ile birlikte toplam enerji tüketiminin yaklaşık %40'nı kullanan binaların çatı veya cephelerine aktif güneş sistemlerinin bütünleştirilmesi ile binalardan kaynaklanan enerji tüketiminin düşmesine katkı sağlaması mümkündür.



Şekil 2.11. Dünya’da (a) ve Türkiye’de (b) 2010 yılı itibarı ile kurulu güneş kolektörü ve PV panel kurulum kapasitesi (IRENA, 2020)

Dünya ile Türkiye’deki aktif güneş sistemleri kurulum kapasitesi kıyaslandığında Türkiye’de 2015 yılına kadar fazla bir artış görülmemesine rağmen 2016 ile 2017 yılı arasında dört kat arttığı ve kademeli olarak her geçen yıl artış gösterdiği görülmektedir (Şekil 2.11). Türkiye’de aktif güneş sistemlerinin mevcut ve yeni yapılacak binalarda kullanımlarının yayılması ile birlikte, binaların AB standartlarındaki bina seviyelerine yaklaşabileceği öngörülmektedir.

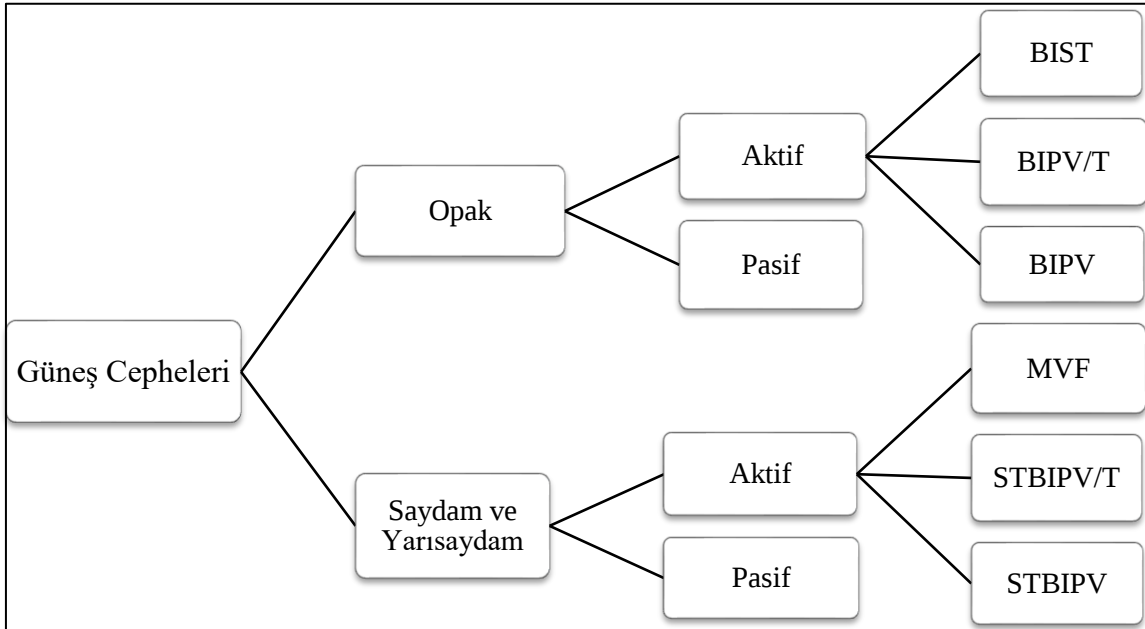
2.3. Aktif Güneş Sistemleri

Karbon ayak izinin ve yenilenemeyen kaynak tüketiminin azaltılması aynı zamanda enerjinin sürdürülebilir kaynaklardan karşılanabilmesinde güneş enerjisi önde gelen yenilenebilir enerji kaynağı olarak görülmektedir. Güneşten enerji ve ısı üretmek için en yaygın kullanılan teknolojik sistemler fotovoltaik (PV) paneller ve güneş kolektörleridir. Bu teknolojilerin yapı kabuğuna bütünleşmesinde (entegre edilmesi) farklı yöntemler geliştirilmiştir.

Özellikle, fotovoltaik sistemlerin teknolojilerinin enerji üretimindeki katkılarından dolayı bu sistemlerin yapı kabuğu üzerinde kullanımının yaygınlaştırılması gerekmektedir. Sistemlerin yaygınlaştırılması için birçok ülkede, sınırlı ek araziler kullanılması yanı sıra yeni veya mevcuttaki yapıların çatı ve cepheleri üzerine bütünleştirilmesi de yapılmaktadır (Kuhn ve diğ., 2020). Günümüzde inşaat sektöründe, yapıların daha sınırlı zemin ve çatı alanına sahip olmasından dolayı yüksek katlı ve geniş yüzey alanına sahip olan cephelere aktif güneş sistemlerinin bütünleştirilmesi yaygınlık kazanmış bu durum sistemlerden daha uygun ve verimli sonuçlar elde edilebilmesini sağlamıştır.

Güneş (solar) cepheleri ve sınıflandırılması

Güneş (solar) cepheler, kendi içerisinde opak ve saydam-yarı saydam olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Güneş enerjisinden faydalanma durumuna göre sistemler, aktif ve pasif cephe sistemleri olarak ayrılmaktadır. Pasif cephe sistemlerinde, güneş enerjisi doğrudan yapı kabuğundan veya pencereler yoluyla doğal ışık ve yayılan ısı kaynağı olarak kullanılmaktadır. Güneş enerjisi, aktif sistemlerde fotovoltaik paneller ve güneş kolektörleri aracılığıyla enerjiye ve ısıya dönüştürülebilmektedir (Basnet, 2012). Çalışma kapsamında, yapı kabuğunda kullanılabilen aktif güneş sistemleri incelenecektir. Güneş cephelerinin sınıflandırması Şekil 2.12’de verilmiştir.



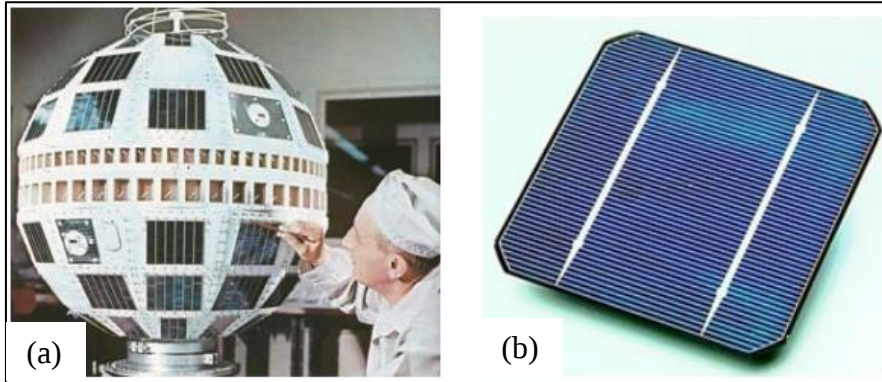
Şekil 2.12. Güneş cephe sistemlerinin sınıflandırması (BIST: building-integrated solar thermal system, BIPV: building integrated photovoltaic system, BIPV/T: building-integrated photovoltaic thermal system, MVF: mechanically ventilated facade, STBIPV: semi-transparent building-integrated photovoltaic system, STBIPV/T: semi-transparent building-integrated photovoltaic–thermal system) (Qesada ve diğ., 2012)

Aktif güneş sistemleri içerisinde opak ve saydam-yarısaydam cepheler üzerinden binayla bütünleşik güneş kolektörleri (BIST) binayla bütünleşik fotovoltaik (BIPV) ve binayla bütünleşik fotovoltaik termal (BIPV/T) sistemler tez konusu kapsamında incelenmiştir.

2.3.1. Fotovoltaik (PV) sistemler

Fotovoltaik (PV) terimi Yunanca ışık, ‘phōs’ ve gerilim kelimesi için kullanılan ‘volt’ birleşiminden ortaya çıkmıştır (Ünver, 2013). İlk olarak 1839 yılında Fransız fizikçi, Alexander Edmond Becquerel fotovoltaik panellerdeki etkiyi bir elektrot aracılığıyla gözlemlemiştir. İngilizce’ de ise 19.yydan itibaren fotovoltaik (PV) kelimesi ortaya çıkmış ve güneş ışığından elektrik elde etme ifadesini taşımaktadır. Fotovoltaik kelimesi genel olarak ışık yardımı ile elektrik üreten fotovoltaik hücrelerin çalışma prensibi üzerine yapılan araştırma ve teknolojilerde kullanılmakta olan kapsamlı bir terimi ifade etmektedir (Ünver, 2013). Fotovoltaik hücreler yoğun olarak güneş ışığını kullanırken aynı zamanda ay ışığı gibi diğer doğal ışık kaynaklarını da kullanan gün ışığını elektrik enerjisine dönüştüren yarı iletken malzemelerden meydana gelen sistemlerdir.

Fotovoltaik sistemlerin yaygın olarak kullanımı, 1950’li yılların sonunda ilk konvansiyonel fotovoltaik hücreler üretilmesi ile başlamıştır. Güneş pilleri üzerine ilk uygulamalar Amerika’da uzay araştırmaları için gerçekleştirilmiştir (Resim 2.1) (Fraas, 2014). Fotovoltaik sistemler, farklı kelimeler ile (güneş paneli, pili vb.) ifade edilebilmekte ve farklı özelliklere (verim düzeyi, renk vb.) sahip olmaktadır.



Resim 2.1. Telstar uydusu (a), tipik silikon güneş hücre veya fotovoltaik (PV) hücre (b) (Fraas, 2014)

1970’lerin sonunda petrol krizinin çıkması ile birlikte mimaride de aktif olarak fotovoltaik sistemler kullanılmaya başlanmıştır. 1977 yılında Beyaz Saray’a güneş panelleri kurdurulmuş ve güneş enerjisinin kullanılması için teşvikler yapılmıştır (Fraas, 2014). 1980’lerde elektronik aletlerde de (hesap makinesi, saat, sokak aydınlatma elemanları vb.) PV sistemlerin kullanılmasıyla birlikte sistemlerin kullanımı yaygınlık kazanmıştır.

Fotovoltaik (PV) sistem bileşenleri

Fotovoltaik sistem teknolojileri, birçok sistemin birleşiminden meydana gelmektedir. Fotovoltaik sistemi oluşturan temel bileşenler aşağıda belirtilmiştir.

- PV modüller, enerji üretimini sağlayan yarı iletken malzemeden oluşan sistemler,
- İnvertörler (dönüştürücüler), doğru akımı alternatif akıma dönüştürerek enerjinin kullanılabilmesi sağlamaktadır,
- Aküler, enerji tüketiminin gerçekleşmediği zamanlarda enerjinin depolanmasını sağlamaktadır,
- Şarj denetim birimleri, aşırı enerji yüklenmesini ve enerjinin hızlı boşalmasını engellemektedir,
- Sistemin diğer bileşenleri, (Sayın ve Koç, 2011).

PV sistemlerin verimliliklerini etkileyen faktörler

Yapı kabuğuna uygulanan PV panellerin enerji verimliliğini, birçok teknik parametre etkilemektedir (Dabbagh, 2015). PV sistemlerinden en iyi verimi elde edebilmek için, bu parametrelerinin optimum düzeyde tutulması gerekmektedir. Sistem verimliliğine etki eden parametreler sırasıyla:

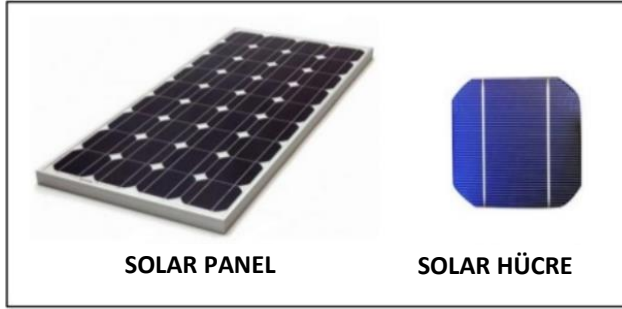
- PV hücrelerinin tipi (tek kristalli, çok kristalli vd.)
- Yönlendirme ve eğim açısı,
- Sıcaklık,
- Gölgeleme, olarak sıralanmaktadır (Dabbagh, 2015).

Bu doğrultuda verimliliği etkileyen parametreler kapsamında öncelikle PV hücrelerinin tipleri incelenmiştir.

Tek Kristalli Silikon Hücre- (Mono kristal Silikon Hücre)

Tek kristalli silikon hücreler, PV hücre tipleri arasında en yüksek verimliliğe (%20- 30) sahip hücrelerdir. Teknolojik çalışmalar ile birlikte, bu hücre tipleri yüksek modül verimliliğine ulaşmaktadır. Aynı zamanda tek kristalli silikon hücreler verimliliği en düşük

bozulma oranına (%0,25-%0,5) sahiptir. Ancak hücreler modül olarak bir araya geldiklerinde verimlilikleri %15'e kadar düşebilmektedir. (Dabbagh, 2015; Sayın ve Koç, 2011) Diğer hücrelerle kıyaslandığında yüksek verimliliğine sahip olduğu için geniş alanlara ihtiyaç duyulmamakta olup dezavantaj olarak PV hücre tipleri arasındaki en yüksek maliyete sahip olmasıdır (Resim 2.2).



Resim 2.2. Tek kristalli silikon panel ve hücre (Pang, 2016)

Çok kristalli silikon hücre- (Polikristal silikon hücreler)

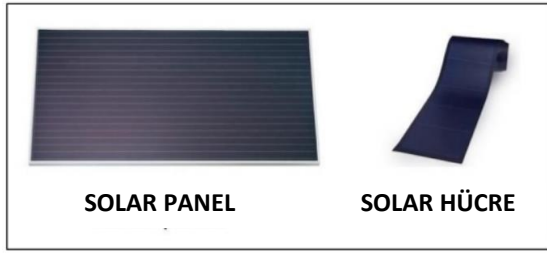
Çok kristalli silikon hücreler, tek kristalli silikon hücreler ile benzerlik göstermektedir. Bu hücreler yaklaşık olarak %12 verimliliğe sahip olmaktadır. Aynı zamanda laboratuvar koşullarında %18 verimliliğe kadar çıkabilmektedir. Tek kristalli silikon hücreler ile kıyaslandığında daha ekonomiktir ayrıca, hızlı ve kolay bir biçimde üretimleri gerçekleştirilmektedir. Ancak iki hücre tipi de silikon yapısına sahip olduğu için sıcaklık artışından etkilenmektedir (Dabbagh, 2015; Sayın ve Koç, 2011). Buna bağlı olarak sıcaklığın artmasıyla verimleri düşmektedir. Tek kristalli silikon hücreler ile kıyaslandığında maliyet olarak daha uygundur ancak enerji üretimleri için daha fazla alana ihtiyaç duyulmaktadır (Resim 2.3).



Resim 2.3. Çok kristalli silikon panel ve hücre (Pang, 2016)

İnce film tabaka yapılı hücreler- (Thin film hücre)

Güneşten enerji elde etmek için teknolojinin de etkisiyle kullanılan malzeme ve işçiliği azaltarak, yarı iletken malzemelerin geniş ve kavisli yüzeylerinde ince film hücreler yerleştirilerek uygulanması durumu ortaya çıkmıştır (Sayın ve Koç, 2011). İnce film hücreler (amorf hücreler), diğer hücrelerle kıyaslandığında en az verimliliğe sahip hücrelerdir. Bu hücre tipleri en fazla %12 verimliliğe ulaşabilmektedir. Ancak ince film hücreler, dağınık ve düşük ışığı silikon hücrelerden daha iyi kullanmaktadır. Aynı zamanda yüksek sıcaklıkta verimliliklerindeki bozulma oranı diğer hücrelere kıyasla daha az gerçekleşmektedir. Bu durum, sıcak bölgelerde ince film hücrelerini diğer silikon hücrelerine göre daha sürdürülebilir kılmaktadır. İnce film hücrelerin yapısı sayesinde formlarında esnemeler olmakta özellikle amorf binalara bütünleştirilen fotovoltaik sistemler arasında en uygun seçenek olmaktadır (Resim 2.4) (Dabbagh, 2015).



Resim 2.4. İnce katmanlı panel ve hücre (Pang, 2016)

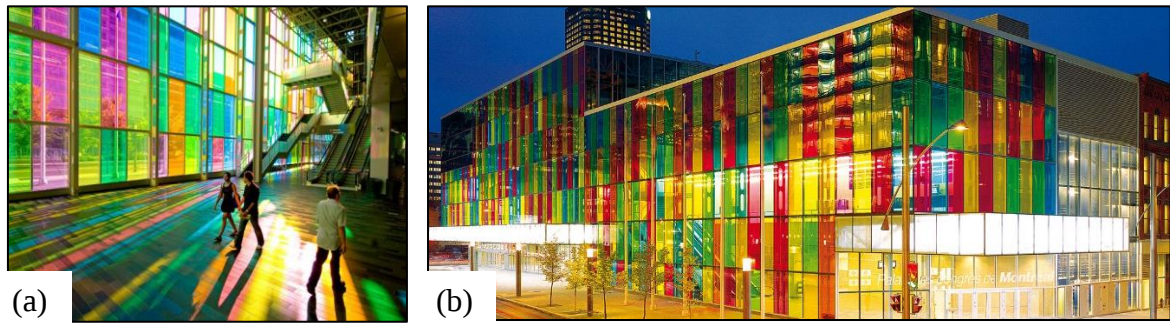
PV hücre tipleri ve özellikleri, Çizelge 2.3'te özetlenmiştir. Silikon tabanlı PV hücreler, gelişmiş ve uzun süre dayanıma sahip olmalarından dolayı uygulamada en geniş ve baskın olarak kullanılan teknolojilerdir (Reddy ve diğ., 2020). İncelenen PV hücre tiplerine ek olarak, daha yüksek performansta yeni PV teknolojileri geliştirilmektedir. Bu teknolojilerden biri olan HIT (heterojunction with intrinsic thin-layer), kristal ve ince film silikon hücrelerin birleşiminden elde edilen hibrit sistemdir (Basnet, 2012). Bu sistemler yüksek verimliliğe sahiptir. Aynı zamanda yüksek sıcaklıklarda bozulma oranları diğer hücre tiplerine göre daha düşük olmaktadır.

Çizelge 2.3. PV hücre tipi ve özellikleri (Greenmach, 2022; Dabbagh, 2015)

PV Hücre Tipleri		Ana Malzeme	Verimlilik
İnce film (Thin film)	A-Si	Silikon	%7-12
Kristal Silikon	Tek kristalli		Yaklaşık %20
	Çok kristalli		Yaklaşık %15

Luminescent solar concentrators (LSC) PV Panel

Luminescent Solar Concentrators (LSC) PV panel sistemleri, güneş ışığının bir kısmını emen ve plakaların içine yayan, içinde dağılmış floresan boyaların bulunduğu saydam malzemelerden oluşmaktadır. Yayılan radyasyon, optik fiberlerde uygulanan toplam iç yansımadan yararlanarak levhayı küçük yüzeyli güneş pillerinde yoğunlaştığı ince kenarlara doğru yönlendirmektedir. (SUPSI/ISAAC, 2013) Böylece, yayılan ışıklar ile farklı renklerde LSC elde edilebilmektedir (Resim 2.5).



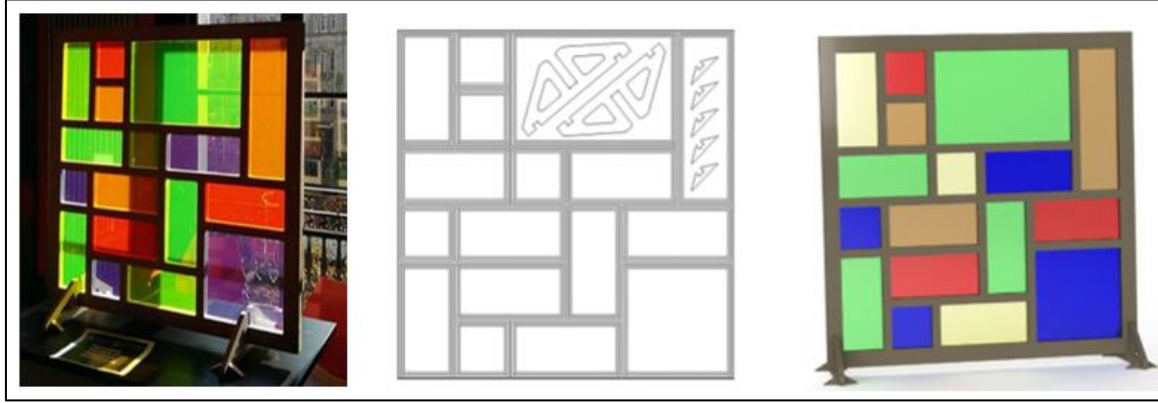
Resim 2.5. Palais des Congrès, Montreal Kanada bina iç mekan (a) (Vossen ve diğ., 2016) ve cephe görünümü (b) (CHI, 2017)

LCS PV panellerdeki farklı ışıkların elde edilmesi sonucunda yapı kabuğuna uygulanan bu sistemler iç mekanda bazı olumsuz etkilere neden olmaktadır. Işık miktarı ve ışık kalitesinin kombinasyonu insanlar üzerinde çeşitli psikolojik etkiler bırakmaktadır. LCS PV panellerin ışık durumları dikkate alınarak renkli ışıklara maruz kalma üzerine, fiziksel olarak beyin aktivitesi, hormon üretimi gibi vücut fonksiyonlarının etkilemesine yönelik çalışmalar yapılmıştır. Yapılan çalışmalarda, ofis cephelerinde kullanılan LSC PV sistemlerin bina sakinlerinin konforu ve performansı üzerinde görsel yorgunluk ve rahatsızlık, otonom ve merkezi sinir sisteminin zorlanması gibi olumsuz etkilere neden olduğunu göstermiştir (Vossen ve diğ., 2016).

Elektrik Mondrian PV Panel

Piet Mondrian'ın tablolarından ilham alınarak Hollanda'da tasarlanmış olan Mondrian PV paneller LSCs (Luminescent Solar Concentrators)' e bağlı olarak geliştirilmiştir. 15 cm' in katlarından oluşan standart boyutlardaki kare ve dikdörtgen elemanlar kristal silikon hücreler ile çerçevelenmiştir. LSC (Luminescent Solar Concentrators) teknolojileri,

tasarımda yüksek düzeyde esneklik, dağınık ve doğrudan ışık altında çalışma yeteneği ve silikon tabanlı PV sistemlere kıyasla daha düşük maliyetle üretilme gibi avantajları barındırmaktadır (Resim 2.6) (Van Sark ve diğ., 2017).



Resim 2.6. Elektrikli Mondrian fotovoltaiik panel (Van Sark ve diğ., 2017)

Ancak, verimleri diğer teknolojiler ile kıyaslandığında daha düşük olmakta (Çizelge 2.4) ve bina içerisinde insanların sağlığını olumsuz etkileyebilmektedir. Buna rağmen, iç mekanda pencerelerin arkasında dekoratif olarak ve mobil cihazların şarj edilmesi amacıyla kullanılabilirler (Van Sark ve diğ., 2017).

Çizelge 2.4. Tasarım için bileşen verimliliği toplam güç hesabı (Van Sark ve Moraitis, 2016)

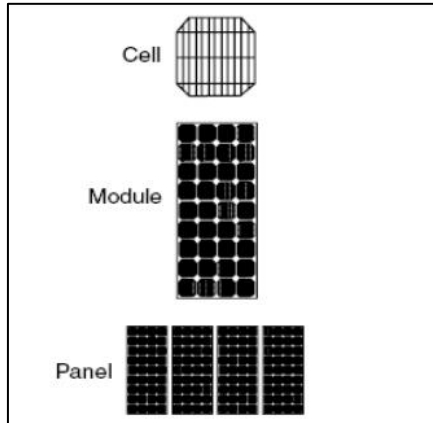
Renk	Numara	Boyut	Verimlilik(%)	$P_{(max)}$	Toplam
Kırmızı	1	15x15	2	900	900
	2	15x30	1.6	1440	2880
Turuncu	1	15x15	1.7	765	765
	1	15x30	1.3	1170	1170
	1	15x45	1	1350	1350
Yeşil	3	15x30	1.1	990	2970
	1	30x45	0.1	270	270
Sarı	1	15x15	1.4	630	630
	2	15x30	0.8	720	1440
Mavi	2	15x15	0.3	135	270
	1	15x30	0.2	180	180
	1	30x30	0.1	180	180
Toplam	17				13005

Yapılan çalışmalar sonucunda, farklı renklerde dalga boylarında farklı verimlilikler elde edilmiştir (Çizelge 2.4). Mondrian PV panellerde gözlemlenen sonuçlara göre, kırmızı rengin en verimli (%2), mavi rengin ise en az verimli (%0.3) olduğu görülmüştür. Ancak bu

sistem analiz aşamasında olup hala gelişim göstermektedir. İlerleyen süreçlerde, üretilebilirlik ve maliyet odaklı yeni geliştirilmiş teknolojiler tasarlanması hedeflenmektedir.

Fotovoltaik (PV) modüller

Fotovoltaik (PV) modüller, aynı boyut ve tipteki eş PV hücrelerin bir araya gelmesiyle oluşmaktadır (Resim 2.7). Aynı boyutta hücrelerin kullanılmasındaki amaç, düz bir PV modülün elde edilmesi için aynı boyuttaki hücrelerin seri olarak bağlantı sağlanabilmesinin gerekliliğidir. Eğimli PV modüllerde bağlantı en az 0,9 metre yarıçapına sahip esnek bir malzeme yardımı ile gerçekleştirilmektedir. Ancak, eğimli PV modüllerin performansı modül yüzeyindeki homojen olmayan güneş ışığı dağılımı nedeniyle daha az olmaktadır (Dabbagh, 2015). Bu sebeple, eğimli PV modüller uygulamalarda daha az tercih edilmektedir. Modül tipinde çerçevenin olmaması sonucu PV hücrelerin üzerinde gölgelerin oluşmaması sebebiyle modüller arasında en uygun PV modül sabitlemesi, yapısal sızdırmaz cam (structural sealant glazing) gösterilebilmektedir (Dabbagh, 2015). Bu sistem, sıcak ve soğuk cephe uygulamalarında kullanılabilir.



Resim 2.7. PV yapılandırmasının hiyerarşisi (Cheng, 2009)

Hafif sistemler (lightweight modül) PV sistem uygulamaları

Hafif sistemler, PV panellerin ağırlıklarını hafifleterek yapı kabuğundaki uygulamaların daha uygun hale getirilmesi için kullanılan PV sistemlerdir. Tipik olarak, bazı laminatların ultra ince (lightweight) ve yenilikçi yapısı sayesinde alt tabakaya kolayca bütünleştirilmektedir. (SUPSI, 2017) Özellikle, esnek PV paneller mevcut yapı malzemesinin yerine kullanılamamakta olup bunun yerine yapı malzemesi üzerine

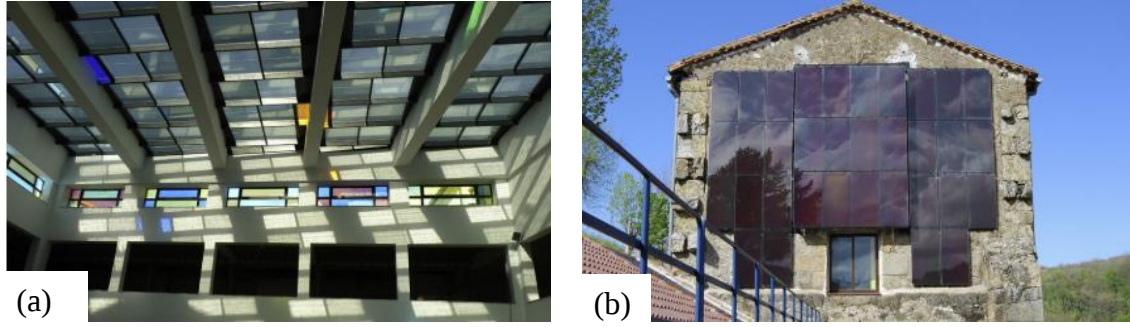
yapıştırılarak uygulanabilmektedirler. Son zamanlarda kolay uygulama ve statik yükü hafifletecek düzeyde kristal silikon tabanlı hafif PV paneller de üretilmektedir.

Yönlendirme ve eğim açısı

PV sistemler, tasarımcıların kontrolü dışında olan faktörlerden (güneş radyasyonunun miktarı, yıl, gün, güneşlenme saati, güneş ışınlarının enlem ve eğim açıları gibi) etkilenmektedir. Ancak, PV panellerin yüzeyine düşen güneş ışınım miktarının değişiminde etkili olan yönlendirme veya eğim açısı en yüksek radyasyonu yakalamada kontrol edilebilir faktörlerden biri olmaktadır. (Gweshia ve diğ., 2019) PV panellerin optimum eğim açıları, farklı dönemler için incelenen PV yüzeyindeki toplam radyasyonun en yüksek olduğu değerlerin belirlenmesi ile sağlanmaktadır (Kacira ve diğ., 2004).

PV panellerin farklı konumlardaki, en uygun yönlendirme ve eğim açısının belirlenmesi üzerine çalışmalar gerçekleştirilmektedir (Yu ve diğ., 2019). Şanlıurfa'daki arazide PV paneller üzerine yapılan çalışmada aylık en yüksek verim PV yönlendirme ve eğim açısının hesaplanması ile yıl boyunca alınan güneş radyasyonundaki kazanç sırasıyla % 1,1 ve % 3,9 olmuştur. Toplam güneş radyasyonunda günlük ortalama % 29,3'lük kazanç sağlanırken mevsimsel bazda farklılıklar olduğu sonucuna ulaşılmıştır (Kacira ve diğ., 2004).

Tucson' da yapılan çalışmadaki elde edilen verilerde, bir PV panel iki ve dört mevsimlik ve aylık ayarlamalar ile matematiksel hesaplamalara bağlı olarak optimum eğim açısı belirlenmiş ve ulaşılan sonuçlarda sırasıyla % 4.28, % 7.06 ve % 8.42 oranında güneş enerjisi radyasyonunda artma olduğu gözlenmiştir (Gweshia ve diğ., 2019). Bu çalışmalarda, PV sistemlerde yönlendirme ve eğim açısının uygun olması ile PV enerji üretiminde artma sağlandığı sonucu çıkarılmaktadır. Binaların cephelerindeki yıllık ışıma miktarı, güneşe göre yüksek verimli yüzey olan çatılardan daha düşük oranda gerçekleşmektedir ancak, cephelerin çatılara oranla çok geniş yüzey alanlarına sahip olmasıyla ve uygun tasarımlarla güneş enerjisi potansiyeli yükseltilerek çatıda elde edilen enerjiden daha fazla enerji üretimi sağlanabilmektedir (Resim 2.8) (Sánchez ve Izard, 2015).



Resim 2.8. Béjar, İspanya çatıya belirli bir eğim ile bütünleştirilmiş PV sistem (a), düz cepheye eklenen PV (b) (Sánchez ve Izard, 2015)

PV sistemlerin optimal oryantasyonda (eğim ve azimut açıları) olması durumunda Kuzey Avrupa ülkelerindeki gibi soğuk iklime sahip bölgeler için yıllık enerji üretimleri yaklaşık 100 ila 120 kWh/m² iken, Güney Avrupa ülkeleri gibi daha sıcak iklime sahip bölgelerinde, yılda yaklaşık 200-220 kWh/m² enerji üretimi gerçekleşmektedir (Sánchez ve Izard, 2015). Bu doğrultuda, optimal oryantasyonun sağlanmasında enerji üretimi, bölgeden bölgeye farklılıklar gösterdiği görülmektedir.

Sıcaklık

PV hücreler, yaklaşık olarak %20 oranında gelen güneş radyasyonunu elektrik enerjisine dönüştürebilmektedir. Kalan %80'lik güneş radyasyonu ise, PV modüllerin sıcaklığının artmasına sebep olmaktadır. Sıcaklığın artması, PV modüllerin verimliliğini düşürmektedir. Yapılarda kullanılan PV panellerde yüksek sıcaklık, aynı zamanda, bina içerisinde de soğutma yüklerinde artışa neden olduğu için enerji verimliliği açısından da negatif etki oluşturmaktadır (Dabbagh, 2015). Bu sebeple, PV sistemlerindeki sıcaklık artışını engellemek için, modül altına doğal havalandırma yapılabilir veya yapılarda PV/T ve BIPV/T sistem uygulamaları gerçekleştirilebilir.

Gölgeleme

PV sistemlerin gölgede kalması durumu, sistemin enerji performansını etkileyen önemli faktörlerden biridir. Ağaç veya bina gibi elemanların fotovoltaik sistemlerin üzerine gelen güneş ışığını gölgelenmesi enerji verimliliğini azaltmaktadır. Bu durumu engellemek için, PV sistemlerin binalarda güneş ışığını net alabileceği çatı ve cephelere yerleştirilmesi gerekmektedir.

PV sistemlerin gölgelenmesine neden olabilecek durumları, tasarım aşamasında alınan önlemler ile en aza indirebilmek mümkündür. Ancak yapılaşmanın çok olduğu yoğun şehir bölgelerinde kurulu olan sistemler üzerinden bu durumu engellemek daha zor olmaktadır (Dabbagh, 2015).

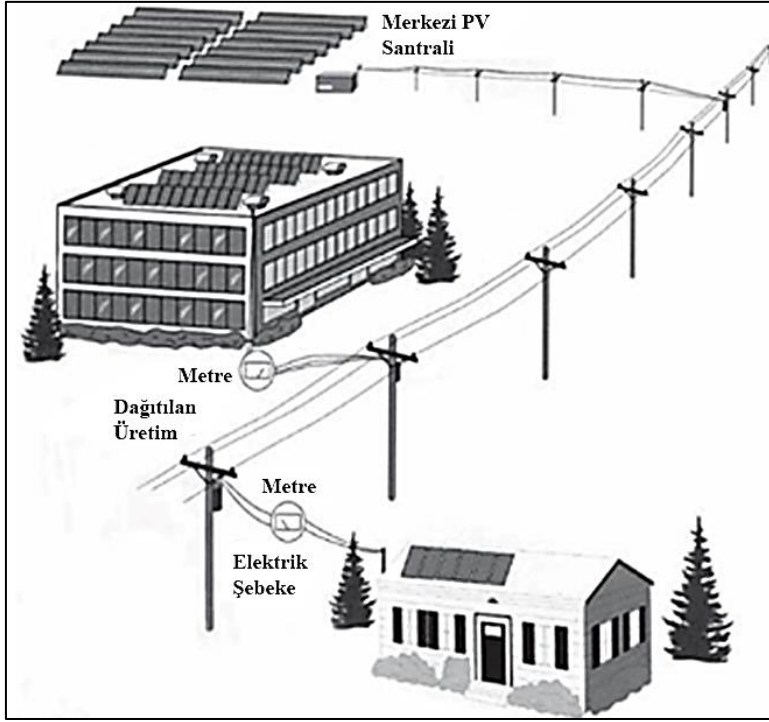
PV sistemlerin sınıflandırılması

Binalarda PV sistemler, elektrik enerjisi üreterek binanın enerji tüketiminden kaynaklı oluşan sera gazı emisyonunu ve karbon ayak izini azaltmaya yardımcı olmaktadır. Bu sistemler, binanın kendi enerji ihtiyacı için kullanıldığı gibi ürettikleri enerjiyi dışarıya aktararak da kullanılabilir (Debbarma ve diğ., 2017).

PV sistemler, iki farklı şekilde sınıflandırılıp kurulabilmektedir: şebekeye bağlı sistem (on grid) ve şebekeden bağımsız (off grid) sistemler. İki kurulumda da çevresel verimliliğe ek olarak enerji verimliliğine de katkı sağlanmaktadır. Şebekeye bağlı (on grid) PV sistemlerde, iletimden kaynaklı enerji kayıpları oluşmakta ve üretilen enerji yakındaki şebekeye aktarılmaktadır. Şebekeden bağımsız (off grid) PV sistemlerdeki enerji üretiminde, enerjinin tüketimi yerinde gerçekleştirilmekte ve bu sayede iletimden kaynaklı enerji kayıpları minimum düzeyde olmaktadır (Kumar ve diğ., 2018).

Şebekeye bağlı (on grid) PV sistemler

Şebekeye bağlı (on grid) PV sistemler, binanın ürettiği fazla elektrik enerjisini şebekeye aktaran sistemler olarak ifade edilmektedir. Bu sistemlerin dağıtılmış ve merkezi santralli üretim olmak üzere iki farklı türü bulunmaktadır. Dağıtılmış şebeke bağlantılı sistemlere örnek olarak, konut ve ticaret binaları için bireysel PV uygulamaları gösterilebilmektedir. Konut binaları için, sistem boyutu 2 ila 4 kW's arasında'dır. Ticari binalarda sistem boyutu ise, 100 kW's veya üzeridir. Şebekeye bağlı sistemler için batarya kullanımı zorunlu değildir. (Ofualagba, 2008) Merkezi santralli üretimde ise, uygun arazilere PV sistemlerin kurulmasıyla elektrik üretimi yapılabilir. Dağıtılmış şebekeye bağlı sistemler ve merkezi santralli üretim sistemleri Resim 2.9'da gösterilmiştir.

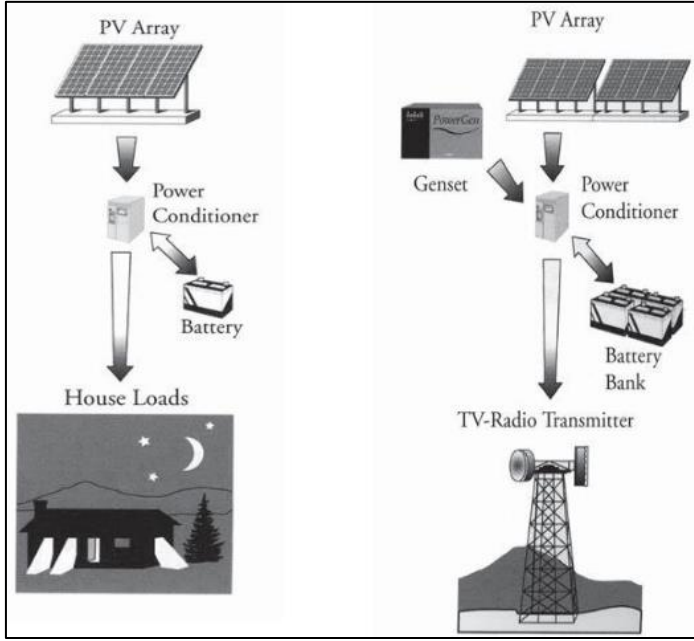


Resim 2.9. Şebekeye bağlı (on grid) sistem (Ofualagba, 2008)

Kullanım noktasında enerji üretiminin faydaları arasında, iletim ve dağıtımla ilişkili kayıplarda (şebeke desteği) kamu kuruluşuna yapılan tasarruflar nedeniyle daha düşük elektrik faturalarıyla tüketiciye sağlanan tasarruflar yer almaktadır. Ayrıca yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanarak enerji üreten binalar, geleneksel kamu hizmeti üreticilerine olan talepleri ve özellikle sera gazı gibi genel emisyonları azaltmaktadır. (Strong, 2016) Şebekeye bağlı sistemlerdeki dezavantaj, elektriğin aktarılmasından kaynaklı enerji kayıplarının meydana gelmesidir.

Şebekeden bağımsız (off grid) PV sistemler

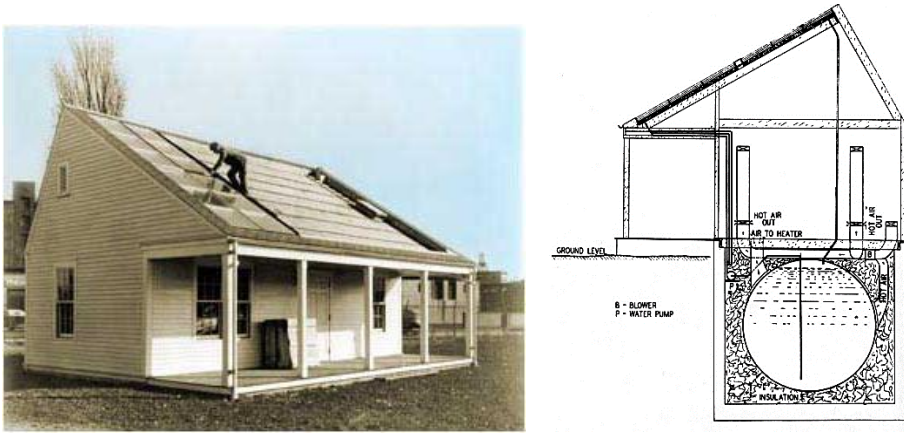
Şebekeden bağımsız sistemlerde, binada üretilen enerji bina içerisinde kullanılmaktadır. Üretilen enerji dışarıya aktarılmadığı için enerjinin taşınmasından kaynaklı kayıplar meydana gelmemektedir. Bu sayede daha yüksek enerji veriminin elde edilmesi sağlanmaktadır. Bu sistemlerde, PV sistemler için şarj ünitelerine gereksinim duyulmaktadır. Böylece, PV modüller tarafından üretilen elektrik enerjisinin depolanması sağlamakta ve bina sakinleri talep üzerine enerjiyi kullanabilmektedir (Ofualagba, 2008). Şebekeden bağımsız sistemler Resim 2.10'da gösterilmiştir.



Resim 2.10. Şebekeden bağımsız (off grid) sistemler (Ofualagba, 2008)

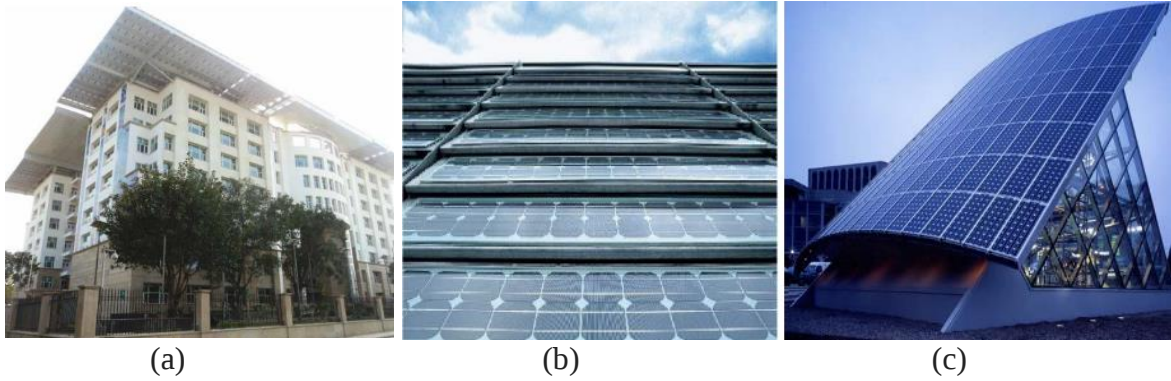
Binaya uygulanan/ eklenen fotovoltaik sistemler (building applied/adopted photovoltaic (BAPV))

Binaya eklenen fotovoltaik sistemler (BAPV), yeni binalara veya mevcut olan binaların cephe veya çatısında geleneksel yapı malzemelerinin üzerine sonradan eklenen PV sistemlerdir. BAPV sistemler, yerinde ve temiz enerji üretimi sağlamaktadır. Bu sayede sistemler enerji iletim kayıplarını azaltmakta ve binanın genel performansını iyileştirmektedir. Aynı zamanda binaların ihtiyaç duyduğu enerji kaynağını karşılamasına ek olarak binanın iç mekan kalitesini iyileştirmektedir (Reddy ve diğ., 2020).



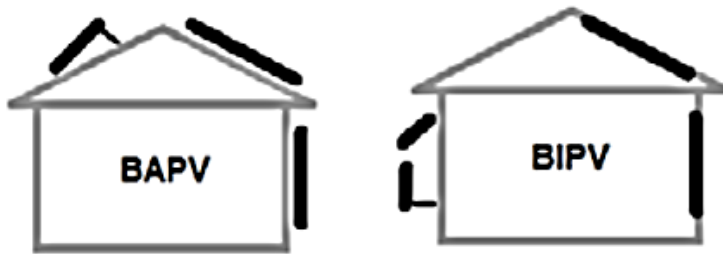
Resim 2.11. Solar I House, binalarda ilk PV uygulaması (Solar Decatlon Team; Yale University, 2021)

BAPV üzerine ilk uygulama, 1939 yılında MIT Solar I House binasında gerçekleştirilmiş ve bu bina Amerika'da güneş enerjisi ile ısıtılan ilk konut olmuştur (Resim 2.11) (Solararchitecture, 2019). Solar I House binasında güneş enerjisinden kışın, ısı kaynağı olarak yararlanılırken yazın, iklimlendirme ve enerji üretmesi hedeflenmiştir (Solar Decatlon Team).



Resim 2.12. BAPV sistem Indira Paryavaran Bhawan (Singh ve diğ., 2019) (a), yarısaydam BIPV uygulaması (b), BP Solar Showcase eğimli BIPV uygulaması (c) (Quadourah, 2020)

Genel olarak, BAPV sistemleri binayla bütünleşik PV (BIPV) sistemler ile karşılaştırıldığında, BIPV sistemler tasarım aşamasında düşünülmesi gereken bir sistem iken BAPV sistemler binaya tasarımdan sonra uygulanabilmektedir (Resim 2.12). BAPV sistemler, yapı malzemelerine sonradan eklendiği için binaya aynı zamanda statik yük aktarılmasına neden olmaktadır. Bu sistemler, binaya eklenirken her hangi bir sorunun ortaya çıkmaması için statik yük hesaplamalarının yapılması gerekmektedir.



Şekil 2.13. BAPV ve BIPV sistemlerinin bina çatı ve cephesinde uygulamalarındaki farklılıklar (Haegermark ve Dalenbäck, 2015)

PV modüller binayla bütünleştirilmiş ancak BIPV kriterlerini karşılamıyor ise BAPV sistem grubuna dahil edilmektedir (Şekil 2.13) (Haegermark ve Dalenbäck, 2015). Aynı zamanda BAPV sistemleri BIPV'den farklı olarak binadan sökülüp tekrar monte edilebilmektedirler.

Binayla bütünleşik fotovoltaik sistemler (building integrated photovoltaic system (BIPV))

Binayla bütünleşik fotovoltaik (BIPV) sistemler, yapı mimarisinin bir parçası olan PV hücrelerinin kullanımını ifade eden bir terimdir. Bu sistem; cephe, çatı ve geleneksel yapı malzemelerini bir araya getirebilen bir yapının hemen hemen tüm parçaları ile bütünleştirilebilmektedir. BIPV sistemler, yapı kabuğu olarak işlev gördüğü gibi enerji üretimini de sağlayarak aynı anda birden fazla işlevi barındırabilmektedir. Ayrıca yapı BIPV sistemler ile birlikte modern ve yenilikçi bir görünüm kazanabilmektedir.

BIPV teknolojileri PV sistemler arasında modern ve yeni gelişen bir teknolojidir. 1980'li yıllarda, binalara bütünleştirilen fotovoltaik (BIPV) sistem uygulamaları kullanılmaya başlamıştır. 1985 yılında ilk defa Almanya'da çatıya bütünleştirilen PV sistem uygulaması yapılmıştır. (Crassard, 2007) BIPV sistemler, geleneksel malzemelerin yerine kullanılabilmesi ve yaşam döngüsü maliyetlerinin optimal düzeyde olması sebebiyle BAPV sistemlerine göre daha az maliyetli olmaktadır (Debbarma, ve diğ., 2017). Bu avantajları ile birlikte, BIPV sistem uygulamaları son yıllarda hızlanmaya başlamıştır.

BIPV sistemlerin sağladığı faydalar genel olarak aşağıda belirtilmiştir:

- *Doğal bütünleşme:* PV sistemler binanın doğal bir parçasıdır, bu sistemlerin bulunmaması durumunda yapıda eksiklikler meydana gelir (Tabakovic ve diğ., 2016),
- *Mimari açıdan kaliteli görünüm:* PV sistemlerde, iyi bir bütünleşmeyle mimaride görsel zenginlik sağlanır bu sayede kullanıcının görsel konforu artırılmış olur (Qadourah, 2020; Tabakovic ve diğ., 2016),
- *İyi kompozisyon:* PV sistemlerin rengi ve dokusuyla yapıdaki diğer malzemelerin uyumu sağlanır, *Grid düzeni, uyum ve kompozisyon*, PV sistemlerin boyutlandırılması ve yapının boyutlandırılması sağlanmalı sonucu yapının görünümü PV sistemler ile uyumlu olur (Qadourah, 2020),
- *Yenilikçi tasarım:* PV sistemlerin bütünleştirilmesi yapıya birçok açıdan değer katar (Qadourah, 2020),
- *Enerji üretimi:* İç ve dış arasındaki görsel ilişki sağlanır, aktif olarak güneşten enerji üretimi elde edilirken aynı zamanda, pasif olarak binaya güneş kazanımı sağlanır (Tabakovic ve diğ., 2016),
- Binayı olumsuz hava şartlarından (aşırı soğuk ya da sıcak) korur.

BIPV sistem bileşenleri genel olarak:

- PV modüller,
- Pil depolamasının düzenlenmesi için şarj kontrolü,
- Güç depolama sistemi,
- İnventör içeren güç dönüştürme ekipmanı,
- Yedek güç kaynağı,
- Uygun destek ve montaj (Strong, 2016), şeklinde sıralaması yapılabilmektedir.

Avrupa’da (Tabakovic ve diğ., 2016) tarafından hazırlanan raporda mevcuttaki 162 BIPV uygulamalarının incelenmesi sonucunda, en yaygın binaya müdahale tipleri, binalarda kullanım yerleri, bina tipoloji türleri gösterilmiştir. BIPV sistemlerinin %50’sinden fazlası yeni binalara uygulanmaktadır (Çizelge 2.5). İncelemeler son yıllarda, BIPV sistemleri ile bina yenileme uygulamalarında yaygınlaşma olduğunu göstermektedir.

Çizelge 2.5. BIPV sistemlerin yüzdelik bina üzerinde uygulama durumları (Tabakovic ve diğ., 2016)

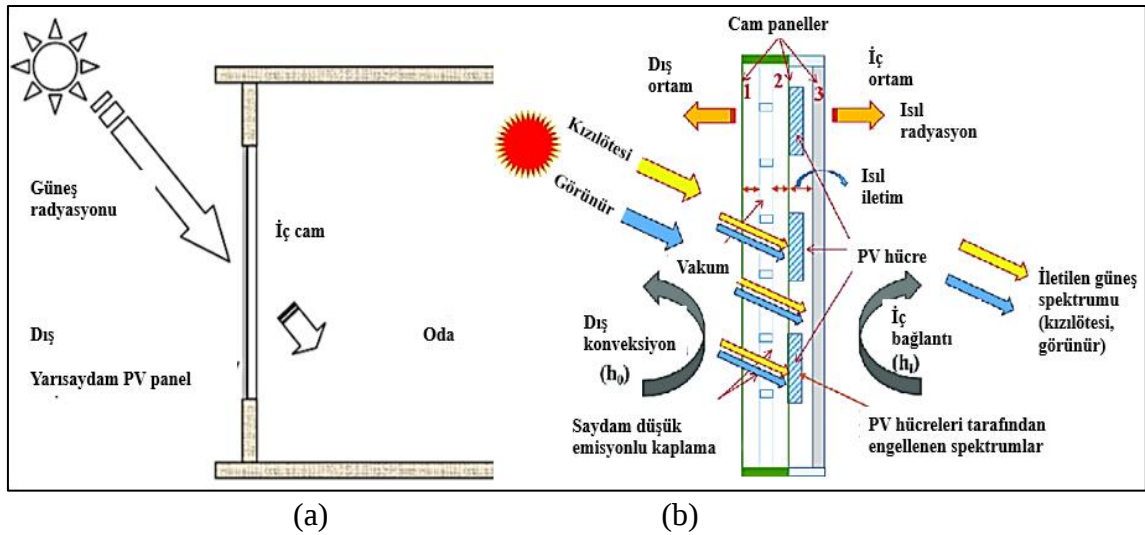
BIPV Sistemlerinin Uygulama Biçimleri		
Binaya müdahale tipleri	Kullanım yerleri	Bina tipolojileri
Büyütme/Genişletme %3	Cephede %54	Konut %19
		Kamu altyapıları %14
Yenileme %32	Çatıda %35	Ticari binalar %7
		Tarihi binalar %7
Yeni bina %65	Her ikisinde %11	Üniversiteler %9
		Spor mekan ofisleri %4
		Sergi salon ofisleri %13
		Diğer %27

Analiz edilen projelerde, BIPV sistemlerin %50’den fazla oran ile cephelerde kullanıldığı görülmektedir. Diğer uygulamalar ise daha az oranla (%35) çatıda kullanımlarıdır. Bu durumun sebebi, BIPV sistemlerinin cephe ile bütünleştirilmesinde çatıya oranla daha fazla opsiyonunun bulunması ve cephelerin çatıya oranla yüzey alanlarının daha geniş olması gösterilebilmektedir. BIPV sistemlerde, tipoloji olarak % 19 oran ile en büyük alanı konut binaları oluşturmaktadır. Konut binalarını, ofisler ve büyük hacim kaplayan binalar takip

etmektedir. Aynı zamanda tarihi binalarda da %7 gibi bir oranla BIPV sistemlerinin kullanıldığı görülmektedir.

Saydam ve yarısaydam BIPV sistem (STBIPV/ semi transparent BIPV)

Saydam ve yarısaydam BIPV sistemler, güneş radyasyonunu yansıtma ve soğurmanın haricinde binanın içinde ısı iletimini de gerçekleştirmektedir (Quesada ve diğ., 2012). Saydam fotovoltaiik sistemlerin diğeri bir tipi, yarısaydam fotovoltaiik (üzerlerine düşen ışığın yarısını ileten) sistemlerdir (Şekil 2.14). İnorganik fotovoltaiiklere benzer şekilde, organik fotovoltaiikler de yarısaydam olma özelliğine sahiptir (www.en.wikipedia.org). Böylece, yapı kabuğu görevi ile yarısaydam fotovoltaiikler hem görsel olarak dış ve iç arasında ilişki sağlamakta hem de fotovoltaiikler ile enerji üretimi gerçekleştirebilmektedir.



Şekil 2.14. (a) Yarı saydam, binayla bütünleşik fotovoltaiik sistem şematik diyagramı (Quesada ve diğ., 2012), (b) Üçlü cam panelin şematiki yarı saydam vakumlu kaplama (Ghosh ve diğ., 2019)

Yarısaydam bir binaya bütünleştirilen fotovoltaiik sistemler (STBIPV), fotovoltaiik modüller aracılığıyla elektrik üreten ve gün ışığının içeri girmesine izin veren yapı kabuğuna bütünleştirilmiş sistemlerdir (Quesada ve diğ., 2012). Böylece STBIPV sistemler birçok fonksiyonu aynı anda gerçekleştirebilmektedir.

Genel olarak, BIPV sistemlerin yapı kabuğunda uygulanma durumları ve yapıya sağladığı avantajlar tez konusu kapsamında belirtilmiştir. BIPV sistemlerden yüksek verim elde edilebilmesi için yapılan çalışmaların iyi bir şekilde analiz edilmesi gerekmektedir. Bu

doğrultuda yapı kabuğuna bütünleştirilerek kullanılan PV uygulama örnekleri Çizelge 2.6'da verilmiştir.

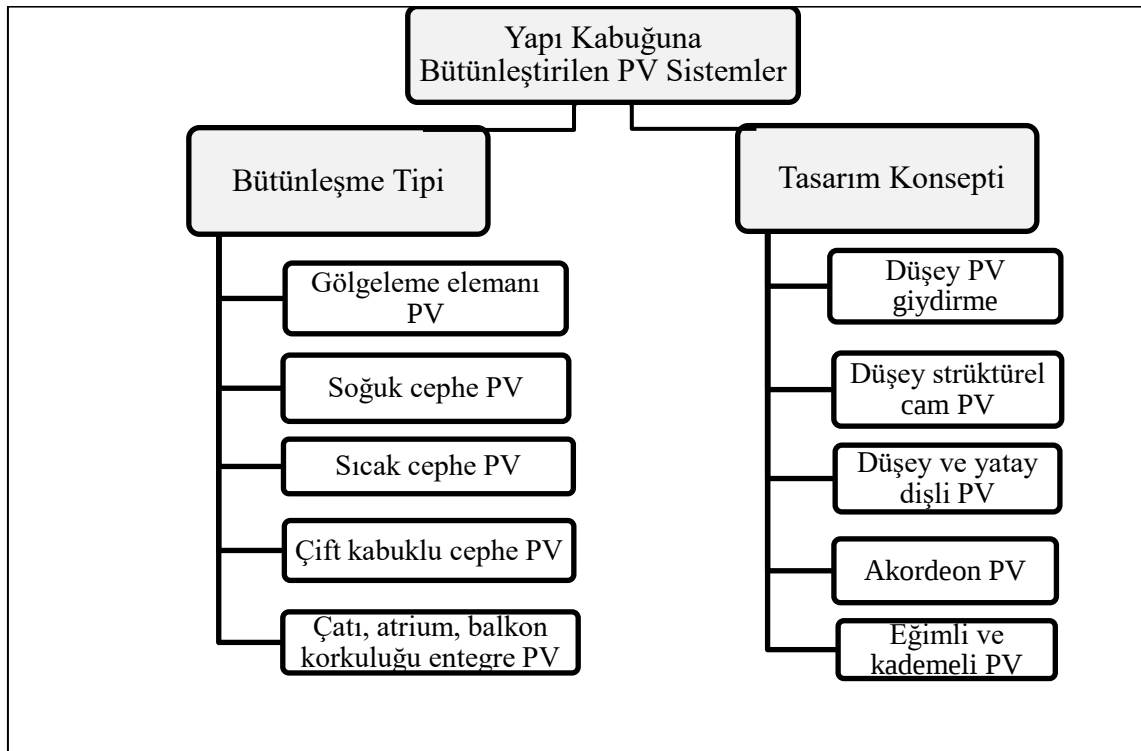
Çizelge 2.6. Çatı ve cephelerde BIPV uygulama örnekleri (Frontini ve diğ., 2015; SUPSI, 2017; SUPSI, 2020; yazar tarafından hazırlanmıştır)

UYGULAMA YERLERİ	AÇIKLAMALAR	UYGULAMA ÖRNEKLERİ
ÇATILAR VE DÜZ ZEMİNLER		
EĞİMLİ ÇATILAR	.Doğrudan çatı sistemine ya da kiremitler ile bütünleştirilerek güneşten enerji üretimi, .Çatıyı hava koşullarına karşı koruma, .İstenilmeyen maliyet/ performans oranı.	
DÜZ YÜZEYLER	.Teras çatılarda veya bina dışı zeminlerde kullanım.	
CEPHELER		
SAYDAM VE YARI SAYDAM CEPHELER	.Yapılara hem güneş ışığı hem de enerji sağlama, .Yarisaydam cepheler en uygun BIPV uygulaması.	
OPAK CEPHELER	.Kullanılmayan sağır cepheler ile bütünleştirilerek enerji üretme ve görsel konforu artırma gibi işlevler sağlama.	
GİYDİRME CEPHELER	.Giydirme cephelerin spandrel kısımlarında kullanım, .Cephe yangınlarına karşı önlem olarak kullanım.	
TAVAN PENCERELERİ VE GÖLGELEME ELEMANLARI	.Güneş kırıcı olarak kullanım, .Cephelerden enerji elde edilmesinde en verimli uygulama.	
PARAPETLER	.Balkon, teras ve çatı parapetlerine bütünleştirilerek kullanma.	

BIPV sistemler, yapıların çatı ve cephelerine yenilikçi bir çözümle bütünleştirilen PV sistemleridir. Yapıların kabuğuna bütünleştirilmesiyle birlikte birçok işlev eş zamanlı olarak gerçekleştirilebilmektedir (Çizelge 2.6).

BIPV sistemlerin cephe ve çatı bileşeni olarak kullanım biçimleri

Yapı kabuğu, yapıda görsel ve strüktürel birçok işlevi gerçekleştirmektedir. Bu nedenle yapı kabuğuna bütünleştirilen PV sistemlerin uygulamalarında karmaşık detaylar bulunmaktadır. PV sistemlerin yapıya bütünleştirmesinde optimum çözümlerin kullanılması (Sayın ve Koç, 2011) ve görsel açıdan konforlu ve yenilikçi tasarımların oluşturulması gerekmektedir. Sistemler bütünleşme tipi ve tasarım konseptine göre Şekil 2.15'te gruplandırılmıştır.

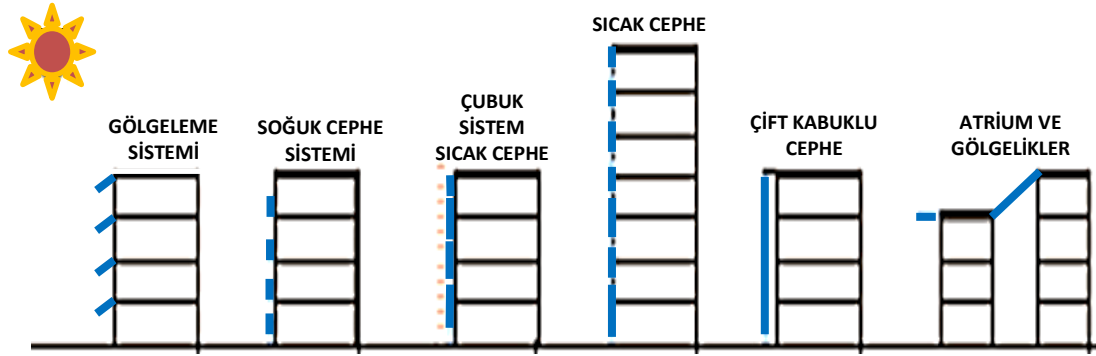


Şekil 2.15. BIPV sistemlerinin cephe ve çatı bileşeni olarak kullanım biçimleri (Kiss, 1993; Dabbagh, 2015)

BIPV sistemlerin bütünleşme tipleri

BIPV sistemlerinin binalarda farklı bütünleşme tiplerinin uygulama ve detayları bu kısımda incelenmiştir. Sistemler üzerinden farklı bütünleşme kombinasyonları yapıp farklı verimler elde edilebilmektedir. Bu doğrultuda, PV bütünleşme tipleri beş gruba ayrılabilir.

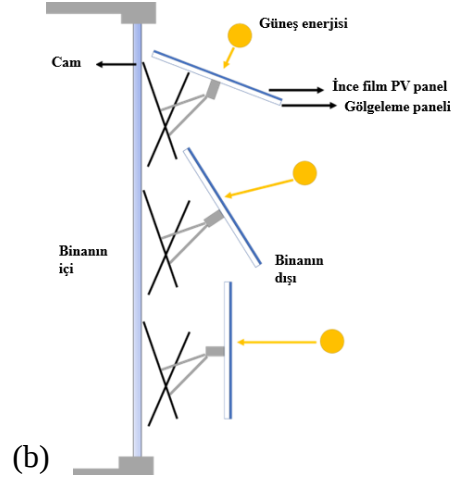
Gölgeleme elemanı, soğuk cephe (rain screen), sıcak cephe (curtail wall-giydirme), çift kabuklu cephe ve çatı, atrium, balkon korkuluğuna bütünleştirilen sistemler olarak gruplandırılır (Şekil 2.16).



Şekil 2.16. BIPV sistemlerin yapı kabuğu ile bütünleşme tipleri (Tabakovic ve diğ., 2016)

Gölgeleme elemanı olarak kullanılan PV sistemler

Gölgeleme elemanı olarak kullanılan PV sistemler, iç mekanın aşırı ısınması ve doğrudan gelen güneş ışığının engellenmesi amacıyla bina cephelerinde kullanılmaktadır. Bu elemanlar, sabit veya hareketli olarak tasarlanabilmektedir. Gölgeleme elemanlarının güneşe karşı dik açıyla konumlandırılması, bu elemanlar üzerinde bulunan PV sistemlerin yüksek verimde çalışmasını uygun kılmaktadır (Şekil 2.17). Bu sayede, fotovoltaik sistemlerden optimum düzeyde enerji elde edilmesi sağlanmaktadır. Dış gölgeleme cihazları aynı zamanda, doğal havalandırma sağlayarak PV sistemlerin aşırı ısınmasına engel olmakta ve böylece verimi daha da arttırmaktadır. Bu sistemlerdeki olumsuz durum ise rüzgara karşı düşük dirence sahip olabilmeleri ve ulaşımalarının zor olması nedeniyle temizlik sorunlarının ortaya çıkmasıdır (Dabbagh, 2015). Aynı zamanda birbirlerinin güneş ışığını keserek PV sistemlerin enerji üretim performansındaki verimliliğinin düşmesine neden olmaktadır.



Şekil 2.17. Cepheye uygulanmış PV güneş kırıcı cihazı (Designboom, 2015) (a), bütünleşik PV dış güneş kırıcı cihaz detayı (b) (Bellini, 2022)

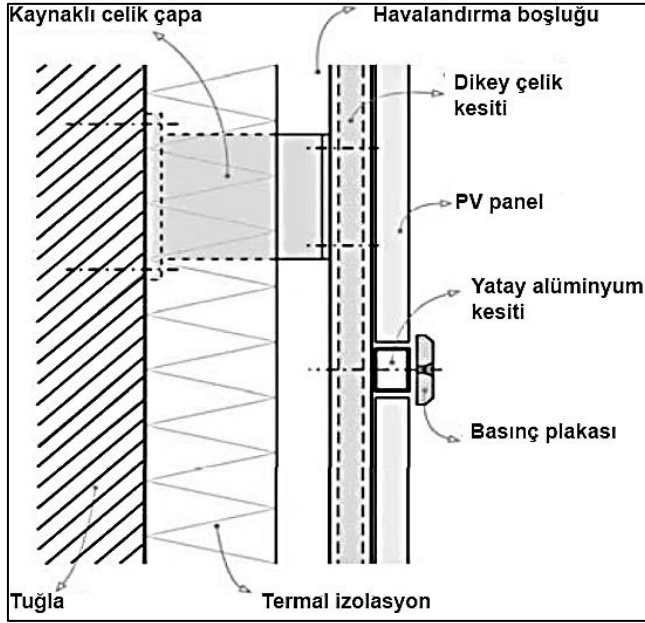
Soğuk cephe (rain screen solar cephe) PV uygulaması

Soğuk cephe PV uygulamaları genel olarak hava boşluğu, kaplama paneli ve yük taşıyıcı alt çerçeveden oluşmaktadır. Yazın güneşten gelen ısı doğal bir şekilde alt ve üst açıklıklardan dağılmaktadır (baca etkisi oluşumu). Bu durum binada soğutma etkisi oluşturduğu için, PV modüllerin verimliliği artmaktadır. PV modüller, geleneksel kaplama elemanı olarak bina dışına bütünleştirilebilmektedir (Şekil 2.18). (SUPSI, 2017) Soğuk cephe uygulamaları, fotovoltaiklerin binaya bütünleştirilmesinde en ekonomik seçenek iken büyük ve kapalı binaların cephelerinde kullanımına uygun değildir (Dabbagh, 2015).



Şekil 2.18. Soğuk cephe PV uygulaması (www.planning.islington.gov, Onyx, t.y.)

PV paneller hem birden fazla panellerle önceden monte edilmiş kasetlere destekler kullanılarak uygulanabilmekte hem de tekli paneller olarak ayrı ayrı uygulanabilmektedir. Genel uygulamalarda PV paneller yapıya uygulanmadan önce cephe cam yünü, taş yünü gibi yalıtım malzemeleri ile kaplanmaktadır (Şekil 2.19).



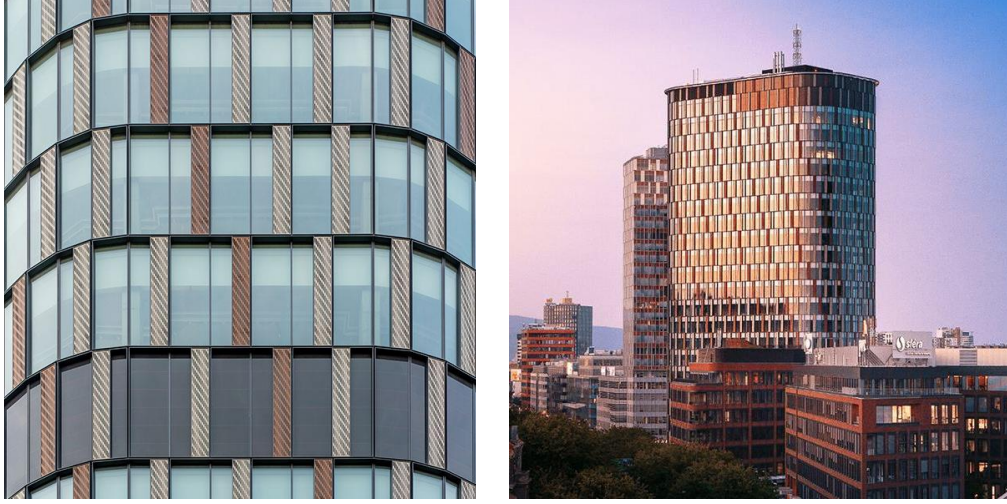
Şekil 2.19. Soğuk cephe PV sisteminin bağlantı ve hava boşluğu kesit detayı (Reddy ve Ramanujan, 2012)

Soğuk cephe PV sistemleri, doğrudan geleneksel soğuk cephe kaplamalarının yerine kullanılmaktadır. Uygulanan binada, pürüzsüz ve estetik bir cephe yüzeyi elde edilmektedir. Bu sistemler ile 1m^2 de en fazla PV panel uygulaması sağlanabilmektedir. (www.planning.islington.gov) Aynı zamanda bu sistemler mümkün olan en yüksek elektrik gücü ulaşılarak yüksek verim gösterebilmektedir.

Sıcak cephe – giydirme cephe PV uygulaması (curtain wall solar)

Sıcak cephe PV uygulamaları diğer adıyla giydirme PV cepheler, iç mekanı dış hava koşullarına karşı koruyarak termal izolasyon sağlayan tek bir tabakadan oluşan sistemlerdir. PV modüller yalıtım malzemesinin yerini alarak cepheye bütünleştirilebilmektedir. İsteğe göre opak veya saydam paneller kullanılabilir (Dabbagh, 2015). Sıcak cepheler fotovoltaik sistemlerin bütünleştirilmesi ile ısı yalıtımı, hava koşullarına dayanım, ses yalıtımı, yük taşıma gibi yapı kabuğunun görevlerini gerçekleştirmektedir. PV sistemler, cephe boyunca dış yüzeylere bütünleştirilebilir ve böylece hem termal, görsel konfor hem de enerjinin elde edilmesi sağlanmaktadır (SUPSI, 2017).

Sıcak cephelere bütünleştirilen PV sistemlerin arka bölümünde havalandırma sağlanmadığı için soğuk cephe PV sistemlerine kıyasla modül verimliliği daha düşük olmaktadır. Ancak bu durum cepheye kaplama yapılarak azaltılabilmektedir (Şekil 2.20) (Dabbagh, 2015).

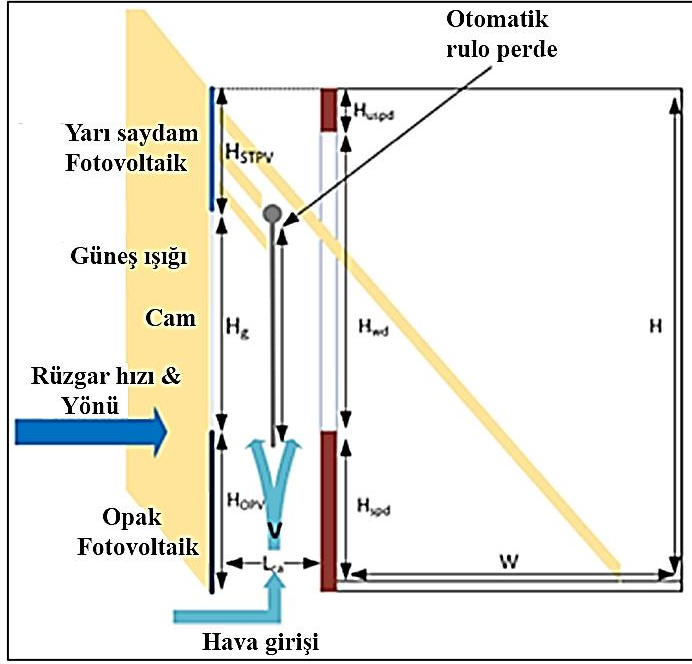


Resim 2.13. Twin City Centre, Bratislava, Slovakya (Big, 2020)

Sıcak cephe PV uygulaması için örnek BREEAM (Outstanding and WELL) Gold sertifikasına sahip olan Twin City Centre binası gösterilebilmektedir. Bina, eski bir endüstri yapısının üzerine konumlandırılmıştır (Resim 2.13) (Big, 2020). Bratislava’da bulunan yapının giydirme cephe sistemi için amorf silikon PV teknolojisi kullanılmıştır. Projenin gereksinimlerine göre amorf silikon cam tamamen siyah, gri frit desenli ve argon hazneli olarak kullanılmıştır. Bu sıcak cephe PV uygulaması, pasif olarak termal ve ses izolasyonuna sahip iken aktif olarak enerji üretimini de gerçekleştirmektedir. Binanın amortisman süresi yaklaşık olarak 8 yıldır. Cephede bulunan PV sistemler tarafından 35 yılda üretilen enerji 564 111 kWh olarak hesaplanmıştır (Onyx, 2020).

Çift kabuklu cepheyle bütünleşik PV sistemler

Çift kabuklu PV cephe sistemleri, boşluklu bir duvarla aynı çalışma prensibine sahiptir (Dabbagh, 2015). Ancak boşluklu duvarın aksine çift kabuklu cephelerde yüksek saydamlık elde edilebilmektedir. Çift kabuklu PV cephelerin avantajları genel olarak, herhangi bir kompleks ve pahalı bir teknolojiye ihtiyaç duyulmadan sıcaklığı, ışığı, rüzgarı düzenlemesidir. Arada bulunan boşluk ise, termal izolasyon ve havalandırma gibi faydalar sağlamaktadır. İç kabuk, termal izolasyonu sağlarken dış kabuk, tek camdan yapılmış olup gün ışığının boşluğa girmesini sağlamaktadır. Bu durum, PV sistemlerinin dış kabukta kullanılması için uygun bir ortam oluşturmaktadır. Sıcak ve soğuk cephelerin aksine, katlarda bulunan yürüme yollarıyla bu sistemlerin temizlik ve bakımı kolaylıkla yapılabilmektedir (Şekil 2.20, Resim 2.14) (Dabbagh, 2015) .

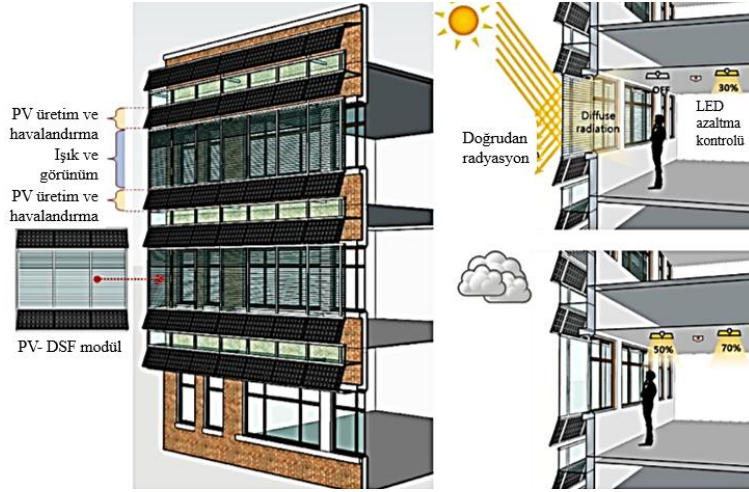


Şekil 2.20. Opak ve yarısaydam PV bütünleştirilmiş çift kabuklu PV cephe sistem kesiti (Ioannidis ve diğ., 2017)



Resim 2.14. Ofis Binası, Dijon, Fransa, tek kristalli silikon tabanlı PV panellerin çift kabuklu cephede kullanımı (ISSOL, 2016)

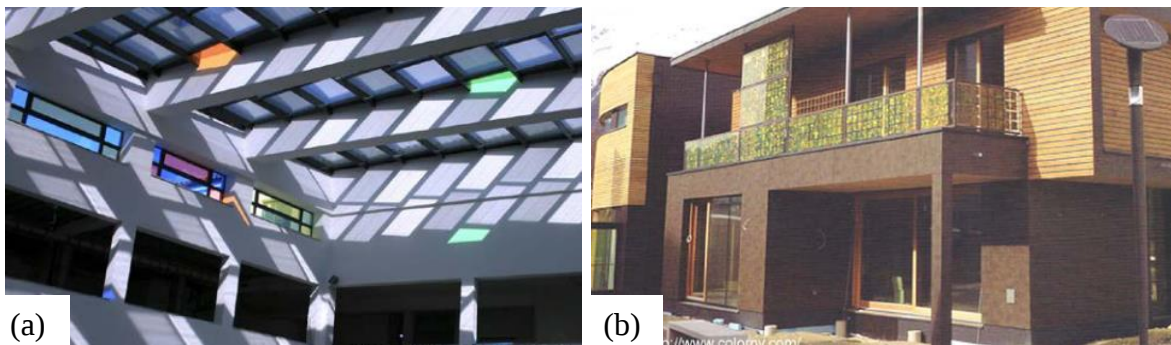
Çift kabuklu cephelerin boşluğuna uygulanan kontrollü gölgeleme elemanları ile birlikte PV sistemlerin dış kabuğa bütünleştirilmesi çift kabuklu PV cephelere verimliliği yüksek bir tasarım olanağı sağlamaktadır (Şekil 2.21) (Ioannidis ve diğ., 2017).



Şekil 2.21. Prefabrik hafif (lightweight) PV sistemli çift kabuklu cepheye uygulama ve kontrol örneği (Lee ve diğ., 2019)

Çatı, atrium ve balkon korkuluğunda PV bütünleşmesi

PV sistemler, yapının cephelerinde kullanıldığı gibi çatılarında da uygulanabilmektedir. Çatıda PV sistemlerin herhangi bir gölgelemeye maruz kalma olasılığı daha az olduğu için verimlilik açısından büyük avantaj sağlanmaktadır. Aynı zamanda PV modüllerin bakımı ve havalandırılması çatılarda daha kolay yapılabilmesinden dolayı yüksek performans alınabilmektedir. Ancak PV modüllerin çatıyla bütünleştirilmesi, kirin yüzeyde birikmesi açısından risk oluşturmaktadır. Ayrıca modül üzerinde yoğunlaşma durumu da gerçekleşebilmektedir. Tüm bu olumsuzluklar fotovoltaik sistemlerin verimini düşürmektedir. Atriumlarda ise PV modüller, opak PV yüzeylerin ayarlanmasıyla gün ışığının düzenlenmesi için kullanılabilir (Resim 2.15) (Dabbagh, 2015). Çatılarda olduğu gibi atriumlarda da, PV yüzeylerinin kirlenme riski bulunmaktadır. Bu durum, yarısaydam PV paneller açısından gün ışığının iç mekana girmesini olumsuz etkilemektedir.



Resim 2.15. Tavan penceresi (a) ve balkon parapetine bütünleşik PV kullanımı (b) (Basnet, 2012)

Cephe tasarım konseptlerine göre BIPV sistemlerin sınıflandırılması

Modernleşme ile birlikte binalarda, görsel kaliteyi arttırmak ve dış ortam koşullarına uyum sağlayabilmek için farklı cephe tasarımları ortaya çıkmıştır. Bu durum, teknolojinin gelişmesiyle PV sistemlerinin cephelere bütünleştirilmesine de yansımıştır. Cephelerde, farklı tasarım konseptleri bakımından PV sistem kullanımları aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir.

- Düşey PV giydirme cephe,
- Düşey strüktürel cam PV cephe,
- Düşey ve yatay dişli PV cephe,
- Akordeon PV cephe,
- Eğimli ve kademeli PV cephe sistemleri (Dabbagh, 2015).

Düşey PV cephe sistemleri (vertical PV façade)

Giydirme cephe ve düşey strüktürel cam PV cephelerin ikisi de düşey PV cephe sistemi olarak tanımlanabilmektedir. Bu sebeple, düşey PV cephe sistemleri içerisine düşey giydirme PV cephe ve düşey strüktürel cam PV cephe sistemleri dahil edilmiştir. Düşey PV cepheler, ekonomik olarak uygun olması ve hızlı yapımlarından dolayı en yaygın kullanılan PV cephe tasarım konseptidir. Bu cephe tipi, PV modüllerin bulunduğu yüzeyin açılı olmamasından dolayı güneş cephesi olarak kabul görmemektedir (Dabbagh, 2015). Aynı zamanda mimari açıdan da görsel olarak etkileyici ve çarpıcı görünüm elde edilemediği için bu tasarımlar düşük kaliteli olarak nitelendirilmektedirler.



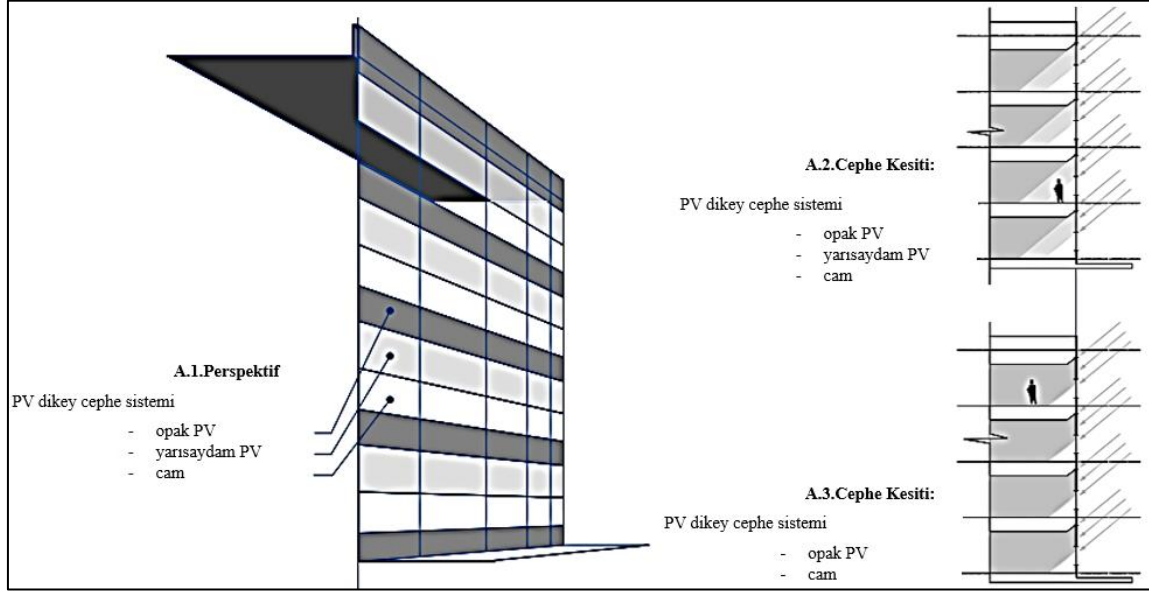
(a)



(b)

Resim 2.16. Genyo Binası (a) (<https://www.onyxsolar.com/>), Palais des Congrès, Montreal düşey PV cephe (b) (CHI, 2017)

Ancak cephenin monoton görünümünü kırmak ve tasarım kalitesini arttırmak için renkli LSC sistemler ve PV sistemler cephelere bütünleştirilebilmektedir (Resim 2.16). Bu sayede binada modern, estetik bir görünüm elde edilirken aynı zamanda enerji üretimi de gerçekleştirilmiş olmaktadır.



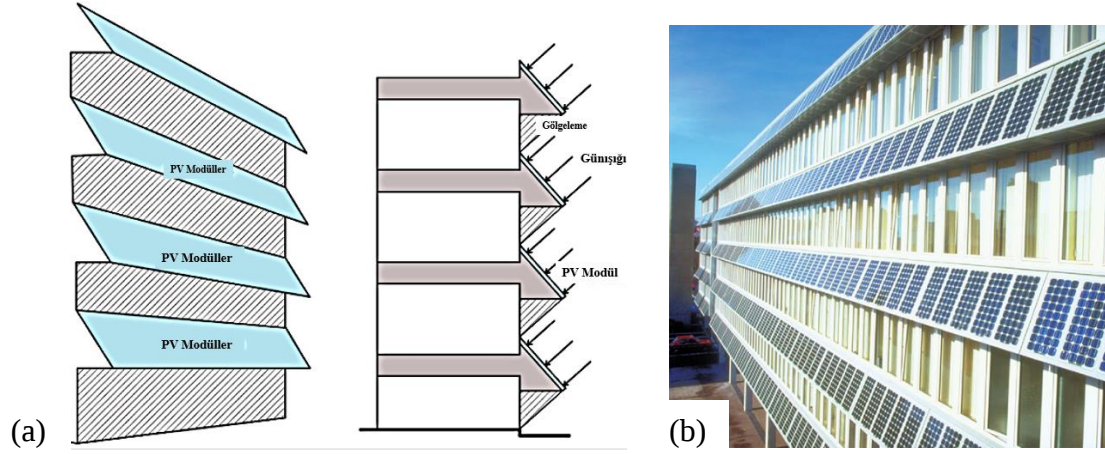
Şekil 2.22. Düşey PV cephe perspektif ve kesitler (Kiss, 1993)

Karakteristik olarak düşey cephe sistemleri, standart, ekonomik ve uygun konstrüksiyona sahiptir (Şekil 2.22) (Kiss, 1993). Ancak PV kenarlarında sızdırmazlıklar olabilmekte bu da PV verimlerini etkilemektedir (Dabbagh, 2015).

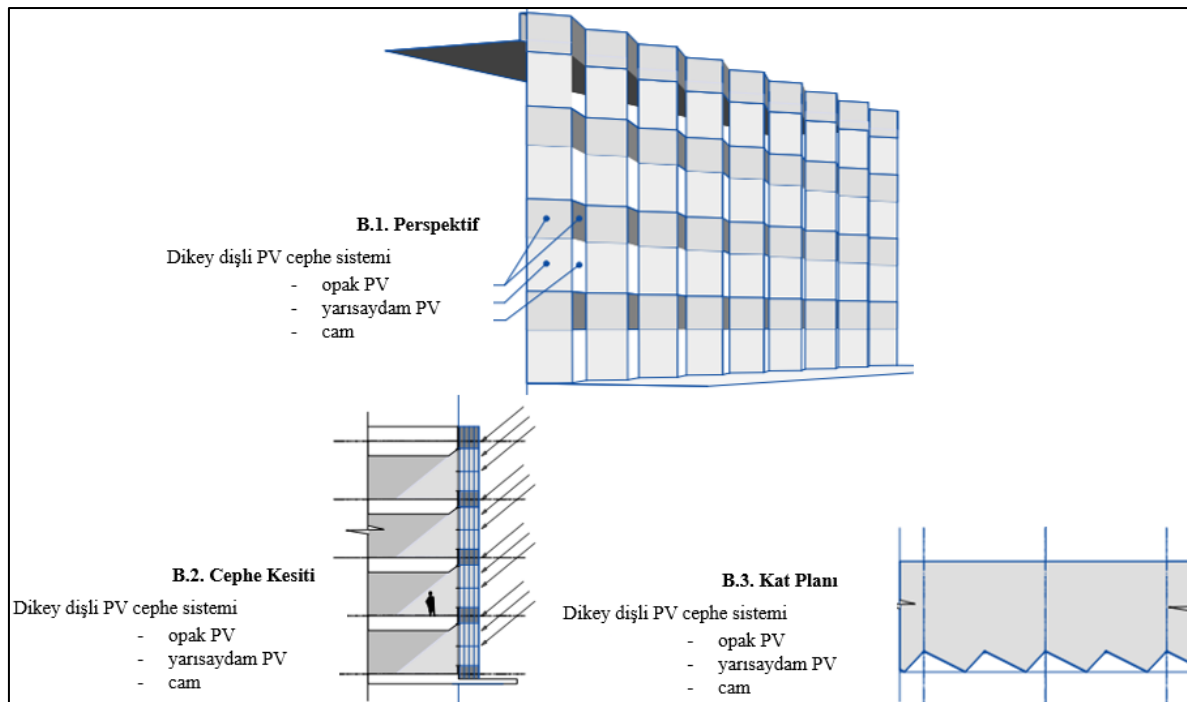
Düşey ve yatay dişli PV cephe sistemleri (saw- tooth façade)

Yatay olarak tasarlanan dişli PV cepheler, hem pasif gölgeleme elemanı gibi işlev görmekte hem de PV sistemlerden optimum enerji sağlanmaktadır. Ancak bu cephe sistemi sabit olarak tasarlandığında bina iç mekanından, dış mekanın algılanması açısından problem oluşturmaktadır. Yatay dişli PV cephe sistemlerinin asıl problemi, karmaşık strüktürden kaynaklı bakım ve temizliğin zor olmasıdır. Düşey dişli PV sistemlerde, bakım ve temizlikte büyük bir sorun oluşturmamakla birlikte bu sistemlerin güneş ışığına erişimi için doğu batı yönünde tasarlanması daha uygundur. Verimlilik açısından yatay dişli PV cephelerin güneşe, düşey dişli PV cephelerin ise batıya ve doğu yönüne konumlandırılması bina bütünlüğünün bozulmasına sebep olabilmektedir (Dabbagh, 2015). Bu sistemlerin bina

cephelerinde sadece bir cephe ile sınırlandırılmayıp bir bütün olarak kullanılabilmesi için iyi bir tasarım kurgusunun yapılması gerekmektedir (Şekil 2.23, 2.24).



Şekil 2.23. Yatay dişli PV cephe (a) (Basnet, 2012), Northumberland Binası, Newcastle upon Tyne (b) (Dabbagh, 2015)



Şekil 2.24. Düşey dişli PV cepheler perspektif, kesit ve plan çizimi (Kiss, 1993)

Resim 2.17 (b)'de bulunan Bronx Mahkeme Binası'nda PV sistemler bulunmamakla birlikte, dişli cephenin güneşe karşı yönlenmesiyle potansiyel PV kullanımı da sağlanmaktadır. Dişli PV cepheler tasarım açısından, düşey PV cephelerle kıyaslandığında binaya daha etkileyici bir görünüm kazandırmaktadır.

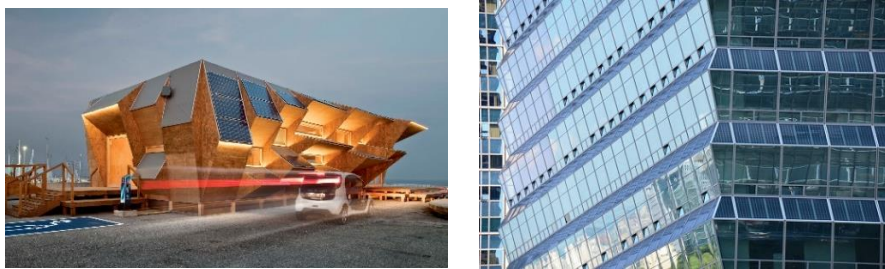


Resim 2.17. Brunel University London (a), Bronx Ceza Mahkemesi Kompleksi, New York (b) (Dabbagh, 2015)

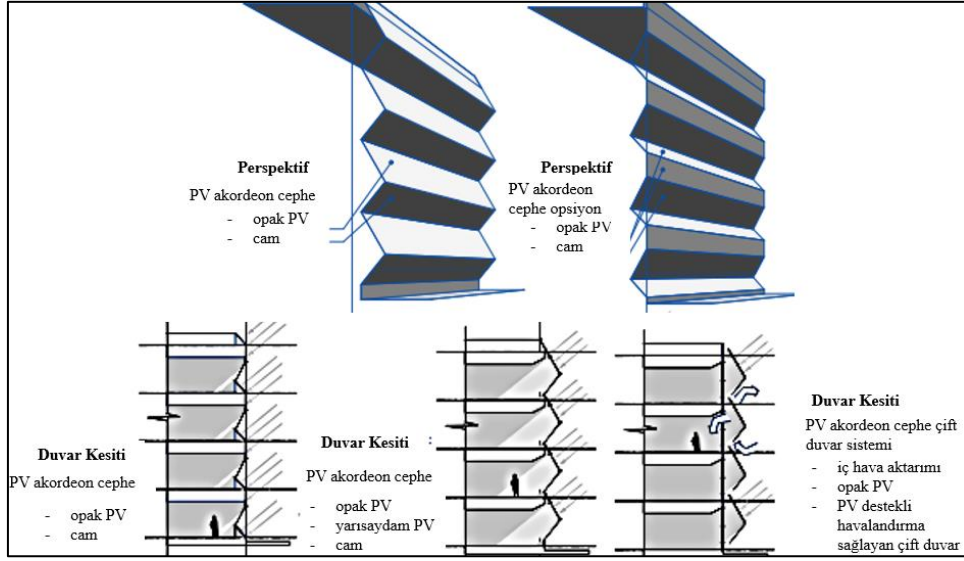
Bu cephe sistemlerinin karakteristik özelliği, çok az ek yapım maliyeti bulunmasıdır. Ayrıca etkili bir yönlendirme ile iyi bir güneş performansı sağlamakta ve birçok köşe penceresi oluşturmaktadır (Kiss, 1993). Bu sayede güneşle temas halindeki yüzeylerin alanları artmaktadır.

Akordeon PV cephe sistemleri

Akordeon PV cepheler, yüksek verimliliğe sahip güneş cepheleri olarak tanımlanabilmektedir. PV modüller, cephelere eklenerek değil bütünleştirilerek uygulanmaktadır. Aynı zamanda akordeon cepheler mimari açıdan yüksek niteliğe sahiptir. Cephelerin tasarımı dinamik ve görsel açıdan bir estetik oluşturmaktadır (Dabbagh, 2015). Ancak PV sistemlerin konumlandırmaları dış ve iç mekan arasında engel oluşturduğu için bazı durumlarda görsel konfor sağlanamamaktadır. PV modüller, güneşten optimum verimi elde edebilmek için açılı olarak tasarlanmaktadır (Resim 2.18, Şekil 2.25). Yatay dişli PV cephe sistemi ile kıyaslandığında daha yüksek güneş performansı göstermektedir. Akordeon cephelerdeki olumsuzluk, karmaşık bir strüktüre sahip olmalarından dolayı bakım, temizliklerinin zor olması ve yüksek yapım maliyetine sahip olmalarıdır (Dabbagh, 2015).



Resim 2.18. Akordeon PV cepheler Endesa Pavilion, Barcelona, FKI Tower, Seul Kore (Dabbagh, 2015)



Şekil 2.25. Akordeon PV cephe sistemleri (Kiss, 1993)

Eğimli ve kademeli (Sloped and stepped) PV cephe sistemleri

Kademeli PV cephe sistemleri, eğimli cephelerden daha karmaşık strüktüre sahip olmalarına rağmen ikisi de tek bir tip olarak düşünülebilmektedir. Eğimli cepheler, diğer cephelere kıyasla daha fazla yüzeye sahip olduğu için fotovoltaiklerin enerji üretimi daha fazladır. Sistemin güneşe karşı yönlendirilmesi gerektiğinden dolayı bu cepheler plan çözümlemelerinde pek ideal bir tasarım oluşturmamaktadır.

Cephelerle ilgili en büyük sorun, eğimin fazla olmasından dolayı yüksek güneş radyasyonunun binanın içine ulaşmasına sebep olmasıdır. Aynı zamanda mimari açıdan dışlı ve akordeon PV cephelere kıyasla tasarımda daha az etkin olmaktadır (Resim 2.19, Şekil 2.26). Bakım ve temizleme, bu cephelere göre daha kolay yapılmaktadır (Dabbagh, 2015).

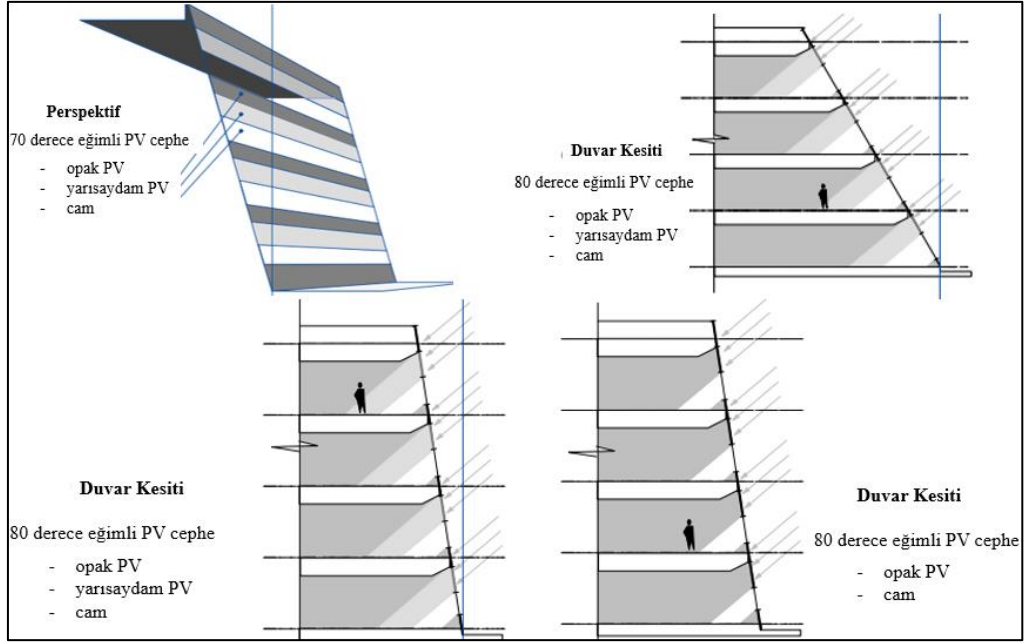


(a)



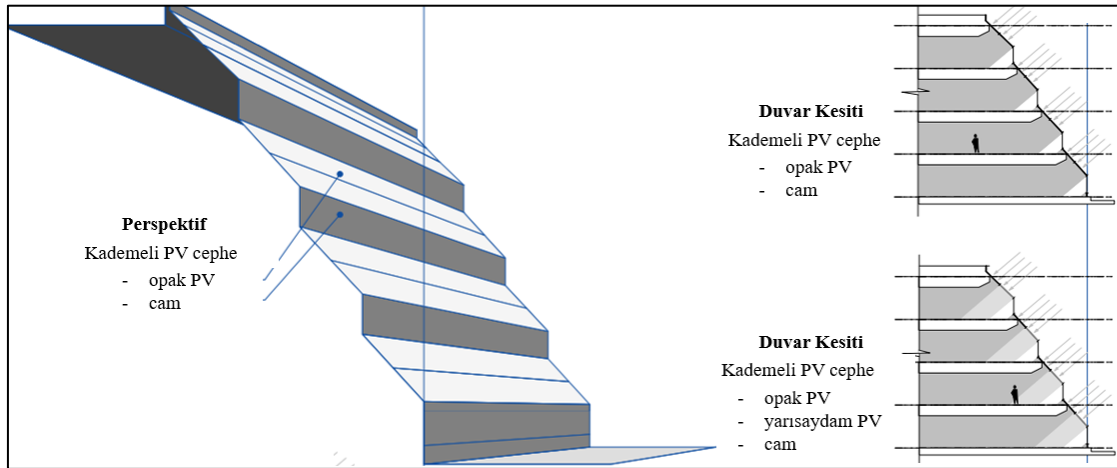
(b)

Resim 2.19. Solarfabrik Freiburg (a), Hahn and Kolb Headquarters, Ludwigsburg (b) eğimli PV cephe uygulaması (Basnet, 2012)



Şekil 2.26. Eğimli PV cephe sistemi perspektif ve kesitler (Kiss, 1993)

Eğimli PV cephe sistemlerin, opak ve yarı saydam yüzeylerine PV sistemler bütünleştirilebilmektedir. Bu cephe türlerinin karakteristik özelliği, yüksek PV verimliliğinin gerçekleştirilmesidir. Ancak bina ayak izi daha fazla (Kiss, 1993) olduğu için sürdürülebilir tasarım kriterleri bağlamında olumsuz özellik göstermektedir.

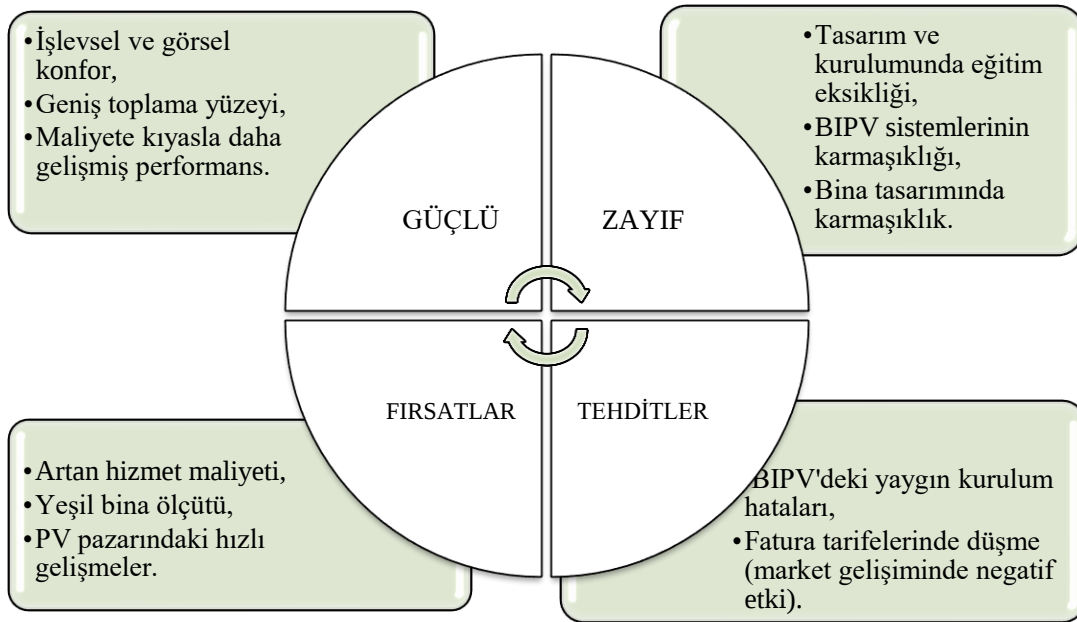


Şekil 2.27. Kademeli PV cephelerin perspektif ve kesitleri (Kiss, 1993)

Kademeli PV cepheler, eğimli PV cephelere göre daha fazla yüzey alanına sahiptir. Bu sayede, yüksek PV enerji verimliği sağlanırken ekolojik ayak izi eğimli cephelerle kıyaslandığında daha fazla olması kademeli PV cepheler için bir dezavantaj oluşturmaktadır.

BIPV sistemlerin SWOT analizi

Bu bölümde, BIPV sistemler genelinden anlatım yapılarak bu sistemlerin, güçlükleri (Strong), zayıflıkları (Weaknessess), fırsatları (Opportunity) ve tehditlerinin (Threat) incelemesi yapılmış ve genel değerlendirmelerde bulunulmuştur (Şekil 2.28).



Şekil 2.28. BIPV sistemlerinin SWOT analizi (Kumar, ve diğ., 2018)

Güçlü yönler

BIPV sistemler, modern altyapıya sahip olmasıyla mevcut durumda büyük potansiyel barındırdıkları için verimli uygulamalardır. Ayrıca BIPV sistemler ile görsel konfor üzerinde etkileyici bir görünüm elde edilebilmektedir. Sistemler, çevre ve iklim gibi koşullara uyum sağlayabilmektedir. Bunun sebebi BIPV modüllerinin esnek ve saydam bir yapıya sahip olmasıdır. Sistemlerin diğer bir güçlü yönü ise, yapı malzemesi ve yapım maliyeti açısından geleneksel sistemlerle kıyaslandığında maliyette tasarruf sağlamasıdır (Kumar, ve diğ., 2018).

Zayıf yönler

BIPV sistemler, diğer PV sistemler ile benzerlik göstermektedir. Ancak sistemlerin büyük dezavantajı, akademiden endüstriye kaliteli iş gücü eksikliğidir. Bina tasarımları ve genel

sistem tasarımları, sistem karışıklığına sebep olmaktadır. Diğer bir önemli durum, özellikle malzeme üretimleriyle ilgili standart ve politikaların daha fazla geliştirilmesi gerektiğidir (Kumar, ve diğ., 2018).

Fırsatlar

PV sistemler ve BIPV sistemler için küresel ölçekte elektrik fiyatlarının giderek artması, önemli bir fırsat oluşturmaktadır. Diğer bir fırsat, yapı sektöründe giderek artan yeşil bina kriterlerini karşılanabilmesi ve enerji verimliliklerinin sağlanmasıyla yapılardan kaynaklı salınımları azaltma potansiyeli göstermesidir (Kumar, ve diğ., 2018). Böylece güneş enerjisi kullanımının, gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler için büyük fırsat sağladığı görülmektedir.

Tehditler

BIPV sistemler ile ilgili tehditler genel olarak, bu teknolojilerin nasıl kullanılması gerektiğinin bilinmemesinden kaynaklanmaktadır. Politikalar ve standartlar çerçevesinde, elektrik ve inşaat alanı arasında çatışmalar meydana gelebilmektedir (Kumar, ve diğ., 2018). Genel kabul gören standartlar, bu teknolojik sistemler üzerinde tehlike oluşturabilmektedir. Pazarlamadaki düşüşler sonucu, tarifelerde indirimler oluşabilmektedir (Kumar, ve diğ., 2018).

PV- BIPV sistemlerin avantajları ve dezavantajları

PV sistemler üzerine yapılan senaryolardan, yakın gelecekte küresel ölçekte özellikle yoğun güneş ışığı alan gelişmekte olan ülkelerin enerji sektöründe önemli bir rol oynayacağı sonucuna ulaşılmıştır. Yapılan yatırımlar, devletlerin destek ve teşvikleri PV sistemlerin sektörlerde farkındalıklarını her geçen gün arttırmaktadır. Bu sistemlerin yaygınlaşması sonucunda, hem yapısal hem de çevresel ölçekte avantaj ve dezavantajlar ortaya çıkmıştır. Bu sistemlerin avantaj ve dezavantajları, Çizelge 2.7’de belirtilmiştir.

Çizelge 2.7. PV sistem avantaj ve dezavantajları (Kumar, ve diğ., 2018; Dabbagh, 2015; Basnet, 2012)

	Avantajları	Dezavantajları
1	Yenilenebilir enerji	Havadan ve iklimden etkilenme
2	Temiz ve doğayı kirletmeyen enerji	Güneş enerjisi geceleri elde edilemez
3	Kırsal bölgelerde uygulanabilen sistem	Verimli güç için geniş alanlara ihtiyaç var
4	Tarım yapılamayan alanlarda verim	Güneş panellerinin pahalı olması
5	Düşük maliyetle binlerce kWh enerji üretilebilme	Kış döneminde verimin düşmesi
6	Yakıt ücreti yok ve yakıt tedariki gerektirmez	Geleneksel sistemlere göre daha pahalı
7	Uzun ömürlü	Belirli bir kullanım süresi var
8	CO emisyonunu azaltma	Düşük verimlilik (%14-25)
9	İşlevsel ve görsel konfor	Bina tasarımında karmaşıklık
10	Sıfır enerjili bina hedefi	Tasarım ve kurulumunda eğitim eksikliği

PV sistemlerin yapıyla bütünleştirilmesiyle yapı kabuğu işlevi görmesi, enerji üretmesi, yapıya modern bir görünüm kazandırması gibi aynı anda birçok işlev barındırmasından dolayı her geçen gün kullanımları daha da artmaktadır. Sistemler avantajlarıyla birlikte bazı dezavantajları da barındırmaktadır (Çizelge 2.7). Ancak yakın gelecekte teknolojinin daha da gelişmesiyle bu dezavantajların büyük bir bölümünün giderileceği yapılmakta olan çalışmalar sonucu öngörülebilmektedir.

Mimari yapı kabuğu sistemleri ile PV sistemlerin bütünleştirilmesi

Mimarların enerji etkin bir yapı elde edebilmesi için temelde yapması gerekenler genel olarak, bütünleşik tasarım yöntemlerini dikkate alarak yapının enerji tüketimini en aza indirmek ve yapıda kullanılan enerjiyi yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılanmasını sağlamaktır. Bu doğrultuda bütünleşik tasarım yöntemleri ile tasarımın başından itibaren yapıya bütünleştirilen teknolojik sistemler ve geleneksel yöntemlerle yapıya sonradan bütünleştirilen teknolojik sistemlerin kıyaslaması yapıldığında, sonradan bütünleştirilen sistemler hem ek maliyete sebep olması hem de görsel konfor açısından yapının kalitesinin düşürmesine sebep olması gibi nedenlerden dolayı dezavantaj oluşturmaktadır. Bu dezavantajlar sonucunda, son yıllarda bütünleşik tasarım yöntemi ile sistemlerin yapıya bütünleştirilmesi üzerine yoğun çalışmalar gerçekleştirilmektedir.

Bu doğrultuda yapıda yüksek bir verimin elde edilebilmesi için öncelikle, mimari sistemler ile aktif güneş sistemlerinin bütünleşme düzeyleri analiz edilmesi gerekmektedir. Yapılan araştırmalar sonucunda, mimarlık ve PV sistem teknolojilerinin bütünleşme düzeyleri üzerine farklı yaklaşımların olduğu saptanmıştır. Genel olarak, PV sistemlerin bütünleşmesi Bachman (2003) tarafından; fiziksel, görsel, işlevsel ve dinamik bütünleşme olarak sınıflandırılmıştır. Tosun (2010) ise sistemlerin bütünleşme düzeylerini; ayrık, bitişik, bağlantılı, birbirine geçmiş ve birleşik olarak sınıflandırmıştır. Bu doğrultuda incelenen farklı bütünleşme düzeyleri analiz edilerek genel bir sistem bütünleştirmesi yapılmıştır (Çizelge 2.8).

Çizelge 2.8. PV sistemlerin yapı ile farklı bütünleşme düzey ve şekilleri (Bachman, 2003; Tosun, 2010)

Mimari Bütünleşme				
	Fiziksel	Görsel	İşlevsel	Dinamik
Özellikleri	Sistemler mimari alanda ortak bir alan ve hacmi paylaşırlar.	Sistem ile yapı görsel bir bütünleşme eylemini oluşturmaktadır.	Bina sistemi işlevsel yetkileri paylaştığında, işlevsel bütünleşme gerçekleşir.	Sistemler, binayı ayarlama ve düzenleme yeteneğiyle oluşmuştur.
				
Ayrık	-	-	-	-
Bitişik	X	X	X	-
Bağlantılı	X	X	X	X
Birbirine Geçmiş	X	X	X	X
Bileşik	X	X	X	-

Çizelge 2.8’de, iki farklı bütünleşme kavramının birleşimi yapılmıştır. Bu doğrultuda, öncelikle kavramlar açıklanmıştır. Bu kavramlar genel olarak, ayrık, bitişik, bağlantılı, birbirine geçmiş ve bileşik olarak sınıflandırılmaktadır (Çizelge 2.8). Ayrık bütünleşme; yapı ve sistemlerin birbirleri ile fiziksel bağlantıları olmamasına rağmen beraber çalışabilme durumudur. Bitişik bütünleşmede ise, sistemler yapının üzerine monte edilmektedirler. Sistemlerin ağırlığı, yapıya fazladan yük bindirmektedir. Ayrıca sistemler, yapı ile eş zamanlı olarak çalışabilmektedirler. Bağlantılı bütünleşmede, sistemler ve yapı birbirleri ile

kalıcı olarak bütünleşmektedir. Böylece sistemler ve yapı ortak bir şekilde çalışmaktadır. Birbirine geçmiş bütünleşmede, sistemler aynı mekanda eş zamanlı olarak çalışmaktadırlar. Bileşik bütünleşmede ise, sistemler birleşmiş olarak bütünleştikleri noktada birbirinin fiziksel formunu paylaşmaktadırlar (Tosun, 2010).

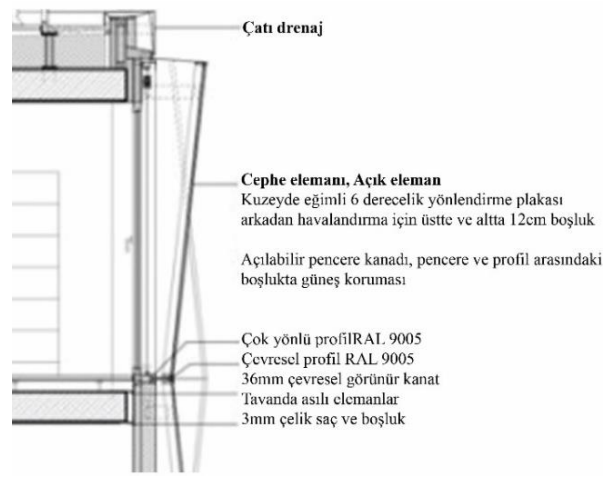
Bu doğrultuda, çalışmada öncelikle Bachman, (2003)'ün tasniflemiş olduğu mimaride PV sistemlerin bütünleşme düzeylerinin sınıflandırmaları açıklanmış ardından Tosun, (2010)'un bütünleşme düzeylerinin sınıflandırılması irdelenmiştir.

Fiziksel bütünleşme

Fiziksel bütünleşme, yapı sistemlerinin ortak bir alanda uyumlu bir şekilde birleşmesidir (Resim 2.20). Aynı zamanda tüm bina bileşenlerinde uygulanması gereken en önemli bütünleşmedir. (Bachman, 2003) CAD tabanlı programlar, fiziksel bütünleşmede oluşan problemleri belirleme üzerine tasarımcılara yardımcı olmaktadır. Fiziksel bütünleşmede, binaya bütünleştirilen PV sistemlerin bağlantılarının çözümlemeleri verimliliğin sağlanması açısından önemli konular arasındadır. Bu noktada ise sistemlerin yapı ile bütünleştirilmesinde farklı detay çözümlerinin iyi bir biçimde uygulanması gerekmektedir.



(a)



(b)

Resim 2.20. Blauhaus binası BIPV uygulaması Mönchengladbach, Almanya (a), BIPV teknik detay (b) (Strong, 2016)

Görsel bütünleşme

Görsel bütünleşmenin sistemlerde sağlanabilmesi için, sistem bileşenleri açığa çıkarılmalı ve bileşimsel yollar belirlenmelidir. Görsel bütünleşmede kullanılan kompozisyon teknikleri, sistemin bileşen parçalarının rengini, boyutunu, yerleşimini ve şeklinin modifikasyonlarını içermektedir. Aynı zamanda sistemlerin görsel bütünleşmesinde önemli fonksiyonların da gerçekleşmesi (akustik olarak sesi absorbe etmek gibi) sağlanmalıdır (Bachman, 2003).



Resim 2.21. Endesa Pavilion Barcelona BIPV uygulaması (Strong, 2016)

Görsel bütünleşme ile birlikte tasarımın estetik kaygısı teknolojik ihtiyaçlarla bütünleşmesine yardımcı olunmaktadır (Resim 2.21) (Tosun, 2010). Böylece, binada hem görsel açıdan modern bir görünüm oluşturulmakta hem de yenilikçi teknolojiler kullanılarak enerji üretimi sağlanmaktadır.

İşlevsel bütünleşme

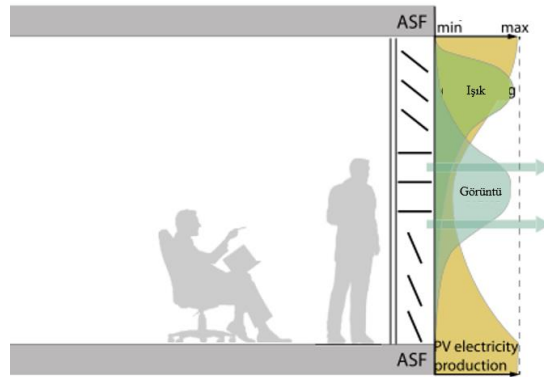
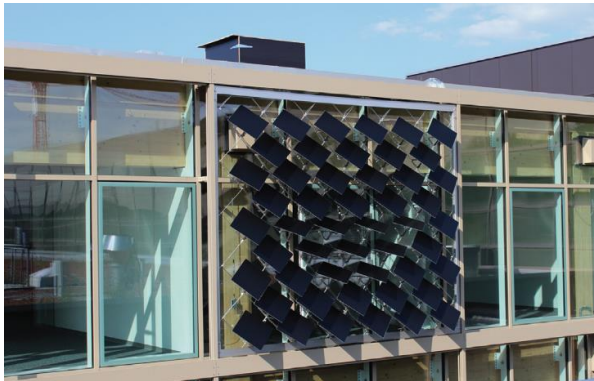
İşlevsel bütünleşmede, birden fazla ortak işlevler bina sistemleri ile eş zamanlı olarak gerçekleştirilmektedir. Örneğin, tavan penceresi olarak bütünleştirilen PV sistemler, enerji üretiminin yanı sıra tavanın bir parçasını oluştururken aynı zamanda güneş ışığının içeri doğrudan girmesine engel olarak güneş kırıcı görevi görmektedir (Resim 2.22).



Resim 2.22. BIPV sistemlerinin işlevsel bütünleşmesi, Cafe Ambiente, Almanya (Basnet, 2012)

Dinamik bütünleşme

Son yıllarda yapılardan beklenen performans seviyesinin artması sonucu çevre ile bütünleşen, çevreye karşı durmak yerine bütünlük gösteren yapılar tasarlanmasının gerekliliğinin (Tosun, 2010) ortaya çıkması ile birlikte dinamik bütünleşme kavramı gelişmiştir. Tasarım unsurlarının özgün kullanılması doğrultusunda değişen koşullara uygun olarak binayı ayarlama ve düzenleme yeteneği dinamik bütünleşmeyi oluşturmaktadır (Resim 2.23) (Bachman, 2003).



Resim 2.23. PV sistemlerde dinamik bütünleşme, A/S Group at ETH Zürich (Jayathissa ve diğ., 2016)

Sistemlerin mimarideki farklı bütünleşmelerine ek olarak, sistem performansına etki eden parametrelerin de açıklanması gerekmektedir. Bu doğrultuda mimari tasarım ile PV sistemlerin bütünleştirilmesinde, sistemlerin performansını etkileyen parametrelerin sıralaması genel olarak; PV panellerin yönlenmesi, binanın formu, PV panellerin eğim açısı ve PV panellerin uygulanma biçimleri şeklindedir (Çizelge 2.9). Sistemlerden yüksek verim alınabilmesi için, tasarımların bu parametreler dikkate alınarak yapılması gerekmektedir.

Mimari tasarımda PV sistem performansına etki eden parametrelerin incelenmesi ile (Çizelge 2.9) bina üzerinde sistemlerden elde edilen enerjinin hangi parametreler doğrultusunda en yüksek verimde tutulacağı ifade edilmiştir.

Bütünleşik tasarım yöntemleri kullanılarak PV sistemlerin mimari ile bütünleştirilmesi (BIPV) sonucu PV performansının arttığı dolayısıyla da binanın enerji performansının arttığı ilerleyen bölümlerde de ifade edilmiştir. PV panelleri, bilimsel çalışmalar dahilinde bir yapı elemanı olarak değerlendirmek ve sistem etkinliğini arttıracak önlemleri almak bütünleşik bir mühendislik konusu olmasının yanı sıra, mimarların da bu sistemlerin uygulanma biçimleri ve teknikleri hakkında genel bilgilere sahip olması gerekmektedir (Çelebi, 2002).

Bu doğrultuda, mimari tasarımda yönlenmeye göre PV sistemlerden en fazla verim alınan bölge, çatı ve güney cephesi olmaktadır. Aynı şekilde bina formunun güneşe doğru eğimli olması düz bir cepheye oranla PV sistemler üzerinde daha fazla verim elde edilmesini sağlamaktadır. Eğim açısına göre performans değerlendirmesi yapıldığında, binanın konumu PV sistem performansı üzerinde etkili olmaktadır. Bu doğrultuda, konuma göre uygun açının belirlenmesi sistem performansı yönünden gereklidir. PV performansına etki eden önemli bir diğer parametre ise binalarda PV sistemlerin mimariye uygulanmasına göre tasarımların oluşturulmasıdır. Bina ile bütünleşik olarak tasarım aşamasında uygulanan PV sistemlerin (BIPV) enerji performansı, binaya sonradan eklenen sistemlere (BAPV) göre daha fazla olmaktadır. Aynı şekilde BIPV sistemlerdeki PV performansları da kendi içerisinde uygulanma yöntemlerine göre farklılıklar göstermektedir. Örneğin, tasarım aşamasında bütünleştirilen yatay dişli PV cephe sistemleri düşey PV cephe sistemlerine göre daha yüksek enerji performansı göstermektedir. Bunun sonucunda, mimaride PV sistemlerin bütünleşme düzeylerindeki farklılıklardan kaynaklı sistemlerin enerji performanslarında artmalar veya azalmalar meydana gelmektedir.

Çizelge 2.9. Mimari tasarımın etkisine göre PV sistemlerin performans analizi

MİMARİ TASARIM			PERFORMANS
PV PERFORMANSI	YÖNLENMEYE GÖRE		
	KUZEY		Çok düşük verim
	GÜNEY	Uygun açı ile	Maksimum verim
	GÜNEYDOĞU	Uygun açı ile	Yüksek verim
	GÜNEYBATI	Uygun açı ile	Yüksek verim
	DOĞU		Düşük verim
	BATI	Uygun açı ile	Yüksek verim
	ÇATI	Uygun açı ile	Maksimum verim
	BİNA FORMUNA GÖRE		
	CEPHE YÜZEYLERİ – ÇATI YÜZEYLERİ	Eğim var (Konumuna göre - Türkiye için 20° - 30°) Dezavantaj: Temizlik-bakım-onarım zorluğu	Yüksek verim
		Eğim yok	Düşük verim
	UYGULAMA TİPİNE GÖRE		
	BAPV (Binaya Eklenen PV Sistemler)	Uygun hesaplamaların yapılması ile Dezavantaj: Görsel uyumsuzluk	Yüksek verim
	BIPV (Binayla Bütünleştirilen PV Sistemler)	BÜTÜNLEŞME TİPİNE GÖRE	
		Gölgeleme Elemanı PV	Yüksek verim
		Soğuk Cephe PV	Yüksek verim
		Sıcak Cephe PV	Orta verim
		Çift Kabuklu Cephe PV	Yüksek verim
		Çatı, Atrium Bütünleşik PV	Yüksek verim
		TASARIM KONSEPTİNE GÖRE	
		Düsey PV Giydirme	Orta verim
		Düsey ve Yatay Dişli PV	Yüksek verim
		Akordeon PV	Yüksek verim
		Eğimli ve Kademeli PV (Uygun yönlenme ve eğim açısı ile)	Maksimum verim

2.3.2. Güneş Kolektörleri

Binalarda güneş kolektörler uygulamaları, genel olarak suyu ısıtma gibi ihtiyaçların karşılamada kullanılmaktadır. Sistemlere aktarılan soğuk suların ısıtılmasına yardımcı olan kolektörler, gelen ışınların biriktirilmesi sonucu kolektörlerde yoğunlaşması yöntemiyle çalışan sistemlerdir (Resim 2.24).

Güneş kolektörleri, yaklaşık olarak 120 yıllık bir geçmişe sahiptir (Buker ve Riffat, 2015). Bu sistemler her geçen gün gelişen teknoloji, yenilikçi tasarım ve yenilenen malzemeler ile daha verimli ve çeşitli hale gelmektedir. Özellikle de, toplu üretim ve sürekli artan talep bu teknolojinin kurulum maliyetini büyük ölçüde düşürmeye devam etmektedir. Bu durumlar, güneş enerjisi teknolojilerini büyüyen bir pazar potansiyeli ile ekonomik açıdan uygun hale getirmektedir (Buker ve Riffat, 2015).

Sistemlerdeki olumsuzluk genel olarak, soğuk günlerde meydana gelen don durumunun oluşmasıdır. Bu olumsuzluk, iyi yalıtılmış kolektörler, borular ve depolama birimleri ile çözümlenebilmektedir (Demircan ve Gültekin, 2017). Güneş kolektörlerinin performansı, alınan enerji miktarının, üzerine aktarılan enerji miktarına oranı şeklinde tanımlanmaktadır (Demircan ve Gültekin, 2017).



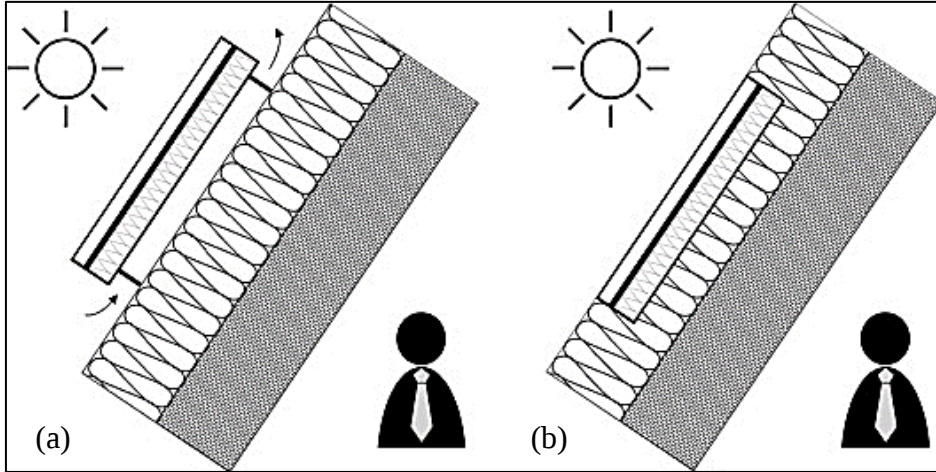
(a)



(b)

Resim 2.24. Yapıya sonradan uygulanan (a) ve tasarım aşamasında bütünleştirilen (b) kolektörler (Basnet, 2012)

Sistemlerin çalışma prensibine göre güneş kolektörleri; düzlemsel güneş kolektörleri, vakum borulu güneş kolektörleri ve yoğunlaştırıcı güneş kolektörleri olmak üzere üçe ayrılmaktadır (Demircan ve Gültekin, 2017). Bina ölçeğinde genellikle, düzlemsel güneş kolektörleri yoğun olarak kullanılmaktadır. Düzlemsel güneş kolektörlerinde, taşıma yoluyla yüksek miktarda ısı kayıpları ortaya çıkmakta iken vakum borulu güneş kolektörlerinde dıştaki saydam cam boruyla içteki boru arasında vakum oluşturularak taşımadan kaynaklı kayıpların azaltılması yoluyla daha yüksek verim elde edilebilmektedir (Demircan ve Gültekin, 2017).



Şekil 2.29. Alttan havalandırmalı (a), havalandırmasız (b) güneş kolektörü (Maurer ve diğ., 2017)

Binayla bütünleşik güneş kolektörü (Building integrated solar thermal- BIST)

Binayla bütünleşik güneş kolektörleri (BIST), bir yapı kabuğu elemanı (duvar, pencere, gölgeleme, çatı) görevi görerek yapıya bütünleştirilen çok fonksiyonlu yapı elemanı olarak tanımlanabilmektedir (Qadourah, 2020). Mimari tasarım yöntemleriyle, farklı oluşumlar sağlamasından dolayı geleneksel güneş kolektörlerinden farklılaşmaktadır. Binada; ısıtma, soğutma, sıcak su ihtiyacı gibi esnek işlevlere sahip olabilmektedir. Aynı zamanda, yapıların yalıtımını ve genel görünüm kalitesini yükseltmektedir (Qadourah, 2020).

Güneş kolektörleri, tasarım aşamasında tasarlanıp binaya bütünleştirilebilir veya yapım sonrası mevcut yapıya eklenebilmektedirler. Kurulumu ve yapı kabuğuna bütünleştirilmesi ile kabuk görevi üstlenmesi yönüyle BIPV sistemler ile benzerlik göstermelerine rağmen bu sistemler enerji üretememekte, güneşten gelen radyasyonu sadece iç mekânı veya suyu ısıtmak için kullanılmaktadırlar (Qadourah, 2020). Bu sistemler, binaların çatısında uygulanabildiği gibi cephelere bütünleştirilerek veya eklenerek de uygulanabilmektedir.

Bina cephesine bütünleştirilen güneş kolektörleri, binanın genel görünüm kalitesini yükseltmeleri ve modern bir görünüm oluşturmalarından dolayı giderek daha popüler hale gelmektedir (Resim 2.25). Aynı zamanda cepheye bütünleştirilen kolektörlerin avantajlarından biri, dikey kurulumlarından kaynaklı yıl boyunca gün ışığını eşit olarak alabilmeleridir (Basnet, 2012). Ayrıca çatıda yeterli alanın olmadığı veya uygun yönlendirmenin yapılamadığı durumlar için büyük avantaj sağlamaktadır. Özellikle

cephelerde uygulamalar, çatıda yüzey alanının az olduğu yüksek katlı binalar için uygundur (Basnet, 2012).



Resim 2.25. Bina cephesine bütünleştirilen güneş kolektörleri (Buker ve Riffat, 2015)

Binanın görünümünü etkileyen tüm kolektör sistemlerinin özelliklerinde esneklik bulunmalıdır. Esneklikler genel olarak, kolektör malzemesini ve yüzey dokusunu, vakumlamasını, rengini, şeklini, boyutunu ve tipini içermektedir (Qadourah, 2020).

BIST teknolojilerinin avantajları genel olarak, binanın ısı izolasyonunu artırma, atmosferik koşullara karşı koruma, cephe için strüktürel bir tasarım elemanı olma, bina bileşeni olarak kullanılarak maliyetten kazanç sağlama, geleneksel cepheyi geliştirerek modern görünüm elde etme şeklinde sıralanabilmektedir (Basnet, 2012; Qadourah, 2020).

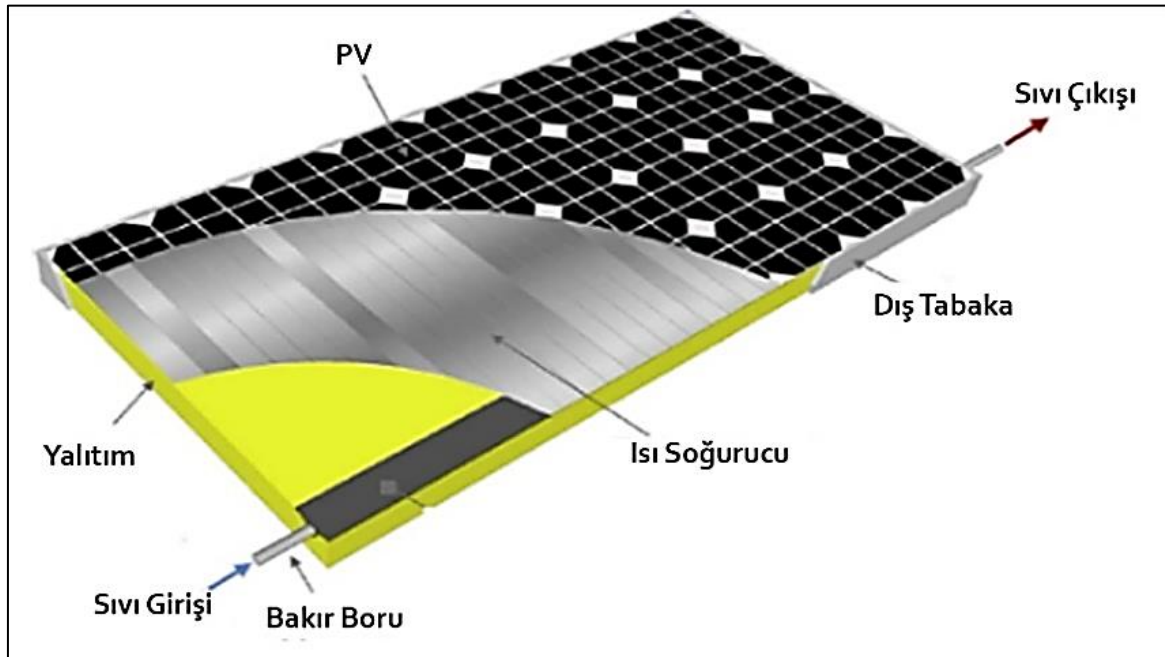


Resim 2.26. Çatıda kullanılan eğimli güneş kolektör örneği, Plan-les-Quates (a), Switzerland, çatıya sonradan eklenen güneş kolektörü (b) (Basnet, 2012)

Güneş kolektörleri, mevcut güneş ışığından maksimum verim alabilmek için binaların teras çatılarına uygun eğim açısıyla konumlandırılmaktadır. Ancak bu durum (Resim 2.26 (b)) estetik açıdan bina görünümünü olumsuz yönde etkilenmesine sebep olmaktadır. Bu sebeple, (Resim 2.26 (a))’daki Plan les Quates’da olduğu gibi tasarım aşamasında bu sistemlerin binaya bütünleştirilmesi estetik açıdan bina değerinin artmasına katkı sağlayabilmektedir.

Fotovoltaik termal (PV/T) sistemler

Fotovoltaik termal sistem ya da PV/T sistemler aynı anda ısı ve elektriği üretmek için bütünleşik bir şekilde kojenerasyon olarak çalışan sistemlerdir (Şekil 2.30). PV modüller yaklaşık %10-17 oranında güneş radyasyonunu enerjiye dönüştürürken, %40-50 oranındaki radyasyondan kaynaklı ısı PV hücrelerde ciddi zararlara yol açabilmektedir. (Chauhan ve diğ., 2018) Bu durumu önlemek için sistem içerisinde, PV hücrelerinin aşırı ısınması engellenerek hücreler için uygun sıcaklık sağlanabilmekte ve daha yüksek verim elde edilebilmektedir.



Şekil 2.30. PV/T sistem birleşimleri (Chauhan ve diğ., 2018)

PV/T sistemler, tek bir sistem üzerinden ısı ve enerji üreten kojenerasyon sistemler için ideal bir örnek olmaktadır (Resim 2.27). Aynı zamanda bu sistemler birim alan gereksinimini ve sistem maliyetini en aza indirmektedir. PV/T sistemlerin enerji ve sera gazı salınımı açısından geri ödeme periyodu 1 ila 4 yıl arasında değişmektedir (Chauhan ve diğ., 2018).



Resim 2.27. PV bileşenli termal sistem PV/T, Fiat Research Center bina cephesi (Basnet, 2012)

PV/T sistem tipleri genel olarak:

- Hava kaynaklı PV/T
- Sıvı kaynaklı PV/T
- Faz Değişirme Malzemesi kaynaklı PV/T (Phase Change Material- PCM)
- Isı borusu kaynaklı PV/T sistemleri (Chauhan, ve diğ., 2018) şeklinde sınıflandırılabilir.

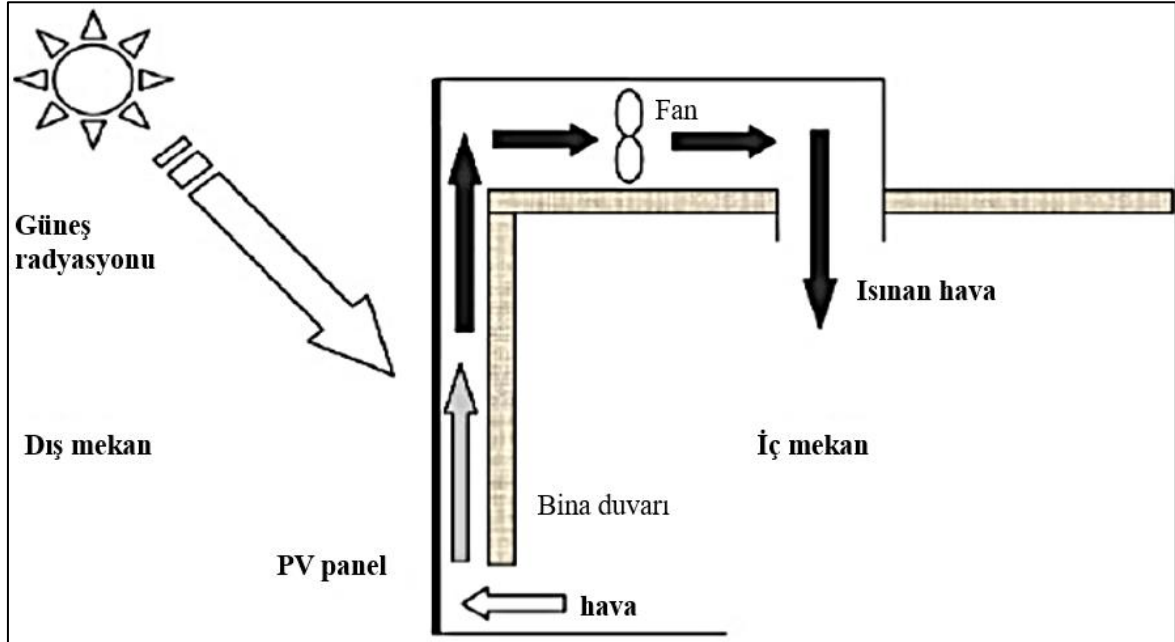
Binayla bütünleşik fotovoltaiik termal (BIPV/T) sistemler

Fotovoltaiik termal hibrit sistemler (PV/T) radyant güneş enerjisini hem elektrik hem de ısı enerjisine aynı anda dönüştürebilen sistem olarak ifade edilmektedir. Bu sistemler, fotovoltaiik etki nedeniyle enerjinin elektriğe dönüştürülmesini sağlayan bir fotovoltaiik (PV) panelden ve aynı zamanda bir soğurma işlemi görevi gören ısı sistemden meydana gelmektedir.

PV/T sistemler, mekan ısıtması, su ısıtması gibi binanın elektriksel ve ısı performansını iyileştirmek için binaya eklenmektedir. Ancak BIPV/T sistemleri ise, PV ya da güneş kolektörlerine kıyasla hem daha büyük verimlilikte hem de daha az alan kaplamakta olup aynı zamanda daha az bakım gerektirmektedirler. (Diwania ve diğ., 2020)

BIPV/T sistemler, BIPV sistemlerinin cephelerinde PV panelinin üzerine hava boşluğu bırakılıp monte edilebildiği gibi binanın bir parçası olarak yapılandırılmaları da mümkündür (Şekil 2.31) (Diwania, ve diğ., 2020). Kaliteli tasarımlar oluşturmak için birçok potansiyele

sahip olan BIPV/T sistemler ile ısı enerjisinin geri kazanımı sağlamalarından dolayı NZEB için büyük bir avantaj oluşturmaktadır (18. örnek).



Şekil 2.31. BIPV/T sistemi şematik gösterim (Debbarma, ve diğ., 2017)

BIPV/T sistemler ısı sistemin bütünleştiriliş türlerine göre de sınıflandırılabilir. Bu sınıflandırma PV/T sistemlerde olduğu gibi hava soğutmalı, sıvı soğutmalı, faz değiştiren malzeme temelli ve ısı borusu temelli sistemler olarak da ayrılabilir (Chauhan, ve diğ., 2018).

Isıl güneş kolektörleri, güneş radyasyonunu cihazlar ve akan su yardımıyla ısı enerjisiye dönüştürmektedir. Daha sonrasında ise bu ısı enerjisi iç ortamı, suyu ısıtma ya da soğutucuyu çalıştırma gibi çeşitli amaçlar için kullanılabilir. Binayla bütünleşik güneş kolektörler, hem cepheye hem de çatıya uygulanabilmekte ve aynı zamanda tip ve boyutlara bağlı olarak yüksek estetik görünüşleri ile mimari bir konsept olarak sisteme bütünleştirilebilmektedir (Buker ve Riffat, 2015).

Aynı zamanda BIPV/T sistemler diğer PV sistemleri ile kıyaslandığında daha kalın katmana sahip olmakta ve daha fazla maliyet oluşturmaktadır. Bu nedenle bütünleşik tasarım yöntemleri dikkate alınarak detaylı ekonomik analiz ve yaşam döngüsü maliyet analizlerinde BIPVT sistemlerin binaya bütünleşme hesaplanmalarının yapılması gerekmektedir (Debbarma, ve diğ., 2017).

2.4. Ulusal ve Uluslararası Mevzuatlar

Binalara bütünleştirilen aktif güneş sistemleri üzerine, bölgesel bazda ve uluslararası bir çok standart ve yönetmelikler bulunmaktadır. Türkiye'nin AB hedefleri doğrultusunda, son yıllarda uluslararası standartlara ve yönetmeliklere uyumu için AB ile entegre olarak birçok yeni düzenlemeler gerçekleştirilmektedir. Bu doğrultuda konunun kapsamlı anlaşılabilmesi için öncelikle uluslararası mevzuatlar daha sonra ulusal mevzuatlar incelenecektir.

2.4.1. Uluslararası mevzuatlar

Aktif güneş sistemlerinin yapılarda kullanımını hızlandırabilecek temel ve etkili faktörlerden biri de uluslararası standartlardır. Bu sebeple uluslararası standartların amaç ve gereklilikleri kapsamlı bir şekilde analiz edilmesi gerekmektedir. Bu bağlamda öncelikle PV sistemlerin yapıya bütünleştirilmesine yönelik standartlar ve yönetmelikler incelenmiştir.

PV sistemlerin binaya bütünleştirilmesi ile ilgili iki farklı standart ve yönetmelik şemaları bulunmaktadır. İlki, binanın gereksinimlerinden türetilmiş olup genellikle ulusal bina yönetmeliklerinde ve uluslararası ISO (International Organization for Standardization), CEN (European Committee for Standardization) standartlarında düzenlenmiştir. Diğer bir çalışma ise, elektrik enerjisinden uluslararası IEC (International Electrotechnical Commission) standartlarına bağlı olmakta ancak tam olarak uyumlu olmayan yerel düzenlemeler bulundurmaktadır. (SUPSI, 2019; Mace ve diğ., 2019)

BIPV sistemler, birçok resmi Avrupa ve uluslararası standartlarda ve ulusal bina kodlarında tanımlanmıştır. Elektrikli bir cihazın ve bir bina bileşeninin özelliklerini eşzamanlı olarak birleştirme konusundaki işlevleri göz önüne alındığında, BIPV sistemlerinin yaygın yönetmelikler dahil olmak üzere bina ile ilgili kod ve standartlara ve aynı zamanda da elektroteknik gerekliliklere uygun olması gerekmektedir (Mace ve diğ., 2019).

Nihai uygulama alanının bir fonksiyonu olarak çatı veya cephede kullanılan BIPV sistemlerinin gereksinimlerinde farklılıklar bulunmaktadır. Aynı zamanda bazı uygulamalarda ülkeler arasında hatta Avrupa Birliği içerisinde bile önemli farklılıklar

bulunabilmektedir. Bununla birlikte, birçok ülke Avrupa (EN) düzeyinde tanımlanan standartları ve kuralları kendi ulusal düzenlemelerine aktarmaktadır. (Mace ve diğ., 2019)

Bölümün sonraki kısımlarında, uluslararası (ISO ve IEC) ve bölgesel (EN) standartlara göre PV sistemlerinin binalarda kullanımı üzerine temel bilgiler aktarılmıştır.

EN 50583 standardı: binalarda fotovoltaiikler

EN 50583 standardı, yapı malzemesi olarak kullanılan binalarla bütünleşik fotovoltaiik sistemler (BIPV) için oluşturulmuştur. EN 50583 standardında genel olarak, BIPV sistemlerinin tanımı, fotovoltaiik modüller, sistemlerin montajı ve elektrik sistemleri ele alınmış olup, Bölüm 1- BIPV modülleri ve Bölüm 2- BIPV sistemlerini içeren iki bölümden oluşmaktadır (SUPSI, 2019). EN 50583 standardında belirtilen BIPV sistemlerinin beş montaj kategorisinden birinde, yapı kabuğuna monte edilen PV paneller hem elektrik bileşeni hem de bir yapı ürünü olarak değerlendirilmektedir (Erban, 2016). Belirtilen beş farklı BIPV montaj kategorisi, EN 50583-2' de açıklanmıştır.

EN 50583-1 (BIPV modüller)

PV modüller, Avrupa Yapı Ürünleri Yönetmeliği CPR 305 / 2011'de tanımlandığı gibi bir işlev sağlayan yapı ürünü oluşturuyor ise, fotovoltaiik modüllerin binayla bütünleştiği kabul edilmektedir (Mace ve diğ., 2019). Bu nedenle BIPV modüller, binanın bütüncül bir işleve sahip olması için ön koşuldur. Bütünleşik PV modülünün yapıdan çıkarılması durumunda (yapısal olarak bağlı modüller durumunda, sökme bitişik yapı ürününü içerir), PV modüllerinin uygun bir yapı ürünü ile değiştirilmesi gerekmektedir (Mace ve diğ., 2019).

BIPV sistemlerinin EN 50583-1 standardına göre gerçekleştirdiği işlevler aşağıda belirtilmiştir;

- Yapıya mekanik sertlik veya yapısal bütünlük kazandırma,
- Atmosferik olaylardan korunması: yağmur, kar, rüzgar, dolu,
- Enerji ekonomisi, (örneğin gölgeleme, gün ışığı, ısı yalıtımı vb.),
- Yangından korunma,
- Gürültüyü engelleme,

- İç ve dış ortamlar arasında ayrım sağlama,
- Güvenlik, barınma (Mace ve diğ., 2019).

EN 50583-2 (BIPV sistemleri)

Fotovoltaik sistemler, kullandıkları PV modüllerinin EN 50583-1'de tanımlanan BIPV modülleri kriterlerini karşılıyorsa ve Avrupa Yapı Ürünleri Yönetmeliği CPR 305 / 2011'de tanımlandığı gibi işlev sağlayan bir yapı ürünü oluşturuyorsa, bu sistemlerin binayla bütünleştiği kabul edilmektedir (Mace ve diğ., 2019).

Standarttaki beş BIPV montaj kategorisi aşağıda belirtilmiştir;

- A: Eğimli (0 ° ila 75 °), çatıyla bütünleşik, bina içinden erişilemez,
- B: Eğimli (0 ° ila 75 °), çatıyla bütünleşik, binanın içinden erişilebilir,
- C: Binanın içinden erişilemeyen eğimli olmayan (75 ° - 90 °) montaj,
- D: Binanın içinden erişilebilen eğimli olmayan (75 ° ila 90 °) montaj,
- E: Dışarıdan bütünleşik, erişilebilir ancak bina içinden erişilemez (Mace ve diğ., 2019).

BIPV modülleri ve sistemleri, yapı bileşenleri olduğundan ve elektrikli bileşenler içerdiğinden dolayı, Avrupa Yapı Ürünleri Yönetmeliği- CPR (European Construction Product Regulation) 305/2011, Düşük Voltaj Direktifi- LVD (Low Voltage Directive) 2014/35 / EU ve Elektromanyetik Uyumluluk Direktifi- ECD (Electromagnetic Compatibility Directive) 2014/30 / EU'ya tabi olmak zorundadırlar (SUPSI, 2019).

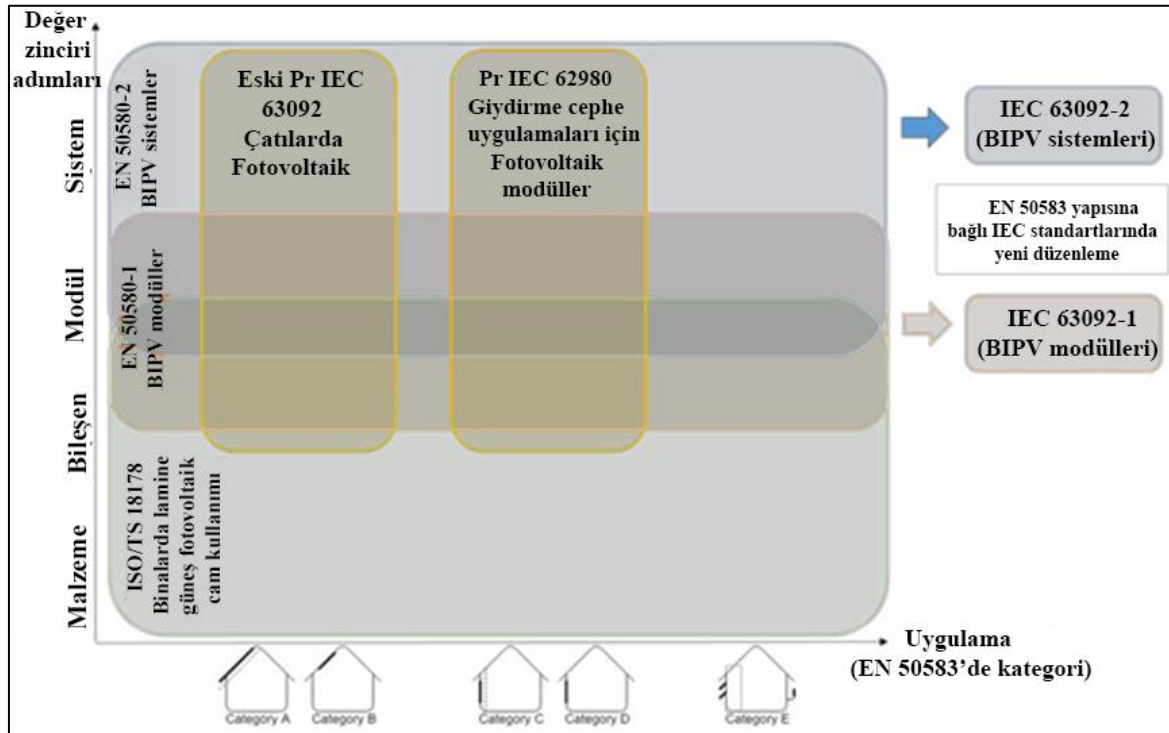
ISO/ TS 18178: Binada cam - Binalarda kullanım için lamine solar fotovoltaik cam

ISO/ TS 18178, binalarda kullanım için lamine solar fotovoltaik (PV) camın görünüm, dayanıklılık ve güvenlik gereksinimlerinin yanı sıra test yöntemlerini ve atamasını belirtmektedir (ISO, 2018). Bu belge için, binayla bütünleşik fotovoltaik sistem (BIPV) ve binaya eklenen fotovoltaik sistem (BAPV) uygulamalarına başvurulabilmektedir.

Bu standartta genel olarak, çeşitli cam türlerinin (yüzer cam, desenli cam vb.), güneş pillerinin (kristal silikon güneş pilleri, ince film güneş pilleri vb.) ve ara katmanların (polivinil bütiral, etilen vinil asetat vb.) kullanımına izin verilmektedir (SUPSI, 2019).

Pr IEC PT 63092 Standardı: Binalarda Fotovoltaik

IEC PT 63092, mevcut durumda Bölüm 1 ve 2'nin CD'lerinde ulusal komitelere yanıt verilebilmektedir. EN 50583 aynı zamanda, iki bölümden oluşan IEC standardı için başlangıç olarak ele alınmıştır: Bölüm 1: Bütünleşik fotovoltaik modüllerin oluşturulması ve Bölüm 2: Bütünleşik fotovoltaik sistemlerin oluşturulması. Avrupa Birliği direktiflerine ve düzenlemelerine yapılan atıflar, daha genel bir dille değiştirilmiş ve EN standartlarına yapılan atıflar, mümkün olan her yerde uluslararası standartlara yapılan atıflar ile değiştirilmiştir. (SUPSI, 2019) Böylece, AB ölçeğinden daha geniş, küresel ölçekte bir standart oluşturma hedeflenmiştir.



Şekil 2.32. Planlanan yeni IEC 63092-1 ve IEC 63092-2'nin arka planı olarak geçmiş ve mevcut BIPV standartlarının kapsamı (SUPSI, 2019)

Fotovoltaiklerin binalarda kullanımının gruplandırılması, malzeme, bileşen, modül ve sistem olarak yapılmış ve bunların EN 50583 standardına göre uygulama yöntemleri beş farklı şekilde sınıflandırılmıştır (Şekil 2.32). SUPSI' nin 2019 yılında hazırladığı raporda eski ve yeni standarda göre, PV sistemlerinin binalarda kullanımına yönelik gruplandırılan standartların gereksinim kategorizasyonu Çizelge 2.10'da belirtilmiştir.

Çizelge 2.10. Standardizasyon için gereksinim kategorileri (SUPSI, 2019)

Kategori	Gereksinimin Karakteri	Örnek	Standardizasyon Önerisi
M	Uluslararası zorunluluklar	-Mekanik direnç -Dayanım	Uluslararası standartlara uygun test yöntemi ve geçmiş kriterler
D	BIPV tasarımı için kullanılabilirlik	-Malzeme -Mekanik yapı -Elektrik korunumu -Yangın riski (ana risk)	Uluslararası standartlara uygun tasarım gereklilikleri
C	BIPV karakterize etmek için kullanılabilirlik	-Güç çıkışı -Optik ve ısı tutma özelliği -Elektromanyetik uyumluluk	Uluslararası standartlara uygun test yöntemi
L	Yerel zorunluluklar	-Yangın güvenliği -Sismik direnç -Hava geçirgenliği -Su geçirmezlik -Rüzgar direnci	Uluslararası standartlara uygun test yöntemi ve geçmiş kriterler
O	Diğer durumlar	-Bakım ve tamir	İkinci planda
N	Teknik dışı durumlar	-Estetik	Standardizasyona gerek yok

AB Politikaları Bağlamında PV Sistemler

Avrupa Komisyonu, Kasım 2016'da "Tüm Avrupalılar için Temiz Enerji" girişimini yayınlamıştır. Bu bağlamda AB enerji politikasının genel çerçevesi temiz enerjiye geçişi kolaylaştıracak ve 21. yüzyıla uygun hale getirecek şekilde güncelleme sürecini içermektedir (Mace ve diğ., 2019). Yeni enerji politikaları ile birlikte, temiz enerji kullanımına yönelik (PV sistemler başta olmak üzere) bir takım zorunluluklar ve teşvikler de getirilmiştir.

Avrupa, tüketicilerini enerji geçişinde tam olarak aktif olmaları için güçlendirmektedir ve 2030 yılı için AB iki yeni hedef belirlemiştir: ilki en az %32'lik bağlayıcı bir yenilenebilir enerji hedefi ve ikincisi ise en az %32,5'lik bir enerji verimliliği hedefidir (Mace ve diğ., 2019). Bu doğrultuda enerji politikalarında yenilenebilir enerji kullanımının ve enerji verimliliğinin büyük rol oynadığı söylenebilmektedir.

Yenilenebilir Enerji Direktifi (RED II)

2009 Yenilenebilir Enerji Direktifi, 2020 yılına kadar nihai enerji tüketiminin % 20' sinin yenilenebilir kaynaklardan gelmesi için bağlayıcı bir hedef olarak belirlemiştir. Bu doğrultuda, AB ülkeleri kendi ulusal yenilenebilir enerji hedeflerini belirlemiş ve bunlara ulaşmayı taahhüt etmişlerdir. (Mace ve diğ., 2019) Yenilenebilir enerjiye olan ilginin

gelişme ve büyümesi için büyük yatırımlar yapılmaktadır. Bu direktif ile birlikte, yenilenebilir enerjinin etkileşimi artmakta ve en önde gelen teknolojilerden biri olan BIPV sistemlerinin kullanımı yüksek potansiyel olarak düşünülmektedir.

2.4.2. Ulusal mevzuatlar

Yenilenebilir enerji üretimi bağlamında aktif güneş sistemleri üzerine AB standartları ile bağlantılı Türkiye'deki mevzuatlar genel olarak; 5346 sayılı Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun ve 30772 sayılı Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretimi Yönetmeliği'dir. Ek olarak, 27539 sayılı Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği'ndeki belirli maddeler ile binalarda yenilenebilir enerji kullanmasına dair standartlara atıflar yapılmaktadır.

Binalarda enerji performansı (BEP) yönetmeliği

BEP yönetmeliğinin amacı, iklim özellikleri göz önünde bulundurularak binalardaki enerjinin ve enerji kaynaklarının etkin ve verimli kullanılmasına, yüksek enerji kullanımlarının önlenmesine ve çevrenin korunmasına ilişkin usul ve esasları belirlemektir (Resmi Gazete, 2008). Özellikle çevrenin korunması kapsamında, tüketilen toplam enerjide yaklaşık %40 paya sahip olan binalarda yenilenebilir enerji kaynakları kullanılması ve enerji üretimi önemli bir husus olmaktadır.

AB'nin 2010/31/EU yönergesinde de tahmin edildiği üzere ülkemizde Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği ve Enerji Kimlik Belgesi' nin yürürlüğe konulması ile birlikte yapılarda yenilenebilir enerji kaynak tüketiminin yükseltilmesi amaçlanmaktadır. Bu amaç ile birlikte, zorunlu tutulan Enerji Kimlik Belgesi'nde bir yapının mevcutta hangi oranda yenilenebilir enerji kaynağı tükettiği belirlenmekte ve BEP-TR'de bu konu üzerinde mevcut kaynaklar incelenerek Türkiye'deki yapılarda yıllara göre yenilenebilir enerji kaynağı tüketim oranının yükseltilmesi amaçlanmaktadır. (www.bep.gov.tr)

Bu doğrultuda, yönetmeliğin onuncu bölümünde bulunan 'Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Kullanımı' üzerine;

“Yeni yapılacak olan ve yapı ruhsatına esas kullanım alanı yirmi bin metrekarenin üzerinde olan binalarda ısıtma, soğutma, havalandırma, sıhhi sıcak su, elektrik ve aydınlatma enerjisi

ihtiyaçlarının tamamen veya kısmen karşılanması amacıyla, yenilenebilir enerji kaynakları kullanımı, hava, toprak veya su kaynaklı ısı pompası, kojenerasyon ve mikrokojenerasyon gibi sistem çözümleri tasarımcılar tarafından projelendirme aşamasında analiz edilir. Bu uygulamalardan biri veya birkaçı, Bakanlık tarafından yayımlanan birim fiyatlar esas alınmak suretiyle hesaplanan, binanın toplam maliyetinin en az yüzde onuna karşılık gelecek şekilde yapılır.” (Resmi Gazete, 2008)

Aynı zamanda, “Güneş enerjisi için toplayıcıların kullanımında TS EN 12975-1 ve TS 3817” (Resmi Gazete, 2008) standartlarına uyulması gerektiği belirtilmiştir. Bu bağlamda TS EN 12975-1 ve TS 3817 standartları çalışma konusu kapsamında incelenmiştir.

TS EN 12975-1 standardı

Bu standart, sıvı ısıtan güneş enerjisi kolektörleri için sağlamlık (mekanik ve mukavemet dâhil), güvenilirlik ve emniyet kurallarını içermektedir (TS EN 12975-1). Bu standardın kapsamında, çatıya eklemeli güneş kolektörlerinin malzeme seçimi ve tasarımına ilişkin kurallar yer almaktadır. Kolektörler ile ilgili olarak konu kapsamında, malzeme seçiminde dikkat edilmesi gereken hususlar aşağıda verilmiştir;

- “Güneş enerjisi kolektörleri, havada ilerleyen yangın veya ısıma yoluyla yayılan ısıya karşı hassastır. Bu durumda, yanmayan malzeme kullanılması tercih edilmelidir. Aynı zamanda, kolektörler, Avrupa yangın sınıflandırması düzenlemelerine uygun olmalıdır.” (TS EN 12975-1)
- “Kolektör tasarımı, kolektör kutusu ve soğurucu arasındaki ısı köprüsünden kaçınılacak şekilde tasarlanmalıdır” (TS EN 12975-1).
- “Kolektörün bileşenleri ve malzemesi, kolektörün ısınması ve soğuması sonucu oluşan mekanik yüklere karşı dayanıklı olmalıdır. Ayrıca, yağmur, kar, dolu, rüzgâr, yüksek nem ve hava kirliliğinin sebep olduğu dış iklimden kaynaklı çevresel gerilmelere karşı kolektör bileşenleri ve malzemesi dirençli olması gerekmektedir.” (TS EN 12975-1)

TS 3817 standardı

Bu standart, güneş enerjili su ısıtma sistemlerinin tasarlanması, üretilmesi ve kullanılması dahilinde uyulması gerekli kuralları içermektedir (TS 3817). Güneş enerjisi sistemlerinin

verimli, güvenli ve uzun yıllar kullanımlarının olması amaçlanmıştır. Standartta, cepheye ve çatıya bütünleştirilen güneş kolektörleri hakkında bilgiler bulunmamaktadır. Güneş enerjisi sistemlerinin yönlendirmesi ve eğim açısı ile ilgili hususlar aşağıda verilmiştir;

- “Toplayıcıların konumlandırılması, güney yönüne doğru olmalıdır. Ancak özel yerleştirme gerektiren durumlarda, toplayıcılar güneyden doğuya ya da batıya en fazla 15° açı yapabilmelidir.” (TS 3817)
- “Sistemin kolektör eğim açısı, genel olarak bulunan yerin enlem derecesiyle aynı olmalıdır. Ancak sistemin sadece yazın veya kışın kullanılması gibi özel durumlarda toplayıcıların eğim açısı yazın enlem derecesinden 15° eksik, kışın enlem derecesinden 15° fazla olması gerekmektedir.” (TS 3817)

Yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik enerjisi üretimi amaçlı kullanımına ilişkin kanun

Türkiye’de yenilenebilir kaynaklardan enerji üretimi için çıkarılmış olan ilk kanun amacı, “*Yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik enerjisi üretimi amaçlı kullanımının yaygınlaştırılması, bu kaynakların güvenilir, ekonomik ve kaliteli biçimde ekonomiye kazandırılması, kaynak çeşitliliğinin artırılması, sera gazı emisyonlarının azaltılması, atıkların değerlendirilmesi, çevrenin korunması ve bu amaçların gerçekleştirilmesinde ihtiyaç duyulan imalat sektörünün geliştirilmesidir*” (Resmi Gazete, 2005). Kanun genel olarak, yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelik ilk yatırım maliyetlerini ve teşvikleri içermektedir. Kanuna göre fotovoltaik sistem bileşenlerinin maliyetleri Çizelge 2.11’de gösterilmiştir.

Çizelge 2.11. Fotovoltaik sistem bileşenlerinin Türkiye’deki mevcut fiyatları (Resmi Gazete, 2005)

Tesis Tipi	Yurt İçinde Gerçekleşen İmalat	Yerli Katkı Fiyatları (ABD Doları cent/kWh)
Fotovoltaik güneş enerjisine dayalı üretim tesisi	1- PV panel entegrasyonu ve güneş yapısal mekaniği imalatı	0,8
	2- PV modülleri	1,3
	3- PV modülünü oluşturan hücreler	3,5
	4- İnvertör	0,6
	5- PV modülü üzerine güneş ışınını odaklayan malzeme	0,5

Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretimi Yönetmeliği

2019’da yürürlüğe giren yönetmelikte yayınlanan, “*Lisanssız üretim yapan gerçek ve tüzel kişilerin bir dağıtım bölgesinde kurulu üretim tesisinde ürettikleri enerji, ancak aynı dağıtım bölgesi içerisinde yer alan ve aynı kişiye ait tüketim tesisi ya da tesislerinde tüketilebilir.*” (Resmi Gazete, 2019) maddesi gereğince, saha içerisinde lisanssız üretilen elektriğin saha içinde kullanılması ve bu durum haricindeki uygulamalar için lisans zorunluluğu getirilmiştir.

Yönetmeliğin amacı,

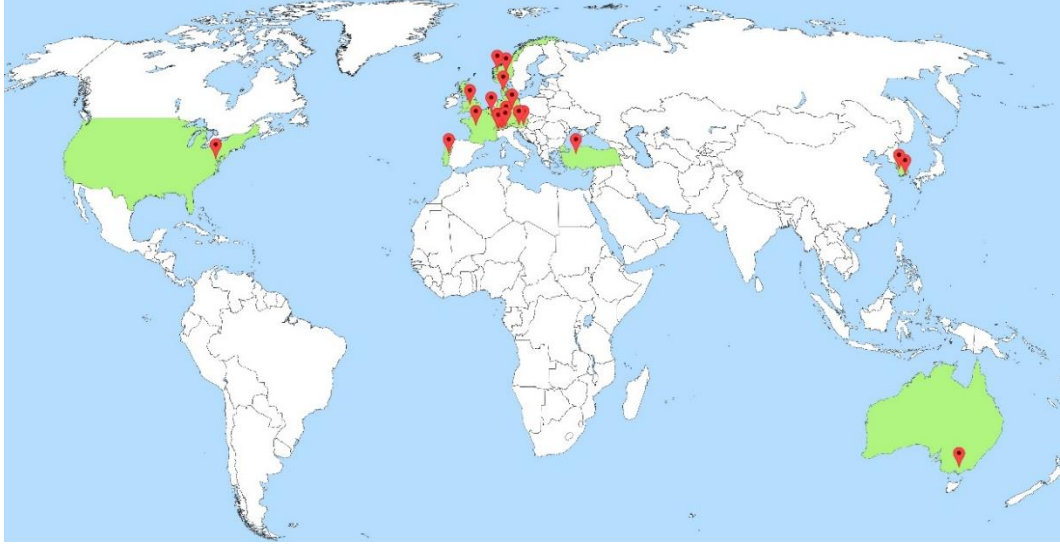
“Elektrik piyasasında, tüketicilerin elektrik ihtiyaçlarını tüketim noktasına en yakın kendi üretim tesisinden karşılaması, arz güvenliğinin sağlanmasında küçük ölçekli üretim tesislerinin ülke ekonomisine kazandırılması ve küçük ölçekli üretim kaynaklarının etkin kullanımının sağlanması ile elektrik şebekesinde meydana gelen kayıp miktarlarının düşürülmesi amacıyla, lisans alma ve şirket kurma yükümlülüğü olmaksızın, elektrik enerjisi üretebilecek, gerçek veya tüzel kişilere uygulanacak usul ve esasların belirlenmesidir.”(Resmi Gazete, 2019)

“Yönetmelik kapsamında kurulacak üretim tesisleri için Kurum tarafından taşınmaz mülkiyeti ve sınırlı aynı hak edinimine ilişkin herhangi bir işlem yapılmaz.” (Resmi Gazete, 2019) Bu yönetmelikle birlikte, Türkiye’de binalarda ve saha içerisinde elektrik üretimi daha önemli bir seviyeye gelmiştir.

2.5. Bütünleşik Tasarım Uygulama Örnekleri

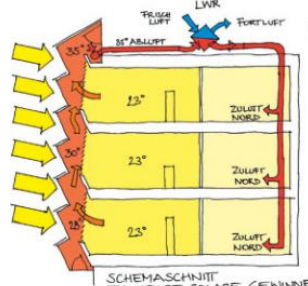
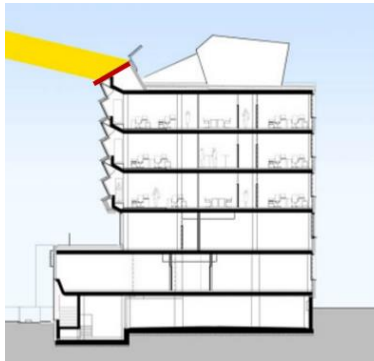
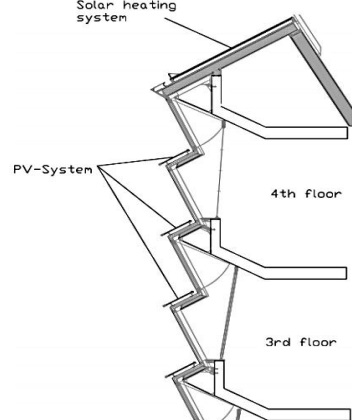
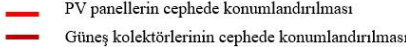
Bu bölümde aktif güneş sistemlerinin yapı kabuğunda uygulama alanları, teknikleri ve yöntemleri üzerine yoğun olarak Avrupa’daki binalar başta olmak üzere uluslararası 25 farklı örnek binanın detaylı olarak incelemeleri yapılmıştır (Şekil 2.33). Değerlendirme kriterleri; binalarda bütünleşik tasarım yaklaşımları dikkate alınarak yapı kabuğuna bütünleştirilen aktif güneş teknolojilerinin kullanımına göre belirlenmiş, analiz çizelgelerinde bina künyesi, mimari çizimler, mimari bütünleşme, sistemlerin teknik detayları, bütünleşik cephe tasarımı ve enerji analizleri şeklinde gruplandırılarak incelenmiştir.

Örnek binaların seçiminde, PV sistemlerin yüksek verimlilikte ve farklı tasarımlarla uygulanması dikkate alınmıştır. Analizleri yapılan binalar genellikle pasif ev yaklaşımı, sürdürülebilir mimari ve artı enerji üretimi hedefi ile tasarlanan binalardan oluşmaktadır. Bu hedefler için yüksek enerji üretim potansiyeline sahip olan PV teknolojileri yapı kabuğuna bütünlük tasarım yaklaşımı ile uygulanmış ve sistemlerden maksimum verim alınması amaçlanmıştır.



Şekil 2.33. Örnek analizlerdeki yapıların dünya üzerindeki konumları

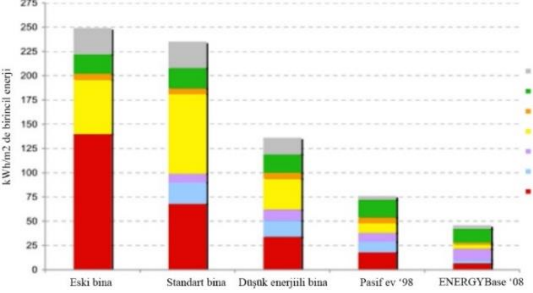
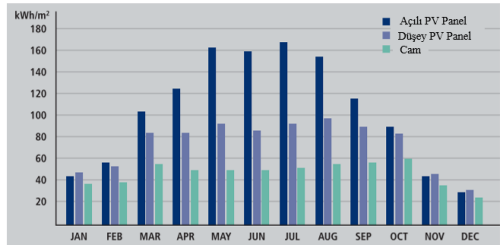
Çizelge 2.12. Energybase ofis binası analizi (Austrian Federal Ministry of Transport, 2010; Eurac, 2012; Edlinger ve diğ., 2011; Ghaemi ve diğ., 2012; Schneider, 2009; Archello, 2022)

ENERGYBASE OFİS BİNASI					ÖRNEK 1
BİNA KÜNYESİ	Mimar	DI Ursula Schneider po-architekten			 ENERGYBase genel görünüm
	Konum	Viyana, Avusturya			
	İklim	Karasal /Okyanusal iklim			
	Yapım Yılı	2008			
	Yapı İşlevi	Ofis Binası			
	Mimari Konsept	Pasif Ev Tasarım Yaklaşımı			
	Taban Alanı	9200m ²			
	Kat adedi/yükseklik	Zemin + 4 kat			
	Cephe Tipi	Yatay dişli PV cephe sistemi			
	Çatı Tipi	Teras Çatı			
Tasarım Hedefleri	. Enerji verimliliği . Yenilenebilir enerji kaynağı kullanımı (Isıtma ve soğutma enerji ihtiyacının %100'ü) . Kullanıcı konforu / sağlığı			 Binada hava akım diyagramı	
MİMARİ ÇİZİMLER					
					
	Kesit				
MİMARİ BÜTÜNLEŞME	Uygulama Tipi: BIPV sistem: X BAPV sistem: -				
	Konum: Cephe: X Çatı: -		BIPV panellerin birleşimi		
	Kullanım biçimi: Cephe kaplama malzemesi olarak				
	Bütünleşme Şekli	Fiziksel	Görsel	İşlevsel	Dinamik
	Ayrıık	-	-	-	-
	Bitişik	X (Cephe)	X (Cephe)	X (Cephe)	-
	Bağlantılı	-	-	-	-
	Birbirine Geçmiş	-	-	-	-
	Bileşik	-	-	-	-

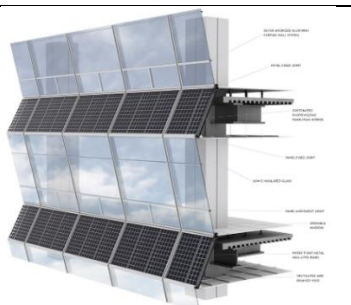
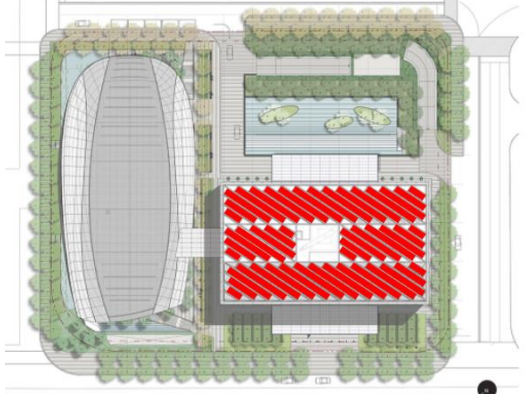
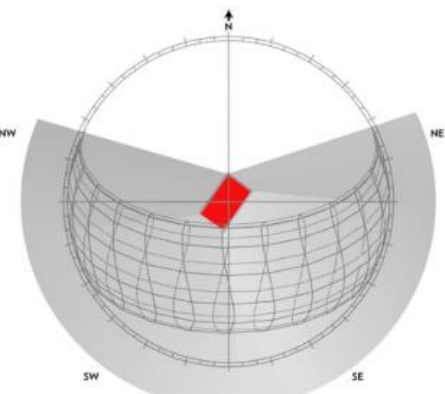
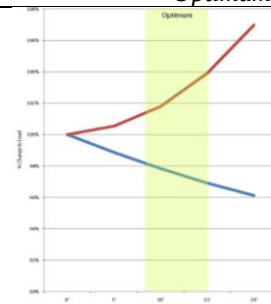
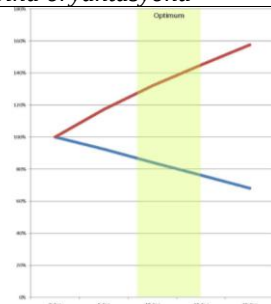
Çizelge 2.12. (devam) Energybase ofis binası analizi (Austrian Federal Ministry of Transport, 2010; Eurac, 2012; Edlinger ve diğ., 2011; Ghaemi ve diğ., 2012; Schneider, 2009; Archello, 2022)

ENERGYBASE OFİS BİNASI					ÖRNEK 1
TEKNİK DETAYLAR	<i>Yatay dışlı PV cephe sistem detayı</i>				<i>Kuzey cephe pencere bağlantı detayı</i>
	Binanın ısııl geçirgenlik kat sayısı (W/m ² K)	Dış duvar: 0,16	Tavan: 0,12	Zemin: 0,18	Pencere : 0,75
BÜTÜNLEŞİK CEPHE TASARIMI	BIPV / Kolektör Kullanımı	Cephe: Soğuk cephe PV uygulaması			
	BIPV / Kolektör Uygulama Tipi	Çatı: Güney cephe ile bütünleşik çatı parapetinde güneş kolektörleri			
	PV Sistem Sınıfı	Cephe: Spandrel yüzeye cephe kaplama malzemesi			
	Solar Isıl Kolektör Kurulum Alanı	Çatı parapeti: Kaplama malzemesi			
	PV Kurulum Alanı	Şebekeden bağımsız (off-grid)			
	PV Hücre Tipi	285 m ²			
	Potansiyel Güç	400 m ²			
	PV eğim açısı	Tek kristalli ve çok kristalli silikon hücre			
	Yıllık Enerji Üretimi	48,2 kWp			
	CO ₂ Emisyon Azaltma (Yıllık)	31,5°			
	Verimlilik oranı	37 000 kWh/ m ² y			
		200 ton			
	İhtiyaç duyulan enerjinin %23 ila %34'ünü BIPV sistemlerinden karşılamaktadır.				
<i>Güney cephe görünüşü</i>					

Çizelge 2.12. (devam) Energybase ofis binası analizi (Austrian Federal Ministry of Transport, 2010; Eurac, 2012; Edlinger ve diğ., 2011; Ghaemi ve diğ., 2012; Schneider, 2009; Archello, 2022)

	ENERGYBASE OFİS BİNASI	ÖRNEK 1
ENERJİ ANALİZİ	Farklı ofis tiplerinin birincil enerji tüketimi  (a) Güneş Enerjisi: Kademeli ve Düşey Cephelerin Karşılaştırılması PV modüllerin yatay açısı 31.5, camın yatay açısı 63.5  (b) ENERGYBase ofis binasının diğer ofis binalarıyla enerji tüketiminin karşılaştırılması (a), PV modüllerin açılı olarak monte edilmesi, cephedeki düşey bütünleşmeye kıyasla, özellikle yaz aylarında güneş enerjisi verimliliğini artırır. (b)	
GÖRSELLER	 Bina güney cephesindeki PV panel ve kolektörler   Binanın çatı ve cephesindeki PV panel ve kolektörlerin görünümü  İç mekan görünümü	
NOTLAR	. Bina PV sistemler ile tüketim için ihtiyaç duyulan enerjiden fazlasını üretmektedir ve kendi kendine yetebilmektedir. . Cephe tasarım modeli ile gölgeleme sağlanabilmektedir. Böylece iç mekanda aşırı ısı kazancının ve kamaşma gibi olumsuz görsel etkilerin önüne geçilebilmektedir. ÖDÜLLER: . Austrian Sustainability Label TQ, ATGA Facility Price 2009, Euro Solar Austria 2008, Solid Building Award 2008, European Environmental Press Award 2008, Austrian National Award for Sustainable Technologies 2007.	

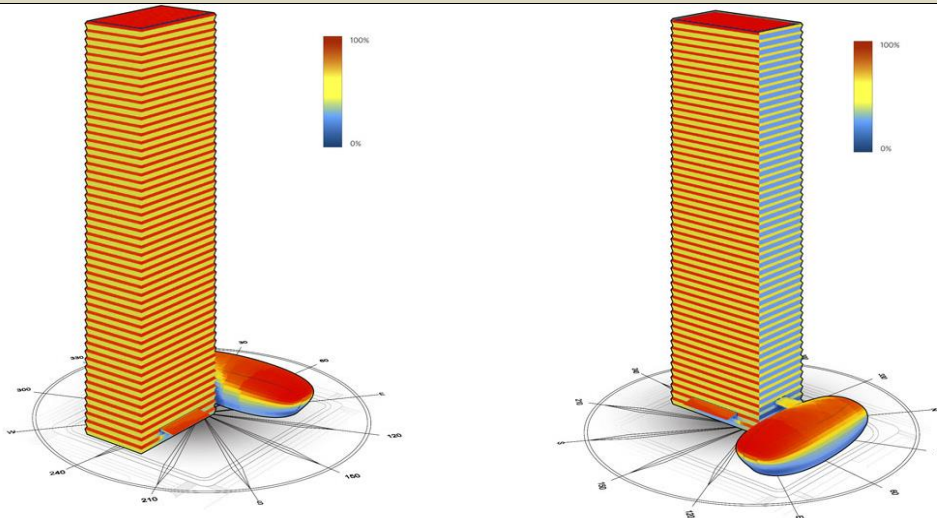
Çizelge 2.13. FKI ofis binası analizi (Betancur, 2017; UrbanNext, 2021; CTBUH, 2018)

FEDERATION OF KOREAN INDUSTRIES OFİS BİNASI				ÖRNEK 2	
BİNA KÜNYESİ	Mimar	Adrian Smith ve Gordon Gill Architecture			
	Konum	Seoul, Güney Kore			
	İklim	Karasal iklim			
	Yapım Yılı	2010-2013			
	Yapı İşlevi	Ticari Bina			
	Mimari Konsept	Pasif Ev Tasarım Yaklaşımı			
	Taban Alanı	- m ²			
	Kat adedi/yüksekliği	6 kat bodrum +50 kat/ 245m			
	Cephe Tipi	Akordeon PV cephe sistemi			
	Çatı Tipi	Teras Çatı			
Tasarım Hedefleri	. BIPV sistemlerini yüksek katlı bir bina için tasarım katalizörü olarak kullanmak. . BIPV ve insan konforunu dengelemek. . BIPV sistemini özel bir sıcak cephe tasarımına dahil etmek.		Cephede bulunan Akordeon PV sistem		
MİMARİ ÇİZİMLER					
	Vaziyet Planı		Optimum bina oryantasyonu		
MİMARİ BÜTÜNLEŞME	Uygulama Tipi: BIPV sistem: X BAPV sistem: X				
	Konum: Cephe: X Çatı: X				
	Kullanım biçimi: Cephe kaplama malzemesi olarak		Duvar eğiminin (a)ısıtma soğutma yüklerine (b) yüzey güneş radyasyonuna etkisi		
	Bütünleşme Şekli	Fiziksel	Görsel	İşlevsel	Dinamik
	Ayrık	X (Çatı)	X (Çatı)	X (Çatı)	-
	Bitişik	X (Cephe)	X (Cephe)	X (Cephe)	-
	Bağlantılı	-	-	-	-
	Birbirine Geçmiş	-	-	-	-
	Bileşik	-	-	-	-

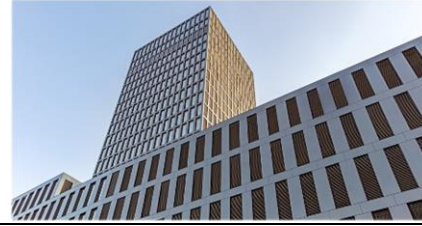
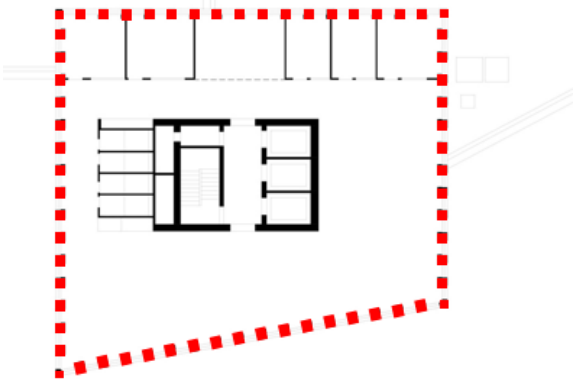
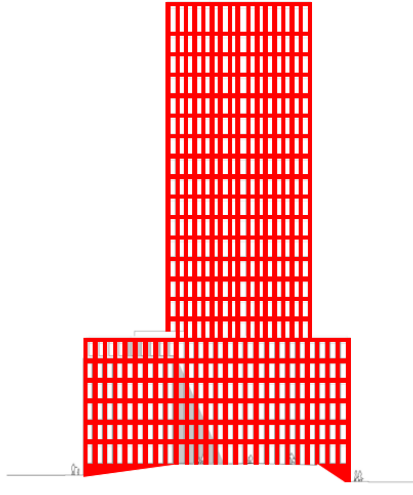
Çizelge 2.13. (devam) FKI ofis binası analizi (Betancur, 2017; UrbanNext, 2021; CTBUH, 2018)

FEDERATION OF KOREAN INDUSTRIES OFİS BİNASI		ÖRNEK 2																													
TEKNİK DETAYLAR	Cephe detayları PV enerji üretimi Parlama azaltımı Güneş azaltımı <i>Bina cephesinin eğimi doğrultusunda gün ışığının geliş açısı</i>																														
	<table border="1"> <tr> <td rowspan="15">BÜTÜNLEŞİK CEPHE TASARIMI</td> <td>BIPV Kullanımı</td> <td>Cephe: Sıcak cephe PV uygulaması</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Çatı: Uygun güneş radyasyona göre PV sistemin optimum açı ve yönlenme ile tüm çatıya entegrasyonu</td> </tr> <tr> <td>BIPV Uygulama Tipi</td> <td>Cephe: Spandrel yüzeye PV cephe kaplama malzemesi</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Çatı: Tüm yüzeye bütünleşik kaplamalı PV</td> </tr> <tr> <td>PV Sistem Sınıfı</td> <td>Şebekeden bağımsız (off-grid)</td> </tr> <tr> <td>BIPV Panel Sayısı</td> <td>1130</td> </tr> <tr> <td>PV Kurulum Alanı</td> <td>211,883 5x5</td> </tr> <tr> <td>PV Hücre Tipi</td> <td>Tek kristalli silikon hücre</td> </tr> <tr> <td>Potansiyel Güç</td> <td>-kWp</td> </tr> <tr> <td>PV eğim açısı</td> <td>15-30°</td> </tr> <tr> <td>Yıllık Enerji Üretimi</td> <td>844 028 kWh/ m²y</td> </tr> <tr> <td>CO₂ azaltma</td> <td>394 T/ Yıl</td> </tr> <tr> <td>Geri ödeme süresi</td> <td>6-7 yıl</td> </tr> <tr> <td>Verimlilik oranı</td> <td>İhtiyaç duyulan enerjinin %7.2'si BIPV sistemlerinden karşılanmaktadır.</td> </tr> </table>		BÜTÜNLEŞİK CEPHE TASARIMI	BIPV Kullanımı	Cephe: Sıcak cephe PV uygulaması		Çatı: Uygun güneş radyasyona göre PV sistemin optimum açı ve yönlenme ile tüm çatıya entegrasyonu	BIPV Uygulama Tipi	Cephe: Spandrel yüzeye PV cephe kaplama malzemesi		Çatı: Tüm yüzeye bütünleşik kaplamalı PV	PV Sistem Sınıfı	Şebekeden bağımsız (off-grid)	BIPV Panel Sayısı	1130	PV Kurulum Alanı	211,883 5x5	PV Hücre Tipi	Tek kristalli silikon hücre	Potansiyel Güç	-kWp	PV eğim açısı	15-30°	Yıllık Enerji Üretimi	844 028 kWh/ m ² y	CO ₂ azaltma	394 T/ Yıl	Geri ödeme süresi	6-7 yıl	Verimlilik oranı	İhtiyaç duyulan enerjinin %7.2'si BIPV sistemlerinden karşılanmaktadır.
	BÜTÜNLEŞİK CEPHE TASARIMI	BIPV Kullanımı		Cephe: Sıcak cephe PV uygulaması																											
				Çatı: Uygun güneş radyasyona göre PV sistemin optimum açı ve yönlenme ile tüm çatıya entegrasyonu																											
BIPV Uygulama Tipi		Cephe: Spandrel yüzeye PV cephe kaplama malzemesi																													
		Çatı: Tüm yüzeye bütünleşik kaplamalı PV																													
PV Sistem Sınıfı		Şebekeden bağımsız (off-grid)																													
BIPV Panel Sayısı		1130																													
PV Kurulum Alanı		211,883 5x5																													
PV Hücre Tipi		Tek kristalli silikon hücre																													
Potansiyel Güç		-kWp																													
PV eğim açısı		15-30°																													
Yıllık Enerji Üretimi		844 028 kWh/ m ² y																													
CO ₂ azaltma		394 T/ Yıl																													
Geri ödeme süresi		6-7 yıl																													
Verimlilik oranı		İhtiyaç duyulan enerjinin %7.2'si BIPV sistemlerinden karşılanmaktadır.																													
Federation of Korean Industries Tower																															

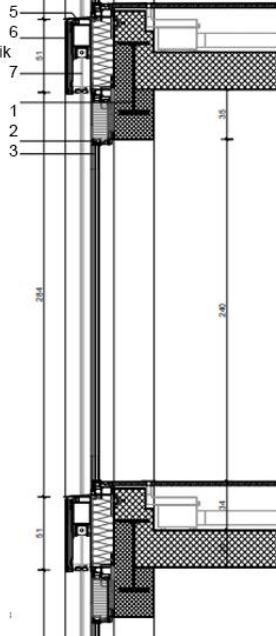
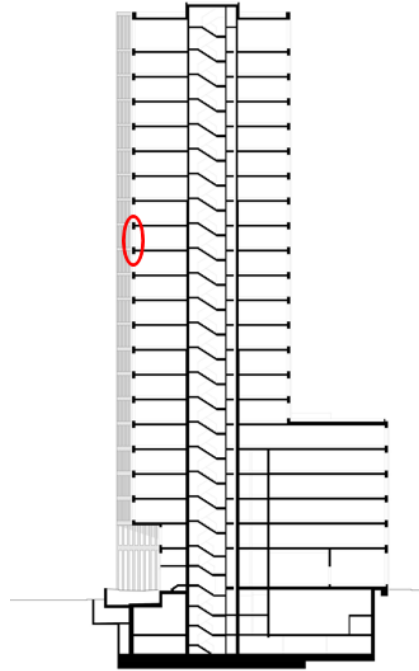
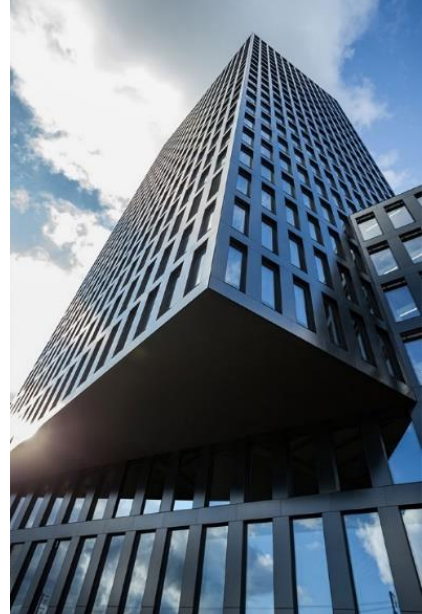
Çizelge 2.13. (devam) FKI ofis binası analizi (Betancur, 2017; UrbanNext, 2021; CTBUH, 2018)

FEDERATION OF KOREAN INDUSTRIES OFİS BİNASI		ÖRNEK 2
ENERJİ VERİLERİ	 <i>Yıllık ortalama güneş radyasyon analizi</i>	
GÖRSELLER	 <i>Çatıya bütünleştirilen PV sistemleri</i> <i>Bina ana girişi</i> <i>İç mekan görünümü</i>	
NOTLAR	. Bina cephesi, Akordeon PV cephe uygulaması olarak tasarlanmıştır. Böylece estetik bir görünüm elde edilirken aynı zamanda da cephe strüktürü pasif olarak gölgeleme sağlarken güneşe karşı yönleneyle verimli enerji de elde edilmiştir. . BIPV sistemlerinin cephe ve çatıda kullanılması ile projenin sürdürülebilirliği artırılmıştır ve PV paneller haricinde kullanılan yenilenebilir enerji olan jeotermal sistemler enerji korunumunu ve tüketimini azaltmayı sağlamıştır. . Bodrum katında hava akım sistemleriyle ısı konfor, havalandırmada verimlilik ve binanın enerji etkinliği artmış, yaşam döngüsündeki maliyeti azalmıştır. . BIPV sistemleri binanın aydınlatma enerjisinin %20'sini karşılamaktadır. ÖDÜLLER: LEED GOLD, Green Good Design Award, Korea Green Building Award; Re-Thinking the Future(2014), Sustainability Award, Excellence in Structural Engineering Award.	

Çizelge 2.14. Grosspeter ofis binası analizi (Solararchitecture, 2019; Archdaily, 2018)

GROSSPETER TOWER OFİS BİNASI				ÖRNEK 3	
BİNA KÜNYESİ	Mimar	Burckhardt+ Partner AG		 Grosspeter Tower	
	Konum	Basel, İsviçre			
	İklim	Ilıman kıtasal iklim			
	Yapım Yılı	2013-2017			
	Yapı İşlevi	Yönetim ve Ticaret binası			
	Mimari Konsept	Pasif Ev Tasarım Yaklaşımı			
	Taban Alanı	-m ²			
	Kat adedi/yüksekliği	Zemin+ 21+ 3 bodrum kat / 78m			
	Cephe Tipi	Düşey PV cephe sistemi			
	Çatı Tipi	Teras Çatı			
Tasarım Hedefleri	. Kendi enerji ihtiyacını, yenilenebilir kaynaklardan karşılayabilen sıfır karbon salımlı bina hedefi, . Sürdürülebilir mimari tasarım.				
MİMARİ ÇİZİMLER	 ■ PV panellerin konumlandırılması 7. kat planı			 ■ PV panellerin konumlandırılması Görünüşteki PV panel yerleşimi	
	Uygulama Tipi: BIPV sistem: X BAPV sistem: X	 ■ PV panellerin konumlandırılması Zemin kat planı			
	Konum: Cephe: X Çatı: X				
Kullanım biçimi: Cephe kaplama malzemesi olarak					
MİMARİ BÜTÜNLEŞME	Bütünleşme Şekli	Fiziksel	Görsel	İşlevsel	Dinamik
	Ayrık	X (BAPV)	X (BAPV)	-	-
	Bitişik	X (Cephe)	X (Cephe)	X (Cephe)	-
	Bağlantılı	-	-	-	-
	Birbirine Geçmiş	-	-	-	-
	Bileşik	-	-	-	-

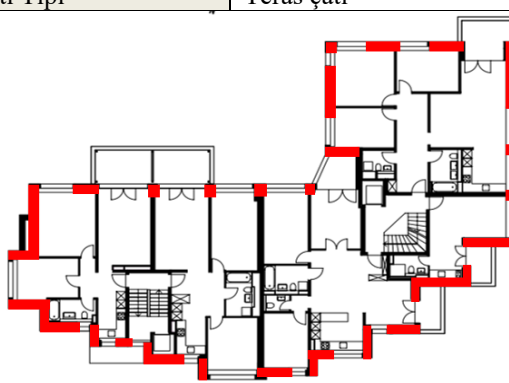
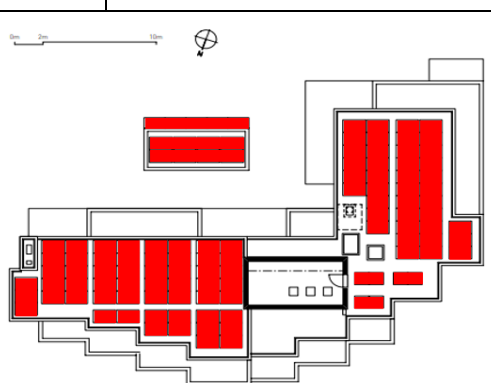
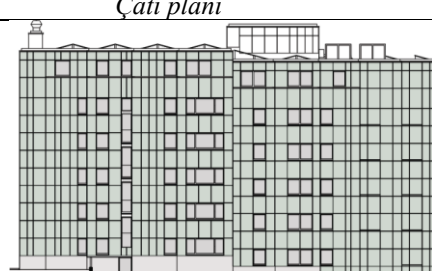
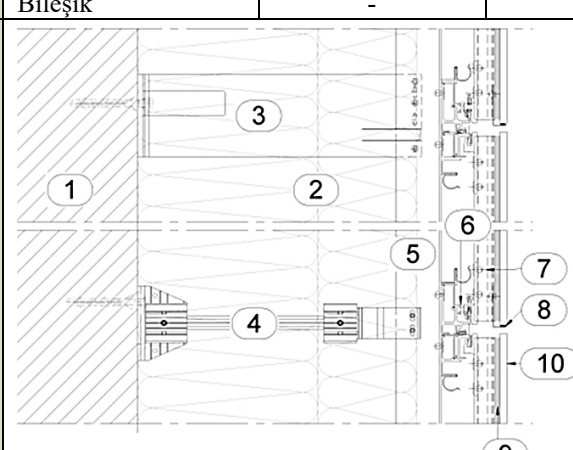
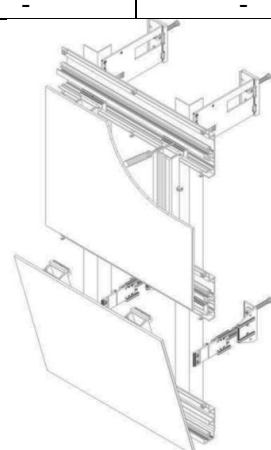
Çizelge 2.14. (devam) Grosspeter ofis binası analizi (Solarchitecture, 2019; Archdaily, 2018)

GROSSPETER TOWER OFİS BİNASI					ÖRNEK 3
TEKNİK DETAY	Cephe Detayı 1. Prefabrike betonarme çelik 2. Pencere elemanı 3. Üçlü cam 4. Plaster şeritleri 5. Pencere eşiği 6. PV modül 7. Kompozit jaluzi 				
	<i>Cephede bulunan PV panel bütünleşme kesit detayı</i>				
BÜTÜNLEŞİK CEPHE TASARIMI	Binanın ısııl geçirgenlik kat sayısı (W/m²K)	Dış duvar 0,18	Tavan 0,12 - 0,18	Zemin 0,25	Pencere 0,91-0,97
	BIPV Kullanımı	Cephe: Soğuk cephe PV uygulaması			
		Çatı: BAPV uygulaması			
	BIPV Uygulama Tipi	Cephe: Opak PV cephe uygulaması			
		Çatı: Tüm çatı PV sistemleri güneş radyasyonunda yönlendirme uygulanmıştır			
	PV Sistem Sınıfı	Şebekeden bağımsız (off-grid)			
	PV Kurulum Alanı	Cephe: 4800 m²			
		Çatı: 770 m²			
	PV Kurulum Alanı	Yaklaşık 6000 m² (çerçevesiz modül)			
	PV Hücre Tipi	İnce film teknolojisi kullanılan hafif modüller			
	Kurulu Güç	540 kWp			
	PV eğim açısı	90 (cepheler)			
	Birincil enerji tüketimi	903 500 kWh/m²y			
	Yıllık Enerji Üretimi	252 000 kWh/ m²y			
	Aktif Güneş Oranı	% 25-50			
	Final Verim	467 kWh/kWp			
	Verimlilik oranı	İhtiyaç duyulan enerjinin %28'ini PV sistemden karşılanmaktadır.			
 <i>Cephe PV bileşim detayı</i>					

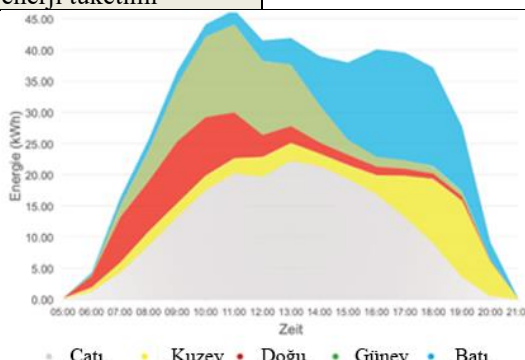
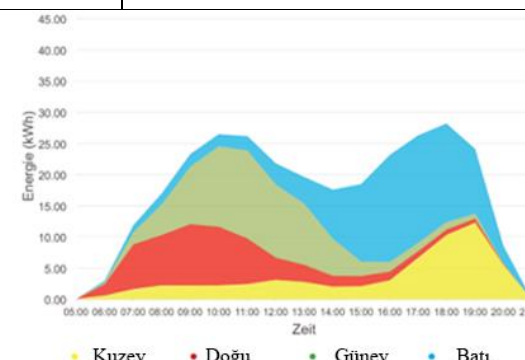
Çizelge 2.14. (devam) Grosspeter ofis binası analizi (Solarchitecture, 2019; Archdaily, 2018; GrossPeter)

GROSSPETER TOWER OFİS BİNASI			ÖRNEK 3
GÖRSELLER			
	<i>İç mekan görünümü</i>	<i>Cephedeki BIPV birleşimi</i>	<i>Çatıdaki BAPV sistemi</i>
NOTLAR	. Bina ısıtmasını sağlamak için yerden 250 metre derinlikte 52 jeotermal sondaj alanı oluşturarak ısı elde etmiştir. . Tüm cephe ve çatıya bütünleştirilen PV sistem kullanılmıştır. . Cepheye düşük özelleştirilmiş birleşenler kullanılmıştır. Cephe %50 transparan %50 opak malzemeden oluşmaktadır. Bu opak malzeme tamamıyla bütünleştirilmiş PV sisteminden oluşmaktadır. ÖDÜLLER: . Die beste Schweizer Solararchitektur 2017, Prixforix 2018 3.lük Ödülü (Cephe sektörünün Oscar ödülü), Sun21 Faktor 2018. Bayerischen Architekturpreis 2017 Binayla Bütünleşik Güneş Teknolojisi (10. Sıra).		

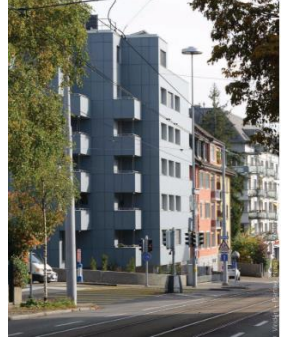
Çizelge 2.15. Multi Family Plus Enerji binası analizi (Viriden Partner, 2016; SUPSI, 2020)

MULTI-FAMILY PLUS ENERGY BİNASI					ÖRNEK 4
BİNA KÜNYESİ	Mimar	Viriden Partner AG			 Yenileme Sonrası Bina
	Konum	Zürih, İsviçre			
	İklim	Ilıman kıtasal iklim			
	Yapım Yılı	1982			
	Yenileme	2015-2016			
	Yapı İşlevi	Toplu konut			
	Mimari Konsept	Pozitif Enerjili Bina			
	Taban Alanı	-m ²			
	Kat adedi/yüksekliği	4 kat + (4 kat yenileme)			
	Cephe Tipi	Düşey PV cephe sistemi			
Çatı Tipi	Teras çatı				
MİMARİ ÇİZİMLER	 ■ PV panellerin konumlandırılması				 ■ PV panellerin konumlandırılması
	Kat planı				
MİMARİ BÜTÜNLEŞME	Uygulama Tipi: BIPV sistem: X BAPV sistem: X				
	Konum: Cephe: X (BIPV) Çatı: X (BAPV)				
	Kullanım biçimi: Cephe kaplama malzemesi olarak				
	Bütünleşme Şekli	Fiziksel	Görsel	İşlevsel	Dinamik
	Ayrık	X (BAPV)	X (BAPV)	-	-
	Bitişik	X (Cephe)	X (Cephe)	X (Cephe)	-
	Bağlantılı	-	-	-	-
	Birbirine Geçmiş	-	-	-	-
	Bileşik	-	-	-	-
TEKNİK DETAY					
	1. Tuğla duvar 2. Isı yalıtımı 3. Sabit nokta konsolu 4. Kayar nokta konsolu 5. Dikey destek profili 6. Yatay destek profili 7. Cam profil 8. Destek braketi 9. SSG yapıştırma 10. Fotovoltaik modül				
Havalandırılmalı PV cephe entegrasyonunun sabitlenmesi					PV Sistem izometrisi

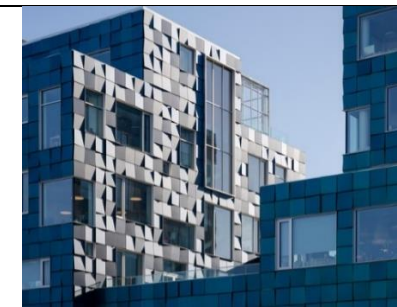
Çizelge 2.15. (devam) Multi Family Plus Enerji binası analizi (Viriden Partner, 2016; SUPSI, 2020)

MULTI-FAMILY PLUS ENERGY BİNASI				ÖRNEK 4
BÜTÜNLEŞİK CEPHE TASARIMI	Mevcut Durumu	Yenileme- Güçlendirme		 Yenileme Öncesi
	Binanın ısııl geçirgenlik kat sayısı (W/m²K)	Dış Duvar: 0.09	Pencere: 0.12	
	BIPV/ BAPV Kullanımı	Cephe: Soğuk cephe PV uygulaması		 Cephede, PV panellerin arkasındaki yalıtım uygulaması
	BIPV/ BAPV Uygulama Tipi	Cephe: BIPV cephe kaplama malzemesi		
		Çatı: BAPV uygulaması		
	PV Sistem Sınıfı	Şebekeden bağımsız (off-grid)		
	PV Kurulum Alanı	1586 m²		
	PV Hücre Tipi	Tek kristalli silikon hücreli cam modül		
	PV Eğim Açısı	90° (tüm cepheler)		
	Yıllık Enerji Üretimi	82 000 kWh/ m²y		
	Aktif Güneş Oranı	%75		
	Final Verimlilik	334 kWh/kWp		
Verimlilik oranı	İhtiyaç duyulan enerjinin % 35'i PV sistemlerinden karşılanır			
Yenilenmeden önce enerji tüketimi	343 400 kWh/ m²y			
Yenilenmeden sonra enerji tüketimi	96 900 kWh/ m²y			
ENERJİ VERİLERİ	 Çatı ve cephelerde 8 Haziran 2017'den itibaren günlük enerji verimin değerlendirilmesi Yapı kabuğunda kullanılan PV sistemlerin gün içerisindeki enerji üretimleri		 Cepheden 8 Haziran 2017'den itibaren elde edilen günlük enerji verimin değerlendirilmesi	
	GÖRSELLER			
   Yapı kabuğunda PV bütünleşmesi				

Çizelge 2.15. (devam) Multi Family Plus Enerji binası analizi (Viriden Partner, 2016; SUPSI, 2020)

MULTI-FAMILY PLUS ENERGY BİNASI		ÖRNEK 4
GÖRSELLER	 	<i>Çatıda bulunan eklemeli PV modülleri</i> <i>Caddeden görünüm</i>
NOTLAR	. Yenilenmeden sonra binanın alanı %36 artmasına rağmen enerji tüketimi %76 oranında azalmıştır. . Bu durumun en temel sebebi, ısı köprülerinin oluşumunu engelleyen çözümler ve daha iyi dış cephe yalıtımı gerçekleştirilmiş olmasıdır. ÖDÜLLER: Publikumspreis Prixforix 2018 – Fassaden Award Swiss Solar Prize 2017.	

Çizelge 2.16. Copenhagen International Eğitim binası analizi (GlassonWeb, 2017; Orsini, 2018; ArchDaily, 2017a)

COPENHAGEN INTERNATIONAL SCHOOL BİNASI				ÖRNEK 5	
BİNA KÜNYESİ	Mimar	C.F. Moller Architects			
	Konum	Copenhagen, Danimarka			
	İklim	Ilıman iklim			
	Yapım Yılı	2017			
	Yapı İşlevi	Eğitim binası			
	Mimari Konsept	Pasif Ev Tasarım Yaklaşımı			
	İnşaat Alanı	25000 m²			
	Kat adedi/yükseklik	Zemin + 5 kat			
	Cephe Tipi	Düşey PV cephe sistemi			
	Çatı Tipi	Teras Çatı			
Tasarım Hedefleri	. Binaın ana tasarım hedefi, yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanarak neredeyse sıfır enerjili bina elde etmektir. . Cephede özelleştirilen PV paneller yapı üzerinde hem fiziksel hem de işlevsel katkı sağlamaktadır.			 Yapı kabuğunda bulunan PV sistemler	
MİMARİ ÇİZİMLER	 ■ PV panellerin konumlandırılması				
	Standart kat planı				
MİMARİ BÜTÜNLEŞME	Uygulama Tipi: BIPV sistem: X BAPV sistem: -	 Tasarımın oluşumunu etkileyen parametreler kesit			
	Konum: Cephe: X Çatı: -				
	Kullanım biçimi: Cephe kaplama malzemesi olarak				
	Bütünleşme Şekli	Fiziksel	Görsel	İşlevsel	Dinamik
	Ayrık	-	-	-	-
	Bitişik	X (Cephe)	X (Cephe)	X (Cephe)	-
	Bağlantılı	-	-	-	-
	Birbirine Geçmiş	-	-	-	-
	Bileşik	-	-	-	-

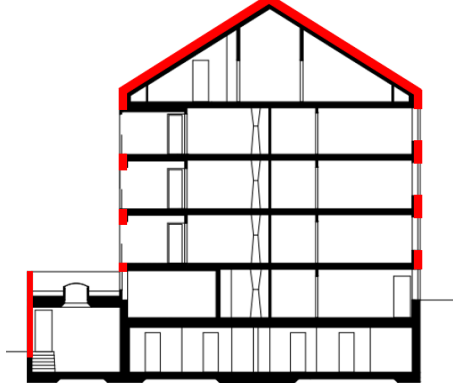
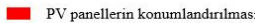
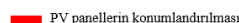
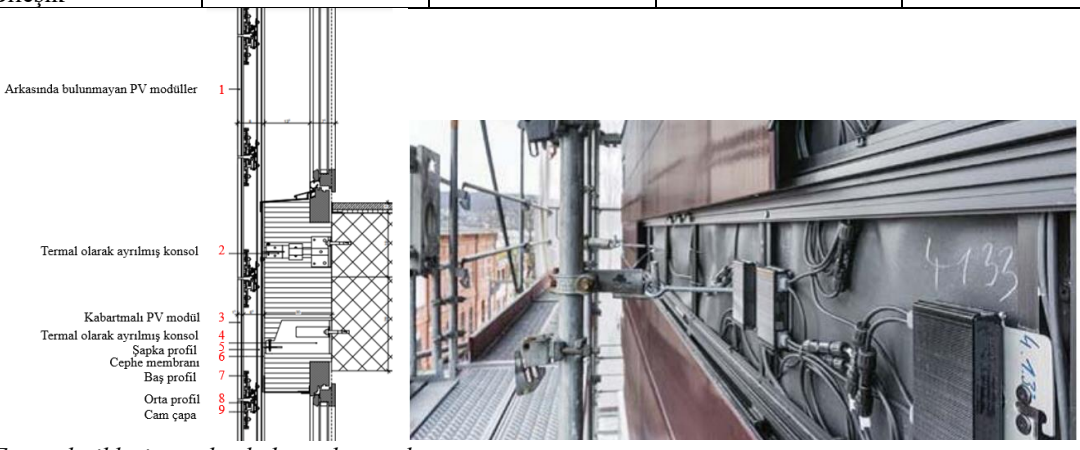
Çizelge 2.16. (devam) Copenhagen International Eğitim binası analizi (GlassonWeb, 2017; Orsini, 2018; ArchDaily, 2017a)

COPENHAGEN INTERNATIONAL SCHOOL BİNASI		ÖRNEK 5
TEKNİK DETAY	Çatı cephe birleşimi ve PV bütünleşme detayı	
BÜTÜNLEŞİK CEPHE TASARIMI	BIPV / Kolektör Kullanımı	Cephe: Soğuk cephe PV uygulaması
	BIPV / Kolektör Uygulama Tipi	Cephe: Tüm cephede PV kaplama malzemesi
	PV Sistem Sınıfı	Şebekeden bağımsız (off-grid)
	BIPV Panel Sayısı	12.000 özelleştirilmiş yüksek bileşenli güneş panelleri
	PV Kurulum Alanı	6 048 m ²
	PV Hücre Tipi	Tek kristalli silikon hücre
	Kurulu Güç	540 kWp
	PV eğim açısı	90 (cepheler)
	Yıllık enerji üretimi	200 000 kWh/ m ² y
	Aktif Güneş Oranı	%50-75
	Final Verimi	278 kWh/kWp
	CO emisyonu azalma	660 ton/ yıl
	Verimlilik oranı	İhtiyaç duyulan enerjinin %39 PV sistemden karşılanmaktadır.
GÖRSELLER		
	Cephede bulunan BIPV	
	Cephe yangını sonucu PV paneller	

Çizelge 2.16. (devamı) Copenhagen International Eğitim binası analizi (GlassonWeb, 2017; Orsini, 2018; ArchDaily, 2017a)

COPENHAGEN INTERNATIONAL SCHOOL BİNASI		ÖRNEK 5
GÖRSELLER	   <i>Yapıda bulunan teraslar</i> <i>Vaziyet planı</i> <i>BIPV</i>	
NOTLAR	. Bina cephesi ile bütünleşik 12 000 özelleştirilmiş yüksek bileşenli güneş paneli kullanılmıştır. PV paneller ile bina elektrik kullanımının %39' u karşılanmaktadır. . Binadaki mevcut yenilenebilir enerji ise harcanan enerjinin yarısından fazlasını karşılamaktadır. . Binanın standart enerji amacı neredeyse sıfır enerjili bina elde etmektir.	

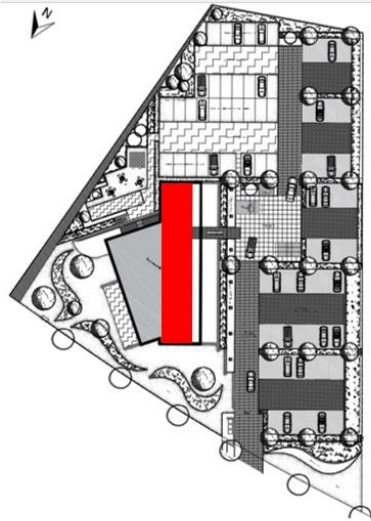
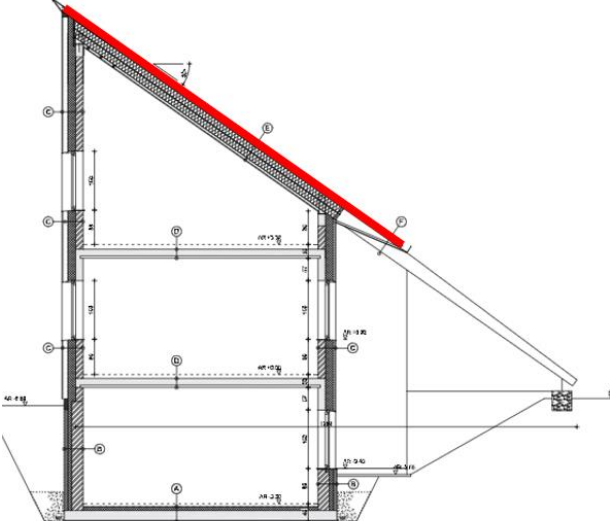
Çizelge 2.17. Wohnhaus Solar bina analizi (Solt, 2017; Solarchitecture, 2019)

WOHNHAUS SOLARIS BİNASI				ÖRNEK 6
BİNA KÜNYESİ	Mimar	Huggenbergfries Architekten AG	 Wohnhaus Solaris genel görünüş	
	Konum	Zürih, İsviçre		
	İklim	Ilıman kıtasal iklim		
	Yapım Yılı	2017		
	Yapı İşlevi	Konut		
	Mimari Konsept	Pasif Ev Tasarım Yaklaşımı		
	Taban Alanı	-m ²		
	Kat adedi/yüksekliği	Zemin + 4 kat		
	Cephe Tipi	Düşey PV cephe sistemi		
	Çatı Tipi	Eğimli kırma çatı		
MİMARİ ÇİZİM	 Kat planı		 Kesit	
				
MİMARİ BÜTÜNLEŞME	Uygulama Tipi:	BIPV sistem: X		
	BAPV sistem:	-		
	Konum:	Cephe: X		
	Çatı:	X		
	Kullanım biçimi:	Cephe kaplama malzemesi olarak		
	Bütünleşme Şekli	Fiziksel	Görsel	İşlevsel
	Ayrık	-	-	-
	Bitişik	-	-	-
	Bağlantılı	-	-	-
	Birbirine Geçmiş	X (Kabuk)	X (Kabuk)	X (Kabuk)
	Bileşik	-	-	-
TEKNİK DETAY	 Fotovoltaiklerin cepheyle bütünleşme detayı			
	Arkasında bulunmayan PV modüller 1 Termal olarak ayrılmış konsol 2 Kabartmalı PV modül 3 Termal olarak ayrılmış konsol 4 Şapka profil 5 Cephe membranı 6 Baş profil 7 Orta profil 8 Cam çapa 9			

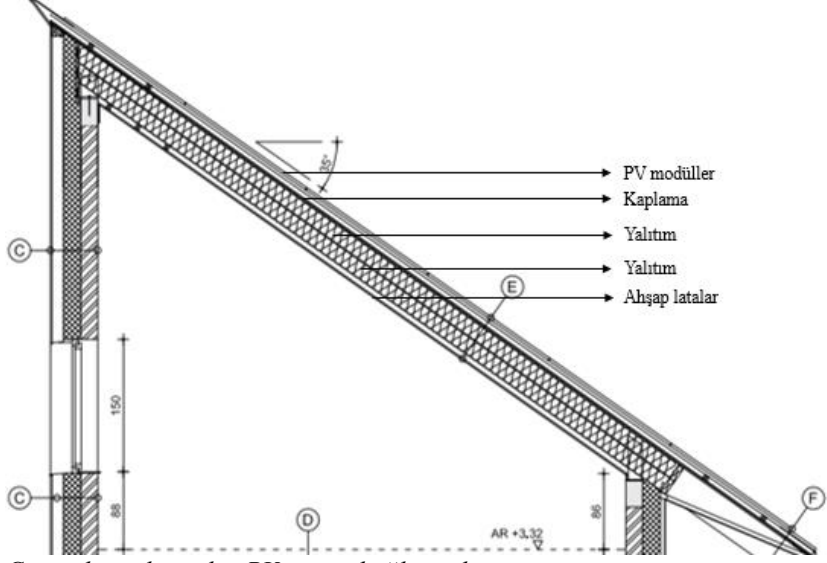
Çizelge 2.17. (devamı) Wohnhaus Solar bina analizi (Solt, 2017; Solarchitecture, 2019)

WOHNHAUS SOLARIS BİNASI			ÖRNEK 6
BÜTÜNLEŞİK CEPHE TASARIMI	Tasarım Hedefleri	. Yüksek enerji verimliliği . Yaklaşık sıfır enerjili bina	  <i>İç mekan görünümü</i>
	Binanın ısıl geçirgenlik kat sayısı (W/m²K)	Dış duvar: 0.15	
		Çatı: 0.13	
		Pencere: 0.80	
	BIPV Kullanımı	Cephe: Soğuk cephe PV uygulaması	
		Çatı: Kiremit güneş panel uygulaması	
	BIPV Uygulama Tipi	Cephe: Tüm bina kabuğunda cephe kaplama malzemesi	
		Çatı: Kırık çatı yüzeyine entegre kiremit	
	PV Sistem Sınıfı	Şebekeden bağımsız (off-grid)	
	PV Kurulum Alanı	Cephe: 420 m²	
		Çatı: 200 m²	
	PV Hücre Tipi	Tek kristalli silikon hücreli cam modül	
	PV Eğim Açısı	90° (cepheler)	
Yıllık Enerji Üretimi	Cephe: 17 023 kWh/ m²y		
	Çatı: 14 809 kWh/ m²y		
Aktif Güneş Oranı	%75 (cepheler ve çatı)		
Verimlilik oranı	İhtiyaç duyulan enerjinin % 47'si karşılanır		
GÖRSELLER			
			
GÖRSELLER			
			
NOTLAR	. Bina kabuğu, cephe kaplama ve kiremit modüllere entegre edilen PV sistemleriyle zarif bir görünüm kazanmıştır. Lazer baskılı kahverengi cam ile tek kristalli silikon hücreler gizlenmiştir. Bu modüller proje için özel olarak geliştirilmiştir. . Çatı ve cepheler betonarmenin üzerine 20 cm kalınlığında taş yünü ile yalıtılmıştır. Pencere ahşap çevreçevli üçlü camdan yapılmıştır. Ödüller: Innovation Award for building-integrated photovoltaics, Schweizer Solarpreis 2018.		

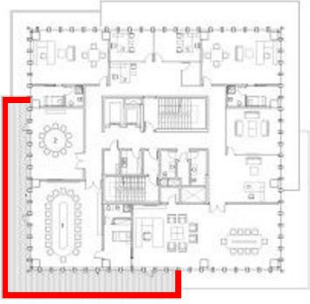
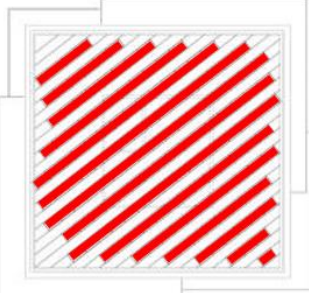
Çizelge 2.18. BSolution Ofis binası analizi (Construction21, 2016; Bsolutions, 2022)

BSOLUTIONS OFİS BİNASI				ÖRNEK 7	
BİNA KÜNYESİ	Mimar	BSolutions Group			
	Konum	Namur, Belçika			
	İklim	Karasal iklim			
	Yapım Yılı	2013			
	Yapı İşlevi	Ofis Binası			
	Mimari Konsept	Pasif Ev Tasarım Yaklaşımı			
	Taban Alanı	1113 m ²			
	Kat adedi/yükseklik	Zemin + 2			
	Cephe Tipi	Düşey cephe sistemi			
	Çatı Tipi	Sundurma Eğimli Çatı PV			
Tasarım Hedefleri	. Fosil enerji kullanmadan enerjisini sahadaki yenilenebilir kaynaklardan elde etme, . Neredeyse sıfır enerjili bina tasarımı hedefi, . Yüksek enerji performansı elde etme, . Pasif ev sertifikası, . Kullanıcı sağlığı ve konfor.				
					
<i>BSOLUTION binası</i>					
					
MİMARİ ÇİZİMLER					
	PV panellerin konumlandırılması				
MİMARİ BÜTÜNLEŞME					
	PV panellerin konumlandırılması				
MİMARİ BÜTÜNLEŞME	Uygulama Tipi:	BIPV sistem: X			
	BAPV: -				
	Konum:	Cephe: -			
	Çatı: X				
	Kullanım biçimi:	Cephe kaplama malzemesi olarak			
	Bütünleşme Şekli	Fiziksel	Görsel	İşlevsel	Dinamik
	Ayrık	-	-	-	-
	Bitişik	-	-	-	-
	Bağlantılı	-	-	-	-
	Birbirine Geçmiş	-	-	-	-
Bileşik	X (Çatı)	X (Çatı)	X (Çatı)	-	
					
Güney görünüşü					
PV panellerin konumlandırılması					

Çizelge 2.18. (devam) BSolution Ofis binası analizi (Construction21, 2016; Bsolutions, 2022)

BSOLUTIONS OFİS BİNASI		ÖRNEK 7
TEKNİK DETAY	 Çatıya bütünleştirilen PV sistem bağlantı detayı	
BÜTÜNLEŞİK CEPHE TASARIMI	BIPV Uygulama Tipi	Çatı: Güney cephe ile bütünleşik çatıya bütünleştirilen PV sistem
	PV Sistem Sınıfı	Şebekeden bağımsız (off-grid)
	Yapı Kabuğu Alanı	594 m ²
	PV Hücre Tipi	Tek kristalli silikon hücre
	PV Eğim Açısı	35° (çatı)
	Sera Gazı Emisyonu	4 KgCO ₂ /m ² /y
	Birincil enerji tüketimi	35 kWh/m ² .y
	Enerji Tüketim %	HVAC: %65; aydınlatma, priz: %35
Verimlilik oranı	İhtiyaç duyulan enerjinin %60 BIPV sisteminden karşılamaktadır.	
GÖRSELLER	 Binanın genel görünüşü	
	Güney cephesi ana giriş	
NOTLAR	. Bina'nın yenilenebilir sistem ihtiyacını PV sistemlerinin dışında ısı pompasından da sağlanmaktadır. . İç mekan hava kalitesi, binanın VOC (Uçucu organik Birleşik) kriterini dikkate alarak BREEAM' in bir parçası olan "konfor ve sağlık" bölümünden sertifika elde etmesini sağlamıştır. Ödüller: BREEAM Health & Wellbeing, Sustainable Construction Grand Prize of the Green Solutions Awards 2017	

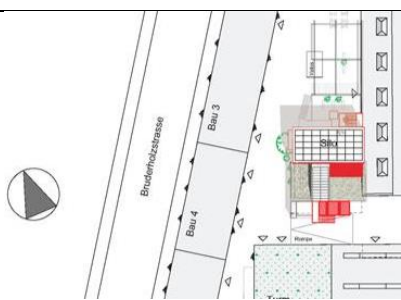
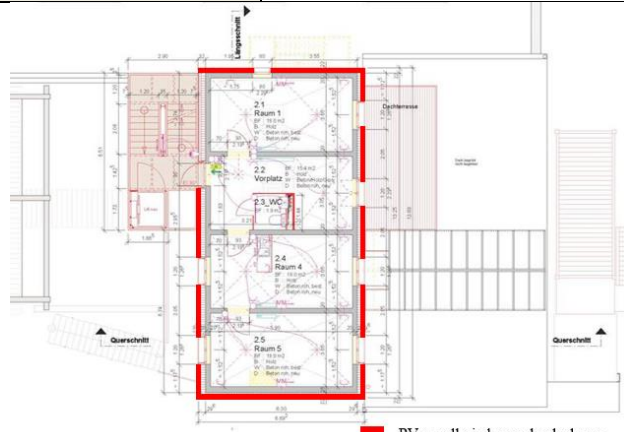
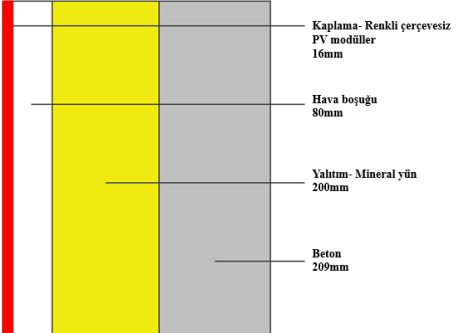
Çizelge 2.19. Bursagaz Ofis binası analizi (Architizer, 2021; Arch20, 2018; Onyx, 2016; Bursagaz, 2019; Kaya ve Beyhan, 2021)

BURSAGAZ OFİS BİNASI					ÖRNEK 8
BİNA KÜNYESİ	Mimar	TAGO Architects			
	Konum	Bursa, Türkiye			
	İklim	Ilıman iklim			
	Yapım yılı	2013- 2016			
	Yapı işlevi	Ofis binası			
	Tasarım konsepti	Pasif ev tasarım yaklaşımı			
	Taban alanı	820 m ²			
	Kat adedi/ Yüksekliği	7 kat+ 3 bodrum katı			
	Cephe tipi	Çift kabuklu PV cephe			
	Çatı tipi	Teras çatı			
Tasarım Hedefi	. Bina enerji korunumu . Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı(güneş, rüzgar) . Kullanıcı konforu/ sağlığı				
MİMARİ ÇİZİMLER	 PV panellerin konumlandırılması				
	 Çatı kat planı				
	 PV panellerin konumlandırılması				
	Kesit				
MİMARİ BÜTÜNLEŞME	Uygulama Tipi: BIPV sistem: X BAPV sistem: X				
	Konum: Cephe: - Çatı: X				
	Kullanım biçimi: Cephe kaplama malzemesi olarak				
	Bütünleşme Şekli	Fiziksel	Görsel	İşlevsel	Dinamik
	Ayrık	X (Çatı)	X (Çatı)	X (Çatı)	-
	Bitişik	X (Cephe)	X (Cephe)	X (Cephe)	-
	Bağlantılı	-	-	-	-
	Birbirine Geçmiş	-	-	-	-
	Bileşik	-	-	-	-

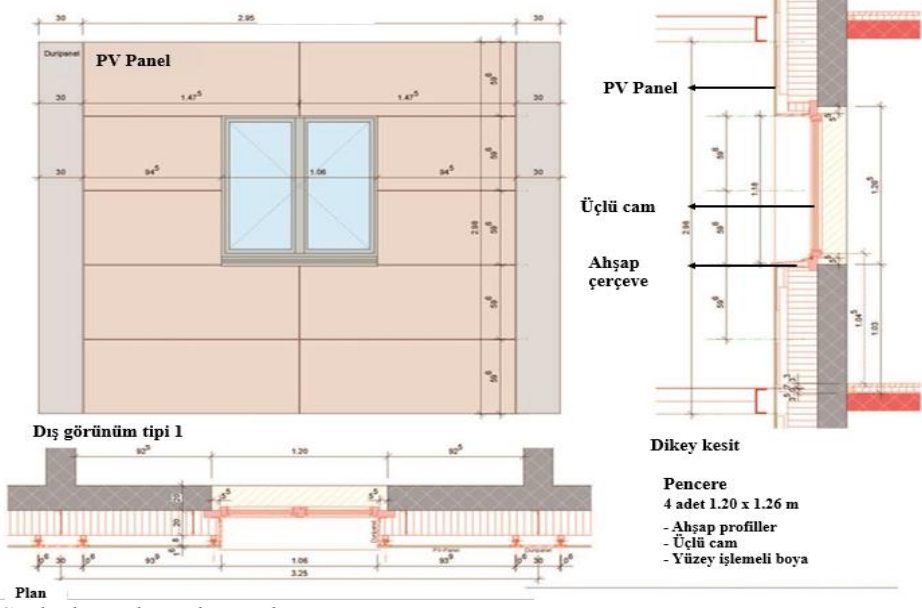
Çizelge 2.19. (devam) Bursagaz Ofis binası analizi (Architizer, 2021; Arch20, 2018; Onyx, 2016; Bursagaz, 2019; Kaya ve Beyhan, 2021)

BURSAGAZ OFİS BİNASI			ÖRNEK 8
TEKNİK DETAY	Cephede bulunan BIPV detayı		
BÜTÜNLEŞİK CEPHE TASARIMI	BIPV Uygulaması	Cephe: Sıcak cephe PV uygulaması	
	BIPV Uygulama Tipi	Cephe: Çift kabuklu cephe kaplama malzemesi	
	PV Sistem Sınıfı	Şebekeden bağımsız (Off-grid)	
	PV Kurulum Alanı	315 m ² (50cm x70cm)	
	PV Hücre Tipi	%20 saydam amorf silikon cam	
	Potansiyel Güç	4.1 kWp	
	PV Eğim Açısı	90° (cepheler)	
	Geri Ödeme Süresi	6 yıl	
	Yıllık Enerji Üretimi	3 400 kWh/ m ² y	
BÜTÜNLEŞİK	Verimlilik Oranı	İhtiyaç duyduğu enerjinin %10'u PV sistemler tarafından karşılanmaktadır.	
	1. Yenilenebilir enerji bütünleşen tasarım	BIPV, PV ve rüzgar türbini	
	2. Yenilenebilir enerji bütünleşen uygulama	Çift kabuklu cephe üzerine BIPV uygulaması ve PV montajı ve çatıda rüzgar türbini	
NOTLAR	3. Kullanım sonrası	-	
	- Binaya bütünleşik tasarım yöntemleri ile çatı ve cephelere fotovoltaiik sistemler bütünleştirilmiş böylece bina enerji verimliliği artırılmıştır. - Alınan sürdürülebilir kararlar ile LEED Platinium Sertifikası'na sahip olmuştur. - Binada, 85 konutun enerji tüketimine eş değer bir enerji korunumu sağlanmaktadır. - Bütünleşik tasarım yöntemleri ile HVAC sistemlerinin enerji ihtiyacında %28 oranında azalma olmuştur.		

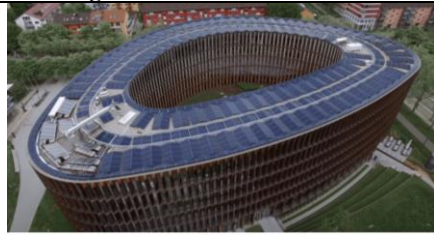
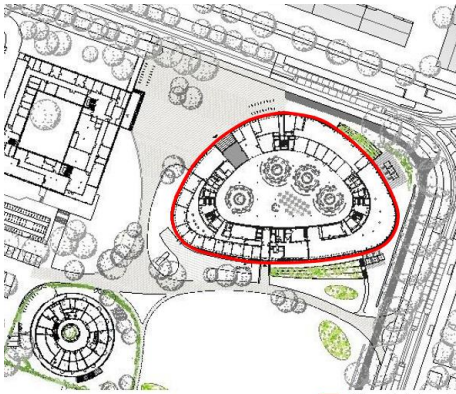
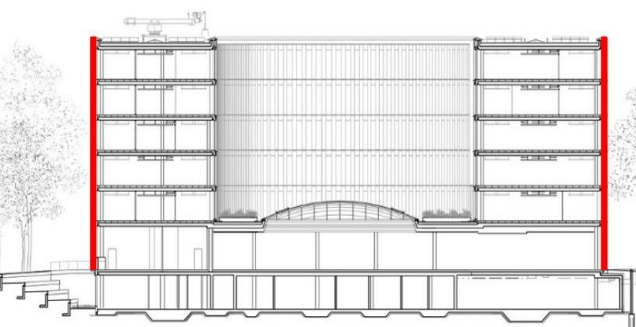
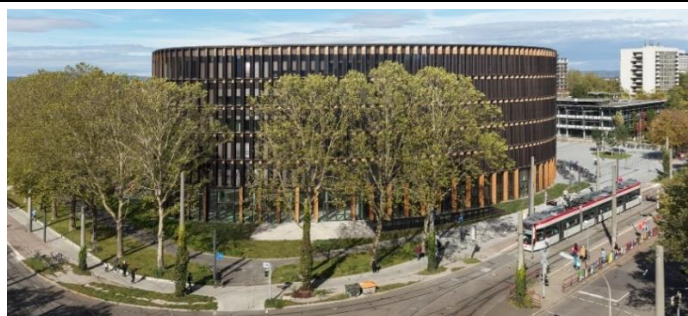
Çizelge 2.20. Solar Silo Ofis binası analizi (Hiberatlas, 2020; Solarchitecture, 2019)

SOLAR SILO OFİS BİNASI				ÖRNEK 9		
BİNA KÜNYESİ	Mimar	Kerstin Müller, Baubüro In Situ AG			 Solar Silo Ofis Binası	
	Konum	Basel, İsviçre				
	İklim	Ilıman okyanusal iklim (Cfb)				
	Yapım Yılı	1850-1899				
	Yenileme	2014				
	Yapı İşlevi	Ofis Binası				
	Mimari Konsept	Pasif Ev Tasarım Yaklaşımı				
	Taban Alanı	673 m ²				
	Kat adedi/yüksekliği	Zemin + 5 kat				
	Cephe Tipi	Düşey PV cephe sistemi				
Çatı Tipi	Kırma Çatı PV					
Güçlendirme Tasarım Hedefleri	. Fosil enerji kullanmadan enerjisini sahadaki yenilenebilir kaynaklardan elde etme, . Basel’de ‘2000 Watt’ pilot proje hedefi, . Modernize edilmiş tamamen enerji verimli çok amaçlı bina.					
MİMARİ ÇİZİMLER	 Kat planı				 Duvar kesiti	
	PV panellerin konumlandırılması					
MİMARİ BÜTÜNLEŞME	Uygulama Tipi: BIPV sistem: X BAPV sistem: -					
	Konum: Cephe: X Çatı: X					
	Kullanım biçimi: Cephe kaplama malzemesi olarak					
	Bütünleşme Şekli	Fiziksel	Görsel		İşlevsel	Dinamik
	Ayrık	-	-		-	-
	Bitişik	X (Çatı/ Cephe)	X (Çatı/ Cephe)		X (Çatı/ Cephe)	-
	Bağlantılı	-	-		-	-
	Birbirine Geçmiş	-	-	-	-	
	Bileşik	-	-	-	-	

Çizelge 2.20. (devam) Solar Silo Ofis binası analizi (Hiberatlas, 2020; Solarchitecture, 2019)

SOLAR SILO OFİS BİNASI		ÖRNEK 9																											
TEKNİK DETAY	 Plan Cephede PV bütünleşem detayı																												
	<table border="1"> <tr> <th></th> <th>Önce</th> <th>Sonra</th> </tr> <tr> <td>Binanın ısııl geçirgenlik kat sayısı (W/m²K)</td> <td>Dış duvar: 2,0</td> <td>Dış duvar: 0,16</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Tavan: 2,0</td> <td>Tavan: 0,19</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Pencere: 3,5</td> <td>Pencere: 1,4</td> </tr> </table> <table border="1"> <tr> <td>PV Hücre Tipi</td> <td>Tek kristalli silikon hücre</td> </tr> <tr> <td>PV Uygulama Yönü</td> <td>Kuzey, güney cephe ve çatı</td> </tr> <tr> <td>PV Uygulama Tipi</td> <td>Soğuk cephe PV uygulaması</td> </tr> <tr> <td>PV Eğim Açısı</td> <td>90° (cephe), 11° (çatı)</td> </tr> <tr> <td>PV Kurulum Alanı</td> <td>159 m²</td> </tr> <tr> <td>Birincil enerji tüketimi</td> <td>66 kWh/m².y</td> </tr> <tr> <td>PV Enerji Üretimi</td> <td>16 400 kWh/ m²y</td> </tr> <tr> <td>Verimlilik oranı</td> <td>İhtiyaç duyulan enerjinin % - BIPV sisteminden karşılamaktadır.</td> </tr> </table>		Önce	Sonra	Binanın ısııl geçirgenlik kat sayısı (W/m²K)	Dış duvar: 2,0	Dış duvar: 0,16		Tavan: 2,0	Tavan: 0,19		Pencere: 3,5	Pencere: 1,4	PV Hücre Tipi	Tek kristalli silikon hücre	PV Uygulama Yönü	Kuzey, güney cephe ve çatı	PV Uygulama Tipi	Soğuk cephe PV uygulaması	PV Eğim Açısı	90° (cephe), 11° (çatı)	PV Kurulum Alanı	159 m²	Birincil enerji tüketimi	66 kWh/m².y	PV Enerji Üretimi	16 400 kWh/ m²y	Verimlilik oranı	İhtiyaç duyulan enerjinin % - BIPV sisteminden karşılamaktadır.
	Önce	Sonra																											
Binanın ısııl geçirgenlik kat sayısı (W/m²K)	Dış duvar: 2,0	Dış duvar: 0,16																											
	Tavan: 2,0	Tavan: 0,19																											
	Pencere: 3,5	Pencere: 1,4																											
PV Hücre Tipi	Tek kristalli silikon hücre																												
PV Uygulama Yönü	Kuzey, güney cephe ve çatı																												
PV Uygulama Tipi	Soğuk cephe PV uygulaması																												
PV Eğim Açısı	90° (cephe), 11° (çatı)																												
PV Kurulum Alanı	159 m²																												
Birincil enerji tüketimi	66 kWh/m².y																												
PV Enerji Üretimi	16 400 kWh/ m²y																												
Verimlilik oranı	İhtiyaç duyulan enerjinin % - BIPV sisteminden karşılamaktadır.																												
GÖRSELLER																													
NOTLAR	. Bina önceleri kömür silosu işlevi görmekte iken güçlendirme sonrası ofis binasına dönüştürülmüştür. Bina cephe ve çatılarına renkli PV paneller entegre edilmiştir. . Bina kabuğu termal olarak yalıtılmış, kuzey, güney cephelerde renkli PV paneller kullanılırken doğu ve batı sıva yapılmıştır. . Yenilikçi PV paneller, binanın mimari ifadesine önemli katkı sağlamaktadır. Ödüller: 2015 İsviçre Güneş Ödülü ile 'renovasyon' kategorisinde ödül almıştır.																												

Çizelge 2.21. Freiburg yeni belediye binası analizi (Fraunhofer, 2021; Archdaily, 2017b; Rehault, 2019)

FREİBURG YENİ BELEDİYE BİNASI				ÖRNEK 10	
BİNA KÜNYESİ	Mimar	Ingenhoven Architects		 <i>Freiburg Town Hall Binası</i> 	
	Konum	Freiburg, Almanya			
	İklim	Karasal iklim			
	Yapım Yılı	2017			
	Yapı İşlevi	Ofis/ Kamu Binası			
	Mimari Konsept	Pozitif enerjili bina tasarımı			
	Taban Alanı	26115 m ²			
	Kat Adedi/Yüksekliği	Zemin + 5 kat			
	Cephe Tipi	Düşey PV cephe sistemi			
	Çatı Tipi	Teras çatı			
Tasarım Hedefleri	. Dünyanın ilk kamuya ait pozitif enerjili (tükettiğinden daha fazla enerji üreten) bina hedefi, . Bütünleşik planlama ve başarı kontrolü için araçları daha da geliştirmek, . Arz talep dinamik yük profillerini işletim sırasında optimize etmek.				
MİMARİ ÇİZİMLER	 PV panellerin konumu <i>New Town Hall binasının zemin kat planı</i>		 <i>Kesit</i>		
	Uygulama Tipi: BIPV sistem: X BAPV sistem: X		 <i>Binanın genel görünümü</i>		
Konum: Cephe: X Çatı: X					
Kullanım biçimi: Cephede güneş kırıcı olarak kullanım					
MİMARİ BÜTÜNLEŞME	Bütünleşme Şekli	Fiziksel	Görsel	İşlevsel	Dinamik
	Ayrık	X (Çatı)	X (Çatı)	X (Çatı)	-
	Bitişik	-	-	-	-
	Bağılantılı	-	-	-	-
	Birbirine Geçmiş	X (Cephe)	X (Cephe)	X (Cephe)	-
	Bileşik	-	-	-	-

Çizelge 2.21. (devam) Freiburg yeni belediye binası analizi (Fraunhofer, 2021; Archdaily, 2017b; Rehault, 2019)

FREIBURG YENİ BELEDİYE BİNASI			ÖRNEK 10
BÜTÜNLEŞİK CEPHE TASARIMI	Binanın ısıl geçirgenlik kat sayısı (W/m ² K)	Dış duvar: 0.1	Pencere: 0.8
	PV Hücre Tipi	Tek kristalli silikon hücre	
	PV Uygulama	Cephe ve çatılara PV bütünleştirme	
	PV Uygulama Tipi	Cephe: Gölgeleme elemanı olarak uygulanan PV	
		Çatı: Monte edilen PV uygulaması	
	PV Sistem Sınıfı	Şebekeye bağlı PV sistem (On grid)	
	PV Kurulu Güç	Cephe: 220 kWp Çatı: 440 kWp	
	PV Enerji Üretimi	Çatı: 982 kWh/ kWp, %81 Cephe: 448 kWh/ kWp, %18 PV-T: 869 kWh/ kWp, %1	
	Birincil enerji tüketimi	61.1 kWh/ m ² y	
	Verimlilik Oranı	İhtiyaç duyulan enerjinin yıllık % 23.7 (nisan - ekim ort. %30'un üzerinde) BIPV sisteminden karşılamaktadır.	

Cephede güneş kırıcı PV sistemi

Month	PV Roof Production 2018	PV Facade Production 2018	PV Roof Production 2019	PV Facade Production 2019
Jan 18/19	28	166	28	140
Feb 18/19	53	172	53	121
Mar 18/19	84	141	84	141
Apr 18/19	96	162	96	141
May 18/19	97	173	97	102
Jun 18/19	117	202	117	84
Jul 18/19	134	213	134	79
Aug 18/19	89	183	89	84
Sep 18/19	57	141	57	113
Oct 18/19	41	132	41	90
Nov 18/19	24	133	24	133
Dec 18/19	24	133	24	133

Fotovoltaik enerji üretimi

Month	PV Production	Consumption	Required/Excess Energy	Self-Sufficiency	Self-Consumption
Jan 18	166	140	28	100	0
Feb 18	172	121	53	100	0
Mar 18	141	141	84	100	0
Apr 18	162	141	96	100	0
May 18	173	102	97	100	0
Jun 18	202	84	117	100	0
Jul 18	213	79	134	100	0
Aug 18	183	84	89	100	0
Sep 18	141	113	57	100	0
Oct 18	132	90	41	100	0
Nov 18	133	133	24	100	0
Dec 18	133	133	24	100	0

Aylık birincil enerji dengesi

ENERJİ VERİLERİ

Çizelge 2.21. (devam) Freiburg yeni belediye binası analizi (Fraunhofer, 2021; Archdaily, 2017b; Rehault, 2019)

FREİBURG YENİ BELEDİYE BİNASI		ÖRNEK 10
GÖRSELLER	  <i>Binanın avlusunda bulunan cam tavanlı ofisler</i>	
NOTLAR	. Net pozitif enerjili olarak tasarlanan bina üzerinde bir yılda yapılan gözlemler sonucu, tanımlanan sınırlar içerisinde aydınlatma ve elektrik tüketimi ölçülemediği için bir pozitif enerji dengesine neredeyse ulaştığı görülmüştür. . İşletimde, ısı pompaları ve klima santralleri ile %15'e varan optimizasyon potansiyeli sağlanmıştır. . Isı pompası sisteminin performansı, beklendiği gibi daha düşük COP ile optimizasyon potansiyelini ortaya çıkarmıştır.	

Çizelge 2.22. Silo Bleu binası analizi (Solararchitecture, 2019)

SİLO BLEU BİNASI

ÖRNEK 11

BİNA KÜNYESİ

Mimar	Epure Architecture et Urbanisme SA
Konum	Renens/ İsviçre
İklim	Ilıman okyanusal iklim (Cfb)
Yapım Yılı	2018
Yapı İşlevi	Rezidans+ Yönetim Binası
Mimari Konsept	Sürdürülebilirliği projeye bütünleştirmek
Taban Alanı	-m ²
Kat adedi/yüksekliği	Zemin+ 15 kat
Cephe Tipi	Düşey PV cephe sistemi
Çatı Tipi	Teras çatı

Tasarım Hedefleri

. Binada yüksek enerji verimliliği (n-ZEB, Pasif ev, PEB- Positive Energy Building) standartlarını sağlamak,

. Yeni bir biçimsel tanım, yapıya kimlik kazandıran yapı elemanlarını kullanmak.

MİMARİ ÇİZİMLER

PV panellerin konumlandırılması

5. kat planı

PV panellerin konumlandırılması

15. kat planı

PV panellerin konumlandırılması

Görünüş

MİMARİ BÜTÜNLEŞME

Uygulama Tipi:
BIPV sistem: X
BAPV sistem: -

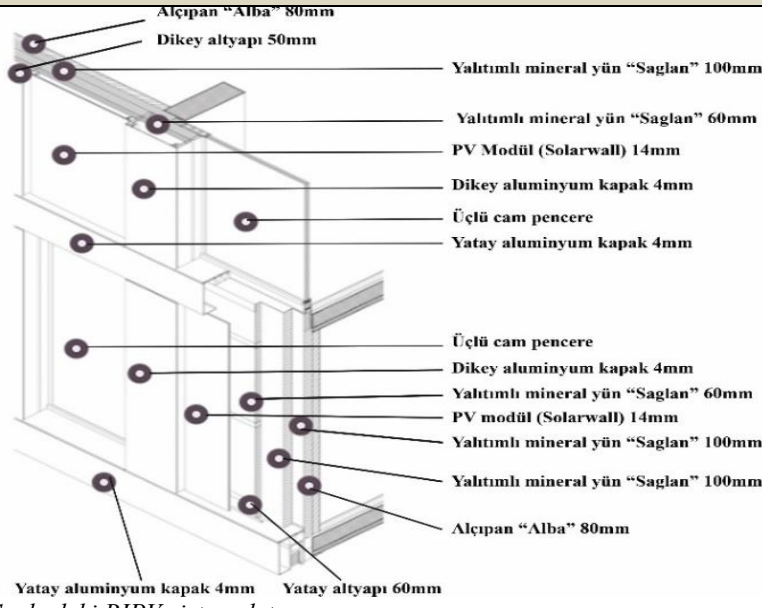
Konum:
Cephe: X
Çatı: X

Kullanım biçimi:
Cephe kaplama malzemesi olarak

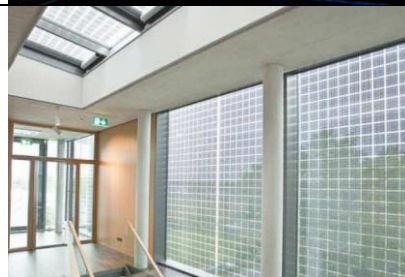
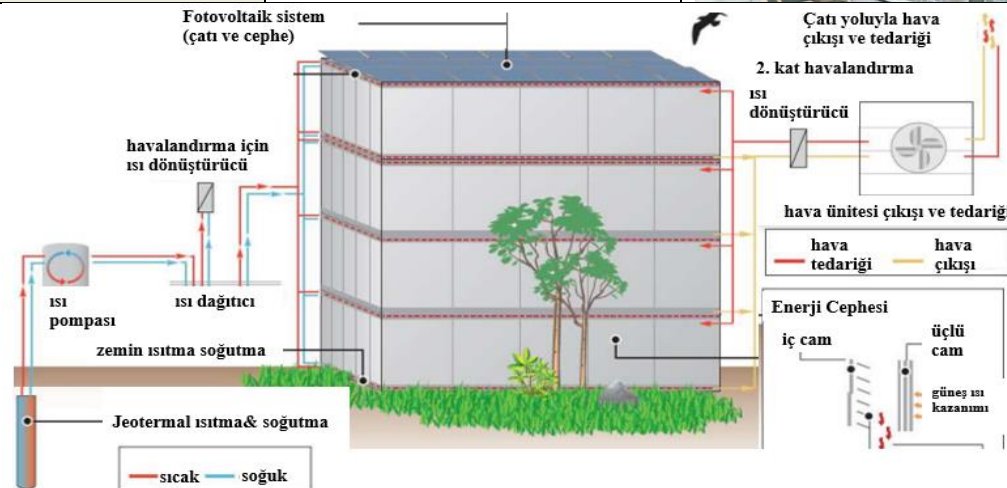
Bina görünüşleri

Bütünleşme Şekli	Fiziksel	Görsel	İşlevsel	Dinamik
Ayrık	X	X	X	-
Bitişik	X (Cephe)	X (Cephe)	X (Cephe)	-
Bağılantılı	-	-	-	-
Birbirine Geçmiş	-	-	-	-
Bileşik	-	-	-	-

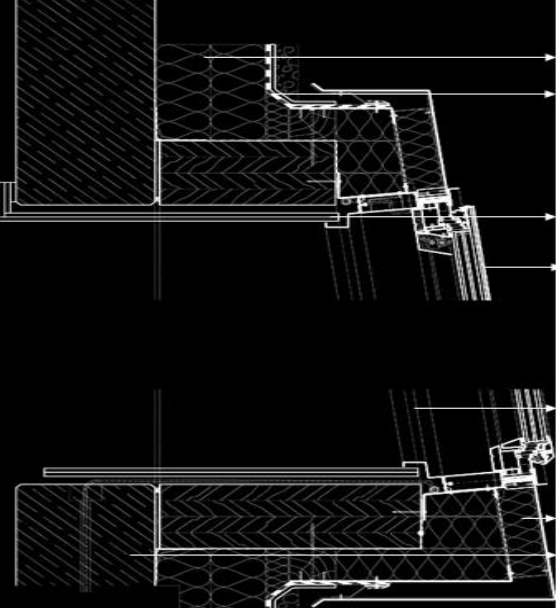
Çizelge 2.22. (devam) Silo Bleu binası analizi (Solarchitecture, 2019)

SİLO BLEU BİNASI					ÖRNEK 11																																						
TEKNİK DETAY	 <i>Cephedeki BIPV sistem detayı</i>																																										
	<table border="1"> <tr> <td>Binanın ısıl geçirgenlik kat sayısı (W/m²K)</td> <td>Dış duvar: 0.14</td> <td>Çatı: 0.09</td> <td>Pencere: 0.6</td> </tr> <tr> <td>PV Hücre Tipi</td> <td colspan="3">Tek kristalli silikon hücre</td> </tr> <tr> <td>PV Uygulama</td> <td colspan="3">Cephe ve çatılara PV bütünleştirmek</td> </tr> <tr> <td>PV Uygulama Tipi</td> <td colspan="3">Soğuk cephe PV uygulaması</td> </tr> <tr> <td>Aktif Yüzey Oranı</td> <td>Cephe: %10</td> <td>Çatı: %90</td> <td></td> </tr> <tr> <td>PV Kurulum Alanı</td> <td>Cephe: 926 m²</td> <td>Çatı: 139 m²</td> <td></td> </tr> <tr> <td>PV Zirve Gücü</td> <td>Cephe: 131,6 kWp</td> <td>Çatı: 8,2 kWp</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Final Verim</td> <td colspan="3">644 kWh/kWp</td> </tr> <tr> <td>PV Enerji Üretimi</td> <td colspan="3">90 000 kWh/yr</td> </tr> <tr> <td>Verimlilik oranı</td> <td colspan="3">İhtiyaç duyulan enerjinin % 90'ı BIPV sisteminden karşılamaktadır.</td> </tr> </table>				Binanın ısıl geçirgenlik kat sayısı (W/m²K)	Dış duvar: 0.14	Çatı: 0.09	Pencere: 0.6	PV Hücre Tipi	Tek kristalli silikon hücre			PV Uygulama	Cephe ve çatılara PV bütünleştirmek			PV Uygulama Tipi	Soğuk cephe PV uygulaması			Aktif Yüzey Oranı	Cephe: %10	Çatı: %90		PV Kurulum Alanı	Cephe: 926 m²	Çatı: 139 m²		PV Zirve Gücü	Cephe: 131,6 kWp	Çatı: 8,2 kWp		Final Verim	644 kWh/kWp			PV Enerji Üretimi	90 000 kWh/yr			Verimlilik oranı	İhtiyaç duyulan enerjinin % 90'ı BIPV sisteminden karşılamaktadır.	
Binanın ısıl geçirgenlik kat sayısı (W/m²K)	Dış duvar: 0.14	Çatı: 0.09	Pencere: 0.6																																								
PV Hücre Tipi	Tek kristalli silikon hücre																																										
PV Uygulama	Cephe ve çatılara PV bütünleştirmek																																										
PV Uygulama Tipi	Soğuk cephe PV uygulaması																																										
Aktif Yüzey Oranı	Cephe: %10	Çatı: %90																																									
PV Kurulum Alanı	Cephe: 926 m²	Çatı: 139 m²																																									
PV Zirve Gücü	Cephe: 131,6 kWp	Çatı: 8,2 kWp																																									
Final Verim	644 kWh/kWp																																										
PV Enerji Üretimi	90 000 kWh/yr																																										
Verimlilik oranı	İhtiyaç duyulan enerjinin % 90'ı BIPV sisteminden karşılamaktadır.																																										
BÜTÜNLEŞİK CEPHE TASARIMI	 <i>Cephe ile bütünleştirilen BIPV sistemi</i>																																										
	 <i>Bina genel görünümü</i>																																										
GÖRSELLER	 <i>Bina iç mekan görünümü</i>																																										
	 <i>Bina iç mekan görünümü</i>																																										
NOTLAR	. Projenin dört cephesinde, 1.40X 2.80 m boyutlarında rasterlar tanımlanmıştır. . Binanın dört cephesine bütünleştirilen, 21 farklı ölçüde 1207 m2 alan kaplayan 427 BIPV modülü strüktürel özel camlar geliştirilmiştir.																																										
	Ödüller: Schweizer Solarpreis 2019- New Buildings ödülünü almıştır.																																										

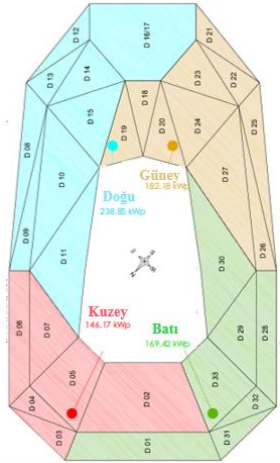
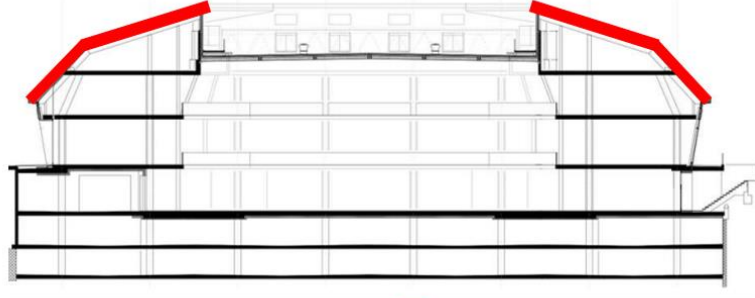
Çizelge 2.23. Stadterke Konstanz Customer Centre binası analizi (Detail, 2011; Solararchitecture, 2019; Stylepark, 2011; SUPSI, 2014)

STADTWERKE KONSTANZ CUSTOMER CENTER BİNASI				ÖRNEK 12	
BİNA KÜNYESİ	Mimar	Arnold Wild, Stadterke Konstanz		 	
	Konum	Konstanz / Almanya			
	İklim	Karasal iklim			
	Yapım Yılı	2011			
	Yapı İşlevi	Yönetim			
	Mimari Konsept	Yüksek enerji performanslı bina			
	Taban Alanı	800m ²			
	Kat adedi/yüksekliği	Zemin+ 3 kat			
	Cephe Tipi	Düşey PV cephe sistemi			
	Çatı Tipi	Teras çatı			
Tasarım Hedefleri	- Yaşamı boyunca harcadığı enerjiden daha fazla enerji üretme hedefi, - Enerji verimliliği açısından optimal form seçimi. - Pozitif enerjili bina elde etmek.				
MİMARİ TASARIM	 <i>Toprak kaynaklı ısı pompası</i>				
	Uygulama Tipi: BIPV sistem: X BAPV sistem: - Konum: Cephe: X Çatı: X Kullanım biçimi: Cephe kaplama malzemesi olarak				
MİMARİ BÜTÜNLEŞME					
	Bütünleşme Şekli	Fiziksel	Görsel	İşlevsel	Dinamik
	Ayrık	-	-	-	-
	Bitişik	X (Cephe)	X (Cephe)	X (Cephe)	-
	Bağlantılı	X (Çatı)	X (Çatı)	X (Çatı)	-
	Birbirine Geçmiş	-	-	-	-
	Bilesik	-	-	-	-

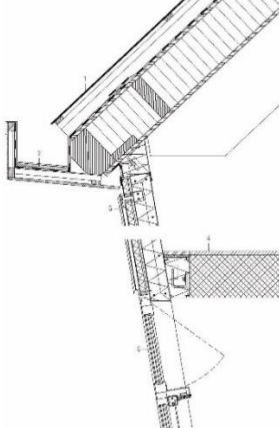
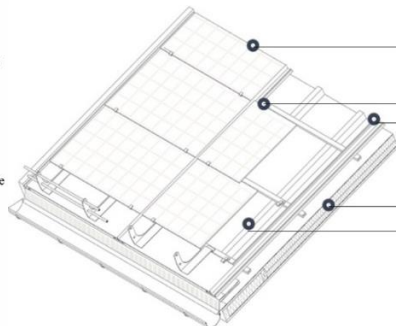
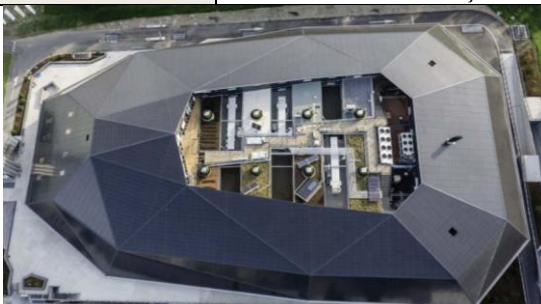
Çizelge 2.23. (devam) Stadterke Konstanz Customer Centre binası analizi (Detail, 2011; Solararchitecture, 2019; Stylepark, 2011; SUPSI, 2014)

STADTWERKE KONSTANZ CUSTOMER CENTER BİNASI		ÖRNEK 12
TEKNİK DETAY	 Isı yalıtımı Su yalıtımı Kaplama PV panel Üçlü cam Isı yalıtımı Betonarme duvar	
	<i>BIPV sisteminin bina ile bağlantı detayı</i>	
BÜTÜNLEŞİK CEPHE TASARIMI	Binanın ısııl geçirgenlik kat sayısı (W/m ² K)	Dış duvar: 0.11
	PV Hücre Tipi	Tek kristalli silikon hücre
	PV Uygulama	Cephe ve çatılara PV bütünleştirmesi
	PV Uygulama Tipi	Sıcak cephe PV uygulaması
	PV Kurulum Alanı	Cephe: 495 m ²
	PV Zirve Gücü	24 540 kWp
	Aktif Güneş Yüzey Oranı	%75'den fazla (güney cephesi)
	Verimlilik oranı	İhtiyaç duyulan enerjinin %- BIPV sisteminden karşılamaktadır.
GÖRSELLER	 	
	<i>Merdiven boşluğunun tavanında ve güney cephesinde yarı saydam fotovoltaik panellerin kullanımı</i>	
NOTLAR	. Bina enerjisi, ısıtma ve soğutma sistemlerini karşılamak için güneş ve topraktan sağlanmaktadır. . Dört katlı yapının güney tarafı, camdan yapılmış ve kirişlere entegre edilmiş 20 adet özelleştirilmiş yarı saydam fotovoltaik paneller ile kaplıdır. . Cam paneller arasındaki, mekanik havalandırma ile havalandırılmaktadır. . Cephelerde kullanılan yarı saydam fotovoltaiklerin boyutları 3.00x4.00 m ve 1 tondan fazla ağırlığa sahiptir.	

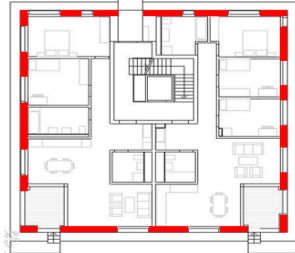
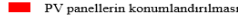
Çizelge 2.24. Umwelt Arena AG binası analizi (Archdaily, 2012; Helbling, t.y.; Solararchitecture, 2019)

UMWELT ARENA AG				ÖRNEK 13	
BİNA KÜNYESİ	Mimar	René Schmid Architekten AG			
	Konum	Spreitenbach/ İsviçre			
	İklim	Ilıman okyanusal iklim (Cfb)			
	Yapım Yılı	2011			
	Yapı İşlevi	Etkinlik ve sergi binası			
	Mimari Konsept	Yüksek enerji performanslı bina			
	Taban Alanı	-m ²			
	Kat adedi/yüksekliği	Zemin+ 2 kat+ 3 kat bodrum			
	Cephe Tipi	Eğimli cephe			
	Çatı Tipi	Eğimli PV çatı			
Tasarım Hedefleri	. Estetik ve ekolojinin mimaride bütünleşmesi, . Yaşamı boyunca harcadığı enerjiden daha fazla enerji üretme hedefi, . Sıfır karbonlu bina hedefi. . Pozitif enerjili bina elde etmek. . İnşaat ve işletmede enerji verimli bina.				
MİMARİ ÇİZİMLER					
	Çatı planında cephelerin enerji üretimi		Kesit		
MİMARİ BÜTÜNLEŞME	Uygulama Tipi: BIPV sistem: X BAPV sistem: -				
	Konum: Cephe: - Çatı: X				
	Kullanım biçimi: Cephe kaplama malzemesi olarak				
	Bütünleşme Şekli	Fiziksel	Görsel	İşlevsel	Dinamik
	Ayrık	-	-	-	-
	Bitişik	-	-	-	-
	Bağlantılı	-	-	-	-
	Birbirine Geçmiş	-	-	-	-
	Bileşik	X (Kabuk)	X (Kabuk)	X (Kabuk)	-

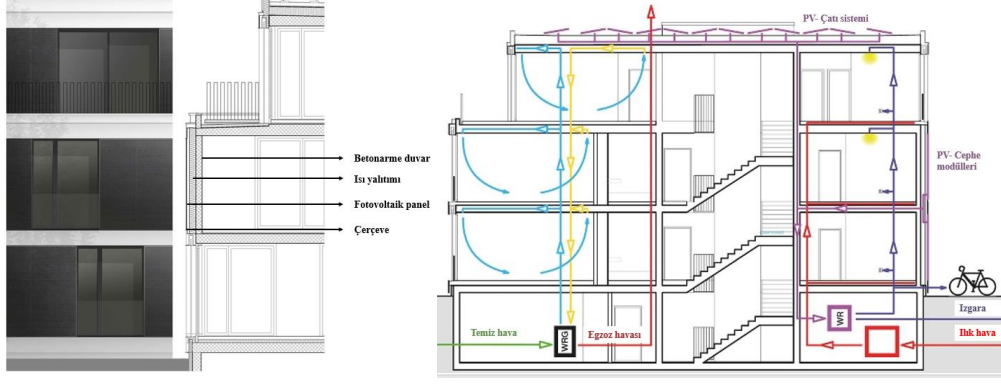
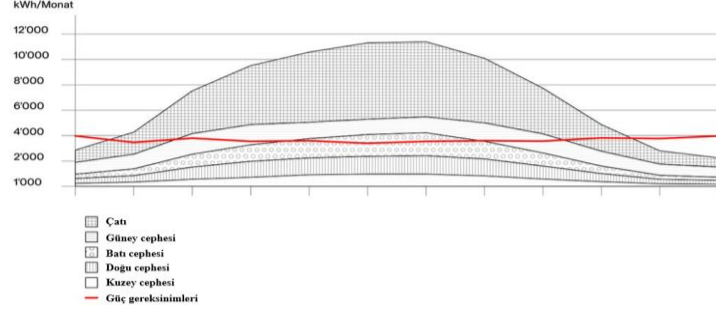
Çizelge 2.24. (devam) Umwelt Arena AG binası analizi (Archdaily, 2012; Helbling, t.y.; Solararchitecture, 2019)

UMWELT ARENA AG		ÖRNEK 13																					
TEKNİK DETAY	 1) Sırt levhali antrasit güneş paneli 6.5mm Çitılar 3cm / Değişken kontra çitılar Çatı mebranı altında ahşap elemanlar 42cm Krom levha ayırma katmanı 2) Üç katmanlı ahşap 4cm/ Çelik folyo 4mm Fiber çimento paneller 3) Alüminyum sadıvıç paneller 8.5cm Açılı çelik profil Yalıtımlı kaynakla birleşme 3.5mm 4) Sert beton pigmenti 3cm Beton tavan 34cm/ Çelik saç yalıtımlı cephe sabitleme 12mm 5) Üç camlı açılır kanat <i>Çatı pencere birleşim detayı</i>	 Fotovoltaik Modül Büyük kayrak II kanca Su oluğu Isı yalıtım Çitılar <i>Standart çatı detayı</i>																					
	<table border="1"> <tr> <td>Binanın ısıl geçirgenlik kat sayısı (W/m²K)</td> <td>Dış kabuk: 0.28 (ortalama)</td> </tr> <tr> <td>PV Hücre Tipi</td> <td>Tek kristalli silikon hücre</td> </tr> <tr> <td>PV Modül Saydamlığı</td> <td>Opak</td> </tr> <tr> <td>PV Uygulama</td> <td>Çatıya PV bütünleştirmesi</td> </tr> <tr> <td>PV Uygulama Tipi</td> <td>Çatı kiremiti bütünleşme (solar tiles)</td> </tr> <tr> <td>PV Uygulama Yönü</td> <td>Kuzey, güney, doğu, batı</td> </tr> <tr> <td>PV Kurulum Alanı</td> <td>12.734 m²</td> </tr> <tr> <td>PV Zirve Gücü</td> <td>737 kWp</td> </tr> <tr> <td>PV Enerji Üretimi</td> <td>540 000 kWp</td> </tr> <tr> <td>Aktif Güneş Yüzey Oranı</td> <td>%75'den fazla (güney cephesi)</td> </tr> <tr> <td>Verimlilik oranı</td> <td>İhtiyaç duyulan enerjinin %100 BIPV sisteminden karşılamaktadır.</td> </tr> </table>	Binanın ısıl geçirgenlik kat sayısı (W/m²K)	Dış kabuk: 0.28 (ortalama)	PV Hücre Tipi	Tek kristalli silikon hücre	PV Modül Saydamlığı	Opak	PV Uygulama	Çatıya PV bütünleştirmesi	PV Uygulama Tipi	Çatı kiremiti bütünleşme (solar tiles)	PV Uygulama Yönü	Kuzey, güney, doğu, batı	PV Kurulum Alanı	12.734 m²	PV Zirve Gücü	737 kWp	PV Enerji Üretimi	540 000 kWp	Aktif Güneş Yüzey Oranı	%75'den fazla (güney cephesi)	Verimlilik oranı	İhtiyaç duyulan enerjinin %100 BIPV sisteminden karşılamaktadır.
Binanın ısıl geçirgenlik kat sayısı (W/m²K)	Dış kabuk: 0.28 (ortalama)																						
PV Hücre Tipi	Tek kristalli silikon hücre																						
PV Modül Saydamlığı	Opak																						
PV Uygulama	Çatıya PV bütünleştirmesi																						
PV Uygulama Tipi	Çatı kiremiti bütünleşme (solar tiles)																						
PV Uygulama Yönü	Kuzey, güney, doğu, batı																						
PV Kurulum Alanı	12.734 m²																						
PV Zirve Gücü	737 kWp																						
PV Enerji Üretimi	540 000 kWp																						
Aktif Güneş Yüzey Oranı	%75'den fazla (güney cephesi)																						
Verimlilik oranı	İhtiyaç duyulan enerjinin %100 BIPV sisteminden karşılamaktadır.																						
GÖRSELLER	  <i>Yapının vaziyet görünümü ve kullanılan BIPV sistemi</i>																						
NOTLAR	. Binayla bütünleşik fotovoltaik paneller, %203 oranında yapının enerji ihtiyacını karşılamaktadır. . PV modüller çatıda yontulmuş kristalin formunda tasarlanmıştır. . Binanın ısı depolama ve dağıtımı; termoaktif birleşen sistem ile beton tavan yoluyla ısıtma ve soğutma, jeotermal ısı kolektörü, enerji depolama tankları, ventilasyon sistemi. Ödüller: . Schweizer Solarpreis 2012 . European Solar Prize 2012 . Norman Foster Solar Award 2012																						

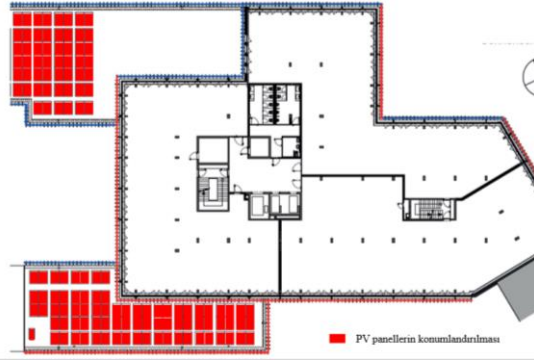
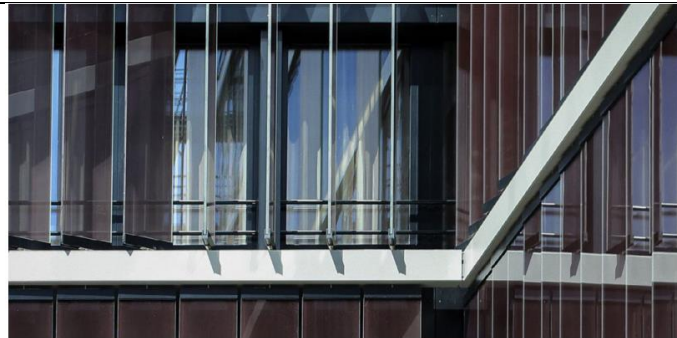
Çizelge 2.25. Fehlman Estate binası analizi (Solararchitecture, 2021; Archello, 2021; Archdaily, 2021)

FEHLMAN ESTATE II KONUTLARI					ÖRNEK 14	
BİNA KÜNYESİ	Mimar	Bob Gysin Partner BGP				
	Konum	Winterthur/ İsviçre				
	İklim	Ilıman okyanusal iklim (Cfb)				
	Yapım Yılı	2010- 2020				
	Yapı İşlevi	Konut				
	Mimari Konsept	Sürdürülebilir mimari				
	Taban Alanı	2590 m ²				
	Kat adedi/yüksekliği	Zemin+ 3 kat				
	Cephe Tipi	Düşey PV cephe				
	Çatı Tipi	Teras çatı				
Tasarım Hedefleri	. Elektrik enerjisi üretebilme özelliğine sahip ve mimari niteliği bozmayan bir cephe oluşturmak, . Uzun süre kendi kendine yetebilen bağımsız konutlar, . Dayanışma ilkesi ile birbirine sık sıkıya bağlı enerji birlikleri oluşturmak.					
MİMARİ ÇİZİM						
						
						
	<i>Binaların zemin kat planları</i>					
						
MİMARİ BÜTÜNLEŞME	Uygulama Tipi: BIPV sistem: X BAPV sistem: X					
	Konum: Cephe: X Çatı: X					
	Kullanım biçimi: Cephe kaplama malzemesi olarak					
	Bütünleşme Şekli	Fiziksel	Görsel		İşlevsel	Dinamik
	Ayrık	X (Çatı)	X (Çatı)		X (Çatı)	-
	Bitişik	X (Cephe)	X (Cephe)		X (Cephe)	-
	Bağlantılı	-	-		-	-
	Birbirine Geçmiş	-	-		-	-
	Bileşik	-	-		-	-

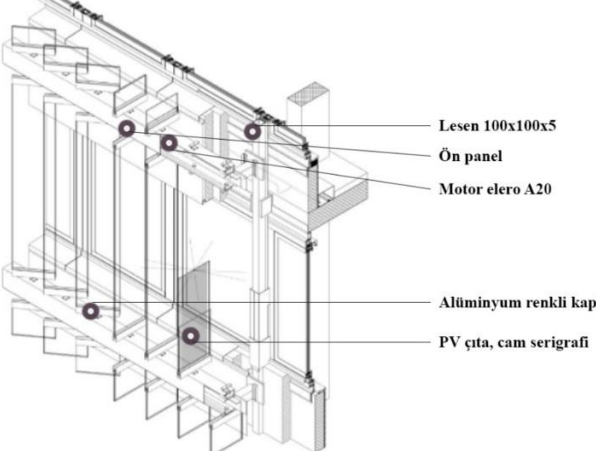
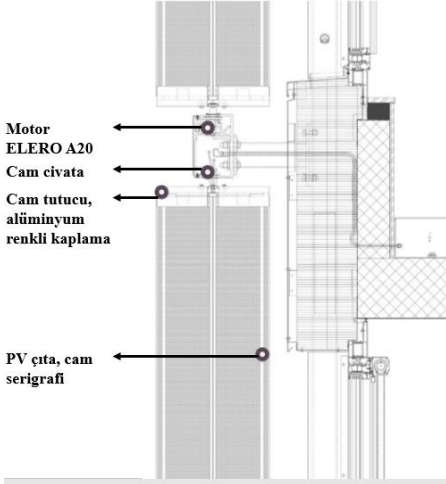
Çizelge 2.25. (devam) Fehlman Estate binası analizi (Solararchitecture, 2021; Archello, 2021; Archdaily, 2021)

FEHLMAN ESTATE II KONUTLARI		ÖRNEK 14																				
TEKNİK DETAY	 Cephe detayı Yapıda aktif sistemlerin kullanım detayı																					
BÜTÜNLEŞİK CEPHE TASARIMI	<table border="1"> <tr> <td>Binanın ısıl geçirgenlik kat sayısı (W/m²K)</td> <td>0.22 (ortalama)</td> </tr> <tr> <td>PV Hücre Tipi</td> <td>Tek kristalli silikon hücre</td> </tr> <tr> <td>PV Modül Saydamlığı</td> <td>Opak ve yarısaydam</td> </tr> <tr> <td>PV Uygulama</td> <td>Çatı ve cepheler</td> </tr> <tr> <td>PV Uygulama Tipi</td> <td>Soğuk cephe PV uygulaması</td> </tr> <tr> <td>PV Kurulum Alanı</td> <td>Çatı: 238 m² Cephe: 590 m²</td> </tr> <tr> <td>PV Zirve Gücü</td> <td>Çatı: 46.9 kWp Cephe: 81.9 kWp</td> </tr> <tr> <td>PV Enerji Üretimi</td> <td>82 700 kWp</td> </tr> <tr> <td>Aktif Güneş Yüzey Oranı</td> <td>%50'den fazla (çatı ve cepheler)</td> </tr> <tr> <td>Verimlilik oranı</td> <td>İhtiyaç duyulan enerjinin % 30'u PV sistemlerden karşılanmaktadır.</td> </tr> </table>	Binanın ısıl geçirgenlik kat sayısı (W/m²K)	0.22 (ortalama)	PV Hücre Tipi	Tek kristalli silikon hücre	PV Modül Saydamlığı	Opak ve yarısaydam	PV Uygulama	Çatı ve cepheler	PV Uygulama Tipi	Soğuk cephe PV uygulaması	PV Kurulum Alanı	Çatı: 238 m² Cephe: 590 m²	PV Zirve Gücü	Çatı: 46.9 kWp Cephe: 81.9 kWp	PV Enerji Üretimi	82 700 kWp	Aktif Güneş Yüzey Oranı	%50'den fazla (çatı ve cepheler)	Verimlilik oranı	İhtiyaç duyulan enerjinin % 30'u PV sistemlerden karşılanmaktadır.	
Binanın ısıl geçirgenlik kat sayısı (W/m²K)	0.22 (ortalama)																					
PV Hücre Tipi	Tek kristalli silikon hücre																					
PV Modül Saydamlığı	Opak ve yarısaydam																					
PV Uygulama	Çatı ve cepheler																					
PV Uygulama Tipi	Soğuk cephe PV uygulaması																					
PV Kurulum Alanı	Çatı: 238 m² Cephe: 590 m²																					
PV Zirve Gücü	Çatı: 46.9 kWp Cephe: 81.9 kWp																					
PV Enerji Üretimi	82 700 kWp																					
Aktif Güneş Yüzey Oranı	%50'den fazla (çatı ve cepheler)																					
Verimlilik oranı	İhtiyaç duyulan enerjinin % 30'u PV sistemlerden karşılanmaktadır.																					
ENERJİ VERİLERİ	 Bina enerji konsepti																					
GÖRSELLER																						
NOTLAR	. Binaların çatılarına eklenen standart PV modülleri metalik bir destek üzerine güneşe uygun açıyla montajlanmıştır. . Pencereler için alüminyum çerçeveli üçlü cam kullanılmıştır. Ödüller: . Prime Property Award 2012 (İlk aşama için)																					

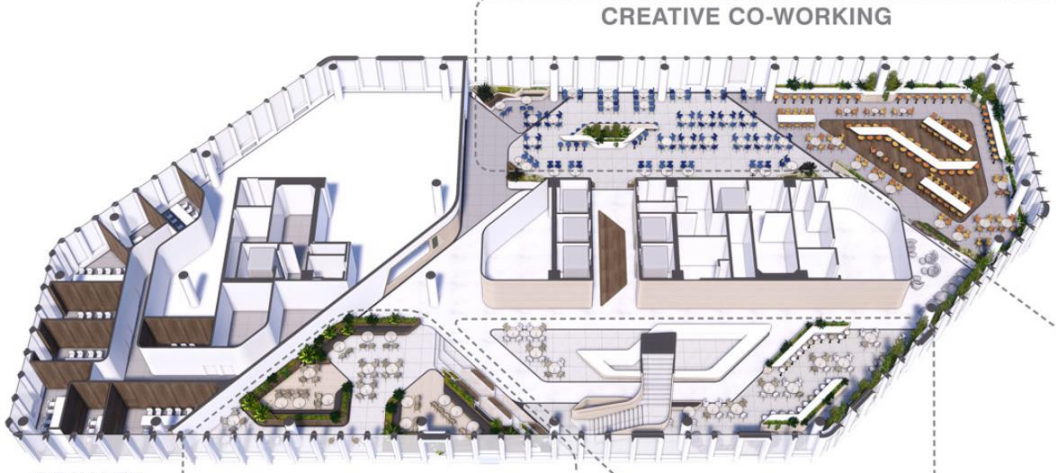
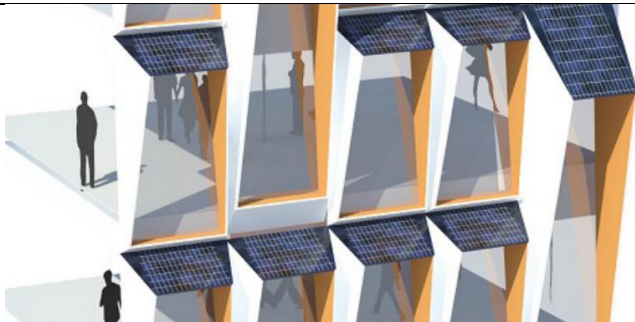
Çizelge 2.26. Die Mobiliar yenileme bina analizi (Solararchitecture, 2020)

DIE MOBILIAR RENOVATION					ÖRNEK 15	
BİNA KÜYESİ	Mimar	GWJ Architektur AG				
	Konum	Bern, İsviçre				
	İklim	Ilıman okyanusal iklim (Cfb)				
	Yapım Yılı	1980'ler				
	Yenileme	2013-2017				
	Yapı İşlevi	Yönetim				
	Mimari Konsept	Sürdürülebilir mimarlık				
	Taban Alanı	-m ²				
	Kat adedi/yüksekliği	Zemin+ 4 kat				
	Cephe Tipi	Düşey PV cephe sistemi				
	Çatı Tipi	Teras çatı				
	Mevcut Durumu	Yenileme- Güçlendirme				
MİMARİ BÜTÜNLEŞME						
	Standart kat planı					Çatı kat planı
MİMARİ BÜTÜNLEŞME	Uygulama Tipi: BIPV sistem: X BAPV sistem: X					
	Konum: Cephe: X Çatı: X					
	Kullanım biçimi: Cephe gölgeleme elemanı olarak					
	Bütünleşme Şekli		Fiziksel	Görsel	İşlevsel	Dinamik
	Ayrık		X (Çatı)	X (Çatı)	X (Çatı)	-
	Bitişik		X (Cephe)	X (Cephe)	X (Cephe)	X (Cephe)
	Bağlantılı		-	-	-	-
	Birbirine Geçmiş		-	-	-	-
	Bileşik		-	-	-	-

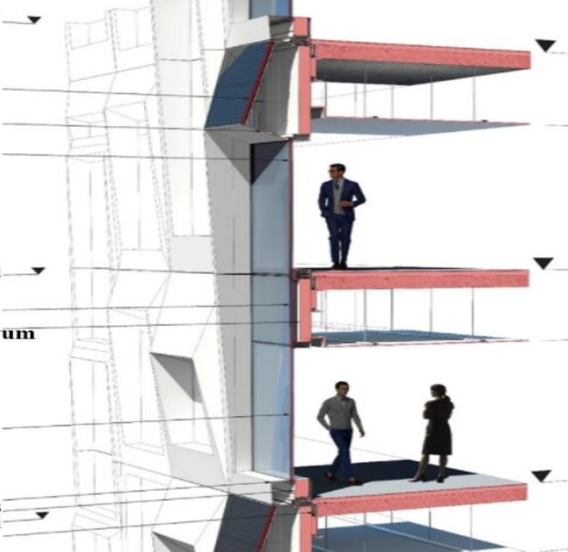
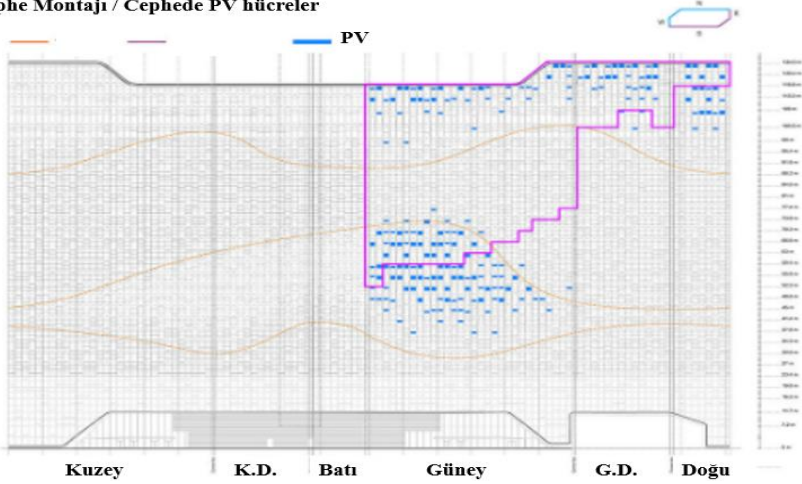
Çizelge 2.26. (devam) Die Mobiliar yenileme bina analizi (Solararchitecture, 2020)

DIE MOBILIAR RENOVATION			ÖRNEK 15
TEKNİK DETAY	 Lesen 100x100x5 Ön panel Motor elero A20 Alüminyum renkli kaplama PV çita, cam serigrafi		 Motor ELERO A20 Cam civata Cam tutucu, alüminyum renkli kaplama PV çita, cam serigrafi
	<i>İzometrik cephe PV panel detayı</i>		<i>Güneş kırıcı cam PV panel kesit detayı</i>
BÜTÜNLEŞİK CEPHE TASARIMI	BIPV/ BAPV Kullanımı	Cephe: Güneş kırıcı olarak	
	BIPV/ BAPV Uygulama Tipi	Cephe: Güneş kırıcı yarısaydam BIPV Çatı: BAPV uygulaması	
	PV Kurulum Alanı	Çatı: 455 m ² Cephe: 1384 m ²	
	PV Hücre Tipi	Amorf silikon hücre	
	Yıllık Enerji Üretimi	117 000 kWh/ m ² y	
	Aktif Güneş Oranı	Çatı ve cepheler için %50'den daha az	
	Final Verimlilik	Çatı: 76 kWh Cephe: 74 kWh	
	Verimlilik oranı	İhtiyaç duyulan enerjinin % 40'ı BIPV sistemlerden karşılanır.	
GÖRSELLER			
	<i>Yenileme öncesi</i>		<i>Yenileme sonrası</i>
NOTLAR	. Yenileme sonrası cephe düzleştirilmiştir. Böylece, hem kensel alan iyileştirilmiş hem de statik yalıtım seviyesinin arkasına taşınmıştır. . Güney cephesindeki pencereler yarısaydam fotovoltaiik hücreler ile donatılmış ve en yüksek düzeyde verim elde etmek amaçlı güneşin konumuna göre ayarlanacak şekilde motor kontrolü sağlanmıştır.		

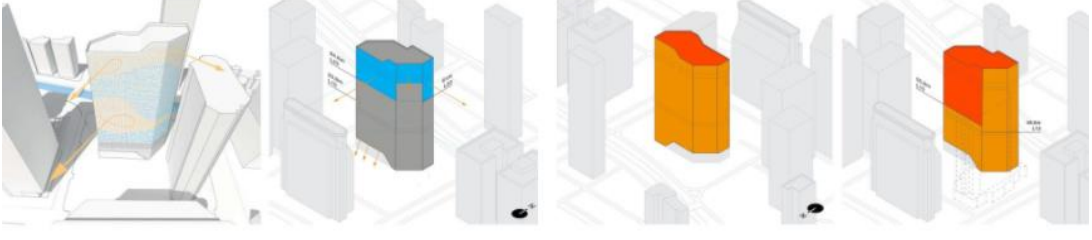
Çizelge 2.27. Hanwha Headquarters binası analizi (Unstudio, 2017; Solarchitecture, 2019; Urbannext, 2021; CTBUH, 2022)

HANWHA HEADQUARTERS BİNASI				ÖRNEK 16	
BİNA KÜNYESİ	Mimar	UNStudio		 Hanwha Headquarters Binası	
	Konum	Jung-gu/ Güney Kore			
	İklim	Karasal iklim			
	Yapım Yılı	1998			
	Yenileme	2016- 2019			
	Yapı İşlevi	Ofis			
	Mimari Konsept	Duyarlı cephe konsepti			
	Taban Alanı	57 696 m ²			
	Kat adedi/yüksekliği	Zemin+ 30 kat			
	Cephe Tipi	Akordeon PV cephe			
Çatı Tipi	Teras çatı				
Yenileme Hedefleri	. Bina iç hava kalitesini arttırmak, . Kullanıcı konforunu sağlamak, . Yüksek düzeyde sürdürülebilirlik ve satın alınabilirlik sağlamak. . Hem iç mekana hem de yerel çevreye bağlamsal ve kavramsal olarak duyarlı performatif bir kabuk elde etmek.				
MİMARİ ÇİZİMLER	 Standart kat planı				
	 Akordeon PV cephe				
MİMARİ BÜTÜNLEŞME	Uygulama Tipi:	BIPV sistem: X			
	BAPV sistem:	-			
	Konum:	Cephe: X			
	Çatı:	X			
	Kullanım biçimi:	Cephe kaplama malzemesi olarak			
	Bütünleşme Şekli	Fiziksel	Görsel	İşlevsel	Dinamik
	Ayrık	-	-	-	-
	Bitişik	-	-	-	-
	Bağlantılı	-	-	-	-
	Birbirine Geçmiş	-	-	-	-
Bileşik	X (Cephe)	X (Cephe)	X (Cephe)	-	

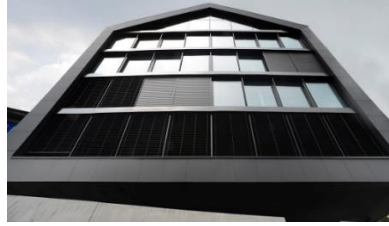
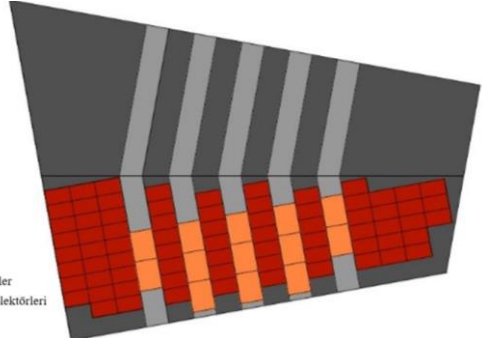
Çizelge 2.27. (devam) Hanwha Headquarters binası analizi (Unstudio, 2017; Solarchitecture, 2019; Urbannext, 2021; CTBUH, 2022)

HANWHA HEADQUARTERS BİNASI			ÖRNEK 16																																
TEKNİK DETAY	 <i>Akordeon PV cephe sistem detayı</i>																																		
	<table border="1"> <tr> <td>Binanın ısıl geçirgenlik kat sayısı (W/m²K)</td> <td>Dış duvar: 0.25</td> <td>Pencere: 1.06</td> </tr> <tr> <td>PV Hücre Tipi</td> <td colspan="2">Tek kristalli silikon hücre</td> </tr> <tr> <td>PV Uygulama</td> <td colspan="2">Çatı ve cepheler</td> </tr> <tr> <td>PV Uygulama Tipi</td> <td colspan="2">Soğuk cephe PV uygulaması</td> </tr> <tr> <td>PV Kurulum Alanı</td> <td colspan="2">Çatı: Veri yok Cephe: 275 m²</td> </tr> <tr> <td>PV Zirve Gücü</td> <td colspan="2">Çatı: 61 kWp, Cephe: 73 kWp</td> </tr> <tr> <td>PV Enerji Üretimi</td> <td colspan="2">85 500 kWh</td> </tr> <tr> <td>Enerji Tüketimi</td> <td colspan="2">20 000 kWh</td> </tr> <tr> <td>Aktif Güneş Yüzey Oranı</td> <td colspan="2">%25'ten az (cepheler)</td> </tr> <tr> <td>Enerji Etiketleri</td> <td colspan="2">G-SEED (puan: 88.2)</td> </tr> <tr> <td>Verimlilik oranı</td> <td colspan="2">İhtiyaç duyulan enerjinin % 4'u PV sistemlerden karşılamaktadır.</td> </tr> </table> 			Binanın ısıl geçirgenlik kat sayısı (W/m²K)	Dış duvar: 0.25	Pencere: 1.06	PV Hücre Tipi	Tek kristalli silikon hücre		PV Uygulama	Çatı ve cepheler		PV Uygulama Tipi	Soğuk cephe PV uygulaması		PV Kurulum Alanı	Çatı: Veri yok Cephe: 275 m²		PV Zirve Gücü	Çatı: 61 kWp, Cephe: 73 kWp		PV Enerji Üretimi	85 500 kWh		Enerji Tüketimi	20 000 kWh		Aktif Güneş Yüzey Oranı	%25'ten az (cepheler)		Enerji Etiketleri	G-SEED (puan: 88.2)		Verimlilik oranı	İhtiyaç duyulan enerjinin % 4'u PV sistemlerden karşılamaktadır.
Binanın ısıl geçirgenlik kat sayısı (W/m²K)	Dış duvar: 0.25	Pencere: 1.06																																	
PV Hücre Tipi	Tek kristalli silikon hücre																																		
PV Uygulama	Çatı ve cepheler																																		
PV Uygulama Tipi	Soğuk cephe PV uygulaması																																		
PV Kurulum Alanı	Çatı: Veri yok Cephe: 275 m²																																		
PV Zirve Gücü	Çatı: 61 kWp, Cephe: 73 kWp																																		
PV Enerji Üretimi	85 500 kWh																																		
Enerji Tüketimi	20 000 kWh																																		
Aktif Güneş Yüzey Oranı	%25'ten az (cepheler)																																		
Enerji Etiketleri	G-SEED (puan: 88.2)																																		
Verimlilik oranı	İhtiyaç duyulan enerjinin % 4'u PV sistemlerden karşılamaktadır.																																		
BÜTÜNLEŞİK CEPHE TASARIMI																																			
ENERJİ VERİLERİ	Cephe Montajı / Cephede PV hücreler  <i>Fotovoltaik modüllerin cephede kurulumu</i>																																		

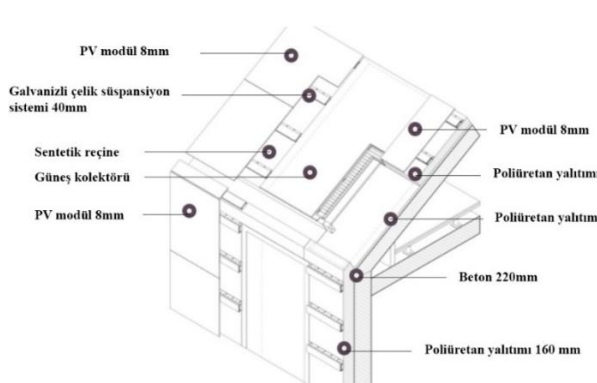
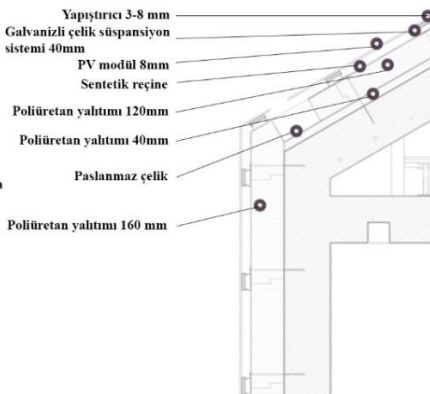
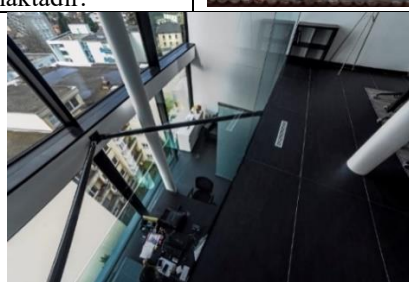
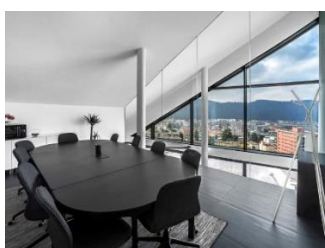
Çizelge 2.27. (devam) Hanwha Headquarters binası analizi (Unstudio, 2017; Solarchitecture, 2019; Urbannext, 2021; CTBUH, 2022)

HANWHA HEADQUARTERS BİNASI		ÖRNEK 16
ENERJİ VERİLERİ	 HYPERMIL Engelsiz manzaraya sahip alanlar SUNLIGHT EXPOSURE DIAGRAM Güneş ışığına mağruz kalma durumu	
GÖRSELLER	 Cephede PV modüllerin konumu	
NOTLAR	. Yenileme sonrası, mevcuttaki cam cephe saydam cam panellerle ve fotovoltaiik modüllerle değiştirilmiştir. . Bina enerji tüketimi yenileme sonrası %40 oranında azalmıştır. . PV sistemler günde yaklaşık olarak 4 katın aydınlatmasını sağlamaktadır. . PV modüller cephede, güneşten gelene enerjiyi en iyi şekilde toparlayabileceği alanlara yerleştirilmiştir. . Cephenin %80'i bir dizi temel modülden oluşmaktadır. Kalan %20 temel modüllerin küçük varyasyonları olan modüllerden oluşmaktadır. Ödüller: . CTBUH Awards 2020, . Renovation Award 2020 . Award of Excellence Green Building Award 2014, Finalist	

Çizelge 2.28. DeltaRosso bina analizi (Nesite, 2016; Deltazero, t.y.; Solarchitecture, 2019)

DELTAROSSO BİNASI				ÖRNEK 17	
BİNA KÜNYESİ	Mimar	deltaZERO/ Stefano De Angelis, Maria Mazza		 <i>Deltarosso Binası</i> 	
	Konum	Vacallo/ İsviçre			
	İklim	Ilıman okyanusal iklim (Cfb)			
	Yapım Yılı	2016			
	Yapı İşlevi	Konut+ Ofis			
	Mimari Konsept	Yüksek teknoloji sürdürülebilir mimari			
	Taban Alanı	- m ²			
	Kat adedi/yüksekliği	Zemin+ 4 kat			
	Cephe Tipi	Düşey PV cephe			
	Çatı Tipi	Kırma çatı			
	Tasarım Hedefleri	. Enerji tüketimini azaltma ve binayı enerji üretim sürecine dahil etmek, . Sıfır emisyonlu bina hedefi, . Bina kabuğunda enerji tasarruflu teknolojilerin kullanımı.			
MİMARİ ÇİZİMLER	 <i>İkinci kat planı kolektörlerin konumu</i>		 <i>Çatıdaki fotovoltaik modüller ve güneş</i>		
	Uygulama Tipi: BIPV sistem: X BAPV sistem: -				
Konum: Cephe: X Çatı: X					
Kullanım biçimi: Cephe kaplama malzemesi olarak					
Bütünleşme Şekli	Fiziksel	Görsel		İşlevsel	Dinamik
Ayrık	-	-		-	-
Bitişik	X (Cephe ve çatı)	X (Cephe ve çatı)		X (Cephe ve çatı)	-
Bağlantılı	-	-		-	-
Birbirine Geçmiş	X (Cephe ve çatı)	X (Cephe ve çatı)		X (Cephe ve çatı)	-
Bileşik	-	-		-	-

Çizelge 2.28. (devam) DeltaRosso bina analizi (Nesite, 2016; Deltazero, t.y.; Solarchitecture, 2019)

DELTAROSSO BİNASI				ÖRNEK 17
TEKNİK DETAY	 PV modül 8mm Galvanizli çelik süspansiyon sistemi 40mm Sentetik reçine Güneş kolektörü PV modül 8mm Polüüretan yalıtımı 120mm Polüüretan yalıtımı 40mm Beton 220mm Polüüretan yalıtımı 160 mm		 Yapıştırıcı 3-8 mm Galvanizli çelik süspansiyon sistemi 40mm PV modül 8mm Sentetik reçine Polüüretan yalıtımı 120mm Polüüretan yalıtımı 40mm Paslanmaz çelik Polüüretan yalıtımı 160 mm	
	Çatı ve cephe detayı		Saçak bağlantısının dikey detayı	
BÜTÜNLEŞİK CEPHE TASARIMI	Binanın ısııl geçirgenlik kat sayısı (W/m²K)	Dış duvar: 0.13	Pencere: 0.45	Çatı: 0.14
	Güneş Kolektörleri	Çatı ve cephenin güneyine bütünleşme		
	PV Hücre Tipi	Tek kristalli silikon hücre		
	PV Uygulama	Çatı ve cepheler		
	PV Uygulama Tipi	Cephe: Soğuk cephe PV uygulaması		
		Çatı: (Solar tile)		
	PV Kurulum Alanı	Çatı: 109 m² Cephe: 194 m²		
	PV Zirve Gücü	Çatı: 17 kWp, Cephe: 30 kWp		
	PV Enerji Üretimi	48 850 kWh		
	Enerji Tüketimi	66 900 kWh		
Aktif Güneş Yüzey Oranı	Çatı: %25'ten az	Cephe: %50'den fazla		
Verimlilik oranı	İhtiyaç duyulan enerjinin % 73'ü PV sistemlerden karşılamaktadır.			
GÖRSELLER	 			
	Binanın çatı ve cephesindeki BIPV sistemi   			
Binanın iç mekan görüntüleri				

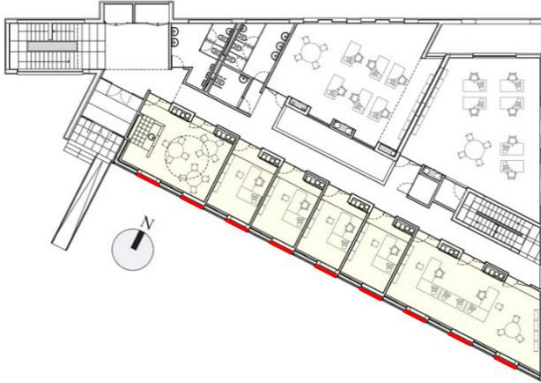
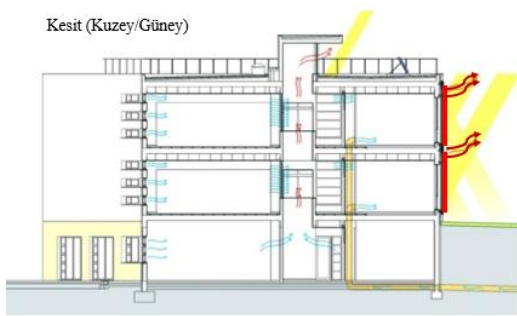
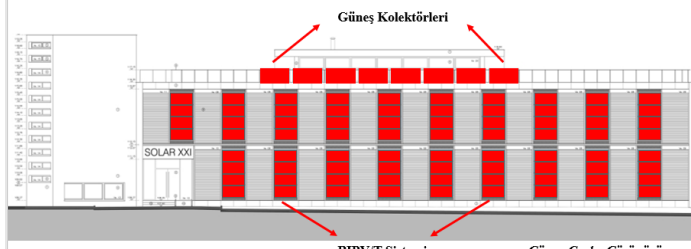
Binanın çatı ve cephesindeki BIPV sistemi

Binanın iç mekan görüntüleri

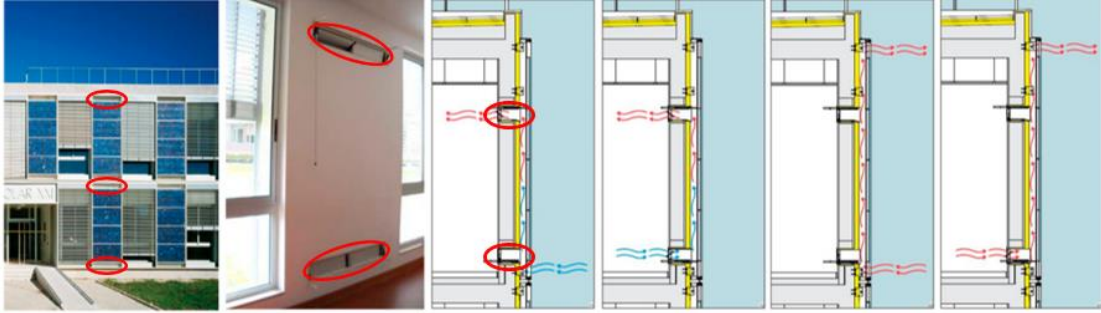
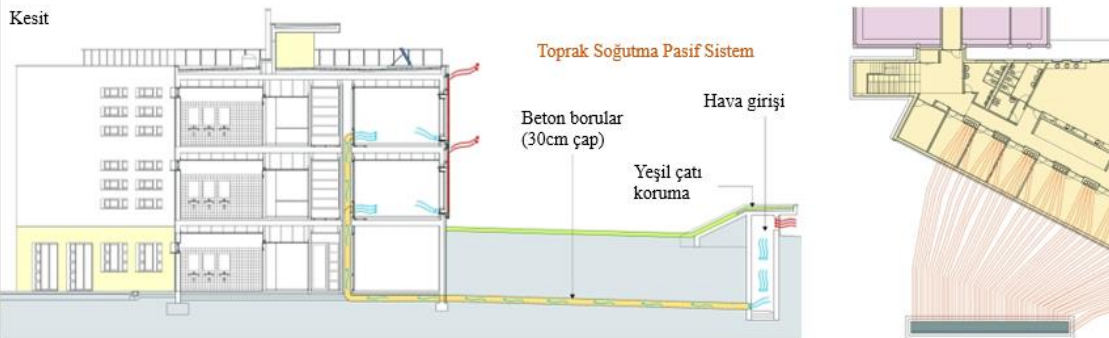
Çizelge 2.28. (devam) DeltaRosso bina analizi (Nesite, 2016; Deltazero, t.y.; Solarchitecture, 2019)

DELTAROSSO BİNASI		ÖRNEK 17
NOTLAR	. Ön cam tipi, özelleştirilmiş saten cam üzerine lamine edilmiş PV hücreler. . Bina Minergie P yeşil bina sertifikasına sahiptir. . 203 adet fotovoltaik modül ve 13 güneş enerjisi paneli cepheye ve çatının güney bölümüne bütünleştirilmiştir. Ödüller: . . Schweizer Solarpreis 2019 . Migros Bank Special Solar Prize 2019 for multiple dwelling Plus Energy Buildings	

Çizelge 2.29. Solar WWI ofis binası analizi (Aelenei ve diğ., 2019; Kim ve diğ., 2015; Bot ve diğ., 2021; Oliveira ve diğ., 2011; LNEG, 2019)

SOLAR XXI OFİS BİNASI				ÖRNEK 18	
BİNA KÜNYESİ	Mimar	Pedro Cabrito, Isabel Diniz			
	Konum	Lizbon/ Portekiz			
	İklim	Akdeniz/ Okyanus iklimi			
	Yapım Yılı	2006			
	Yapı İşlevi	Ofis			
	Mimari Konsept	Pasif ev tasarım yaklaşımı			
	Taban Alanı	1500 m ²			
	Kat adedi/yüksekliği	Zemin+ 1 kat + 1 bodrum kat			
	Cephe Tipi	Düşey PV cephe			
	Çatı Tipi	Teras çatı			
Tasarım Hedefleri	. Net sıfır enerjili bina hedefi, . Sürdürülebilir bir bina için, pasif tasarım stratejilerini ve yenilenebilir enerji teknolojilerin bir arada kullanımı, . Binada düşük enerji kullanımı.				
					
<i>Solar XXI Ofis binası güney cephesi görünüşü</i>					
					
MİMARİ ÇİZİMLER					
					
— PV panellerin plan üzerinde konumlandırılması — PV panellerin konumlandırılması — İçeriden dışarı aktarılan sıcak hava					
Zemin kat planı güney cephesinde ofis birimleri Güneş açısı ve hava akışı dikkate alınarak tasarlanan yaz/ kış tasarım stratejileri (Doğal havalandırma, gün ışığı alımı ve baca etkisi)					
MİMARİ BÜTÜNLEŞME	Uygulama Tipi:	BIPV/T sistem: X			
	BAPV sistem: -				
	Konum:				
	Cephe: X				
	Çatı: -				
	Kullanım biçimi:	Cephe kaplama malzemesi olarak			
	Bütünleşme Şekli	Fiziksel	Görsel	İşlevsel	Dinamik
	Ayrık	-	X (Otopark PV)	X (Otopark PV)	-
	Bitişik	X (BIPV/T)	X (BIPV/T)	X (BIPV/T)	-
	Bağlantılı	-	-	-	-
Birbirine Geçmiş	-	-	-	-	
Bileşik	-	-	-	-	
					
Güneş Kolektörleri BIPV/T Sistemi Güney Cephe Görünüşü Cephe ve çatıda kullanılan aktif sistemler					

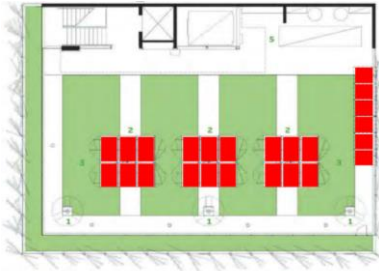
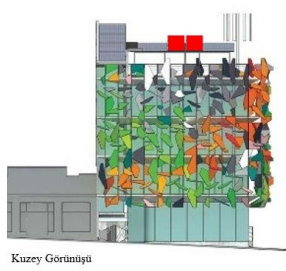
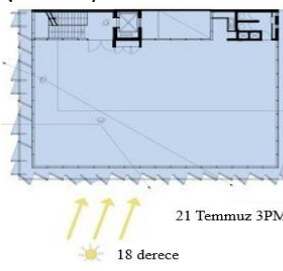
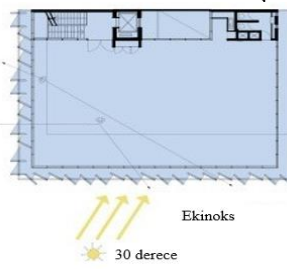
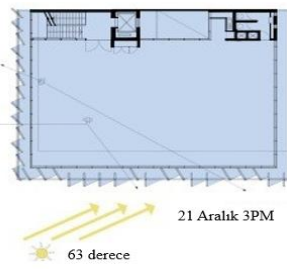
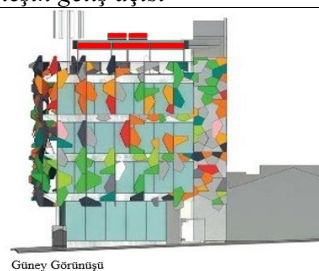
Çizelge 2.29. (devam) Solar XXI Ofis Binası analizi (Aelenei ve diğ., 2019; Kim ve diğ., 2015; Bot ve diğ., 2021; Oliveira ve diğ., 2011; LNEG, 2019)

SOLAR XXI OFİS BİNASI					ÖRNEK 18																																																											
TEKNİK DETAYLAR	 (a) Dış görünüm (b) İç görünüm (c) Bahar (d) Kış (e) Yaz (f) Yaz ○ PV sistemlerin alt ve üstünde bulunan hava sirkülasyonunu sağlayan menfezler <i>Cephede bulunana BIPV/T sisteminin mevsimsel çalışma modu</i> (c) Baharda, dışarıdaki havanın ön ısıtması, (d) Kışın, PV panellerin arkasında biriken ısı ofis odalarında aktarılması, (e) Yazın, PV panellerden ısınan havanın çıkışı, (f) Yazın, odanın iç ısısının dışarı çıkışı.																																																															
	<table border="1"> <tr> <td>Binanın ısıl geçirgenlik kat sayısı (W/m²K)</td> <td>Duvar: 0.45</td> <td>Pencere: 4.50</td> <td>Çatı: 0.26</td> <td>Döşeme: 0.55</td> </tr> <tr> <td>Güneş Kolektörleri</td> <td colspan="4">Çatıya eklemeli olarak</td> </tr> <tr> <td>BIPV/T Uygulaması</td> <td colspan="4">Güney cephesine bütünleşik</td> </tr> <tr> <td>PV Hücre Tipi</td> <td colspan="4">Çok kristalli silikon hücre</td> </tr> <tr> <td>PV Sistem Sınıfı</td> <td colspan="4">Şebekeye bağlı sistem (On grid)</td> </tr> <tr> <td>PV Uygulama</td> <td colspan="4">Cephe ve otopark gölgeleme elemanı</td> </tr> <tr> <td>BIPV Uygulama Tipi</td> <td colspan="4">Cephe: Soğuk cephe PV uygulaması BIPV/T uygulaması</td> </tr> <tr> <td>PV Kurulum Alanı</td> <td colspan="4">Cephe: 96 m²</td> </tr> <tr> <td>PV Zirve Gücü</td> <td colspan="4">Cephe: 12 kWp</td> </tr> <tr> <td>PV Enerji Üretimi</td> <td colspan="4">20 000 kWh</td> </tr> <tr> <td>Enerji Tüketimi</td> <td colspan="4">36 000 kWh</td> </tr> <tr> <td>Verimlilik oranı</td> <td colspan="4">İhtiyaç duyulan enerjinin % 67'si PV sistemlerden karşılamaktadır.</td> </tr> </table>					Binanın ısıl geçirgenlik kat sayısı (W/m ² K)	Duvar: 0.45	Pencere: 4.50	Çatı: 0.26	Döşeme: 0.55	Güneş Kolektörleri	Çatıya eklemeli olarak				BIPV/T Uygulaması	Güney cephesine bütünleşik				PV Hücre Tipi	Çok kristalli silikon hücre				PV Sistem Sınıfı	Şebekeye bağlı sistem (On grid)				PV Uygulama	Cephe ve otopark gölgeleme elemanı				BIPV Uygulama Tipi	Cephe: Soğuk cephe PV uygulaması BIPV/T uygulaması				PV Kurulum Alanı	Cephe: 96 m ²				PV Zirve Gücü	Cephe: 12 kWp				PV Enerji Üretimi	20 000 kWh				Enerji Tüketimi	36 000 kWh				Verimlilik oranı	İhtiyaç duyulan enerjinin % 67'si PV sistemlerden karşılamaktadır.		
Binanın ısıl geçirgenlik kat sayısı (W/m ² K)	Duvar: 0.45	Pencere: 4.50	Çatı: 0.26	Döşeme: 0.55																																																												
Güneş Kolektörleri	Çatıya eklemeli olarak																																																															
BIPV/T Uygulaması	Güney cephesine bütünleşik																																																															
PV Hücre Tipi	Çok kristalli silikon hücre																																																															
PV Sistem Sınıfı	Şebekeye bağlı sistem (On grid)																																																															
PV Uygulama	Cephe ve otopark gölgeleme elemanı																																																															
BIPV Uygulama Tipi	Cephe: Soğuk cephe PV uygulaması BIPV/T uygulaması																																																															
PV Kurulum Alanı	Cephe: 96 m ²																																																															
PV Zirve Gücü	Cephe: 12 kWp																																																															
PV Enerji Üretimi	20 000 kWh																																																															
Enerji Tüketimi	36 000 kWh																																																															
Verimlilik oranı	İhtiyaç duyulan enerjinin % 67'si PV sistemlerden karşılamaktadır.																																																															
BÜTÜNLEŞİK CEPHE TASARIMI	 <i>Cepheyle bütünleştirilen çok kristalli PV modülleri (BIPV/T sistemi)</i>																																																															
PASİF TASARIM	 Kesit Toprak Soğutma Pasif Sistem Beton borular (30cm çap) Hava girişi Yeşil çatı koruma <i>Yarı gömülü kesit ve kat planı: yerden soğutma beton boruların yerleşimi</i>																																																															

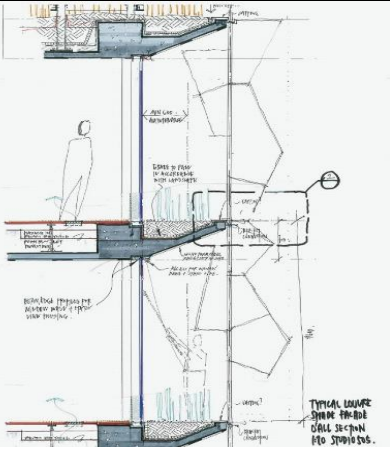
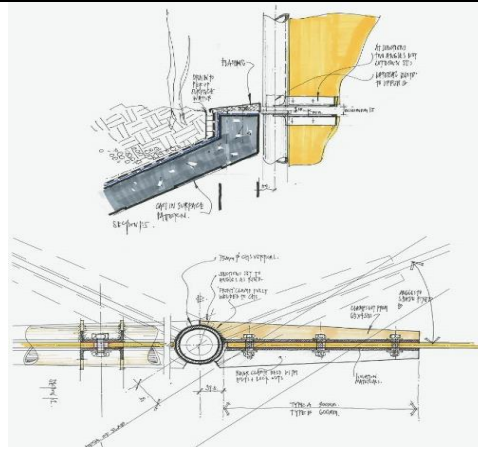
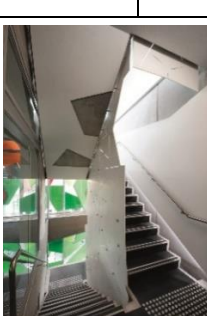
Çizelge 2.29. (devam) Solar WWI ofis binası analizi (Aelenei ve diğ., 2019; Kim ve diğ., 2015; Bot ve diğ., 2021; Oliveira ve diğ., 2011; LNEG, 2019)

SOLAR XXI OFİS BİNASI		ÖRNEK 18
GÖRSELLER	 	<i>İç mekan görünümü (Doğal aydınlatma ve havalandırma)</i> <i>Otopark gölgelemesinde PV uygulaması</i>
NOTLAR	. Binada bulunan BIPV/T sistemlerinde toplam 76 adet çok kristalli silikon hücrelerden oluşan PV modülü kullanılmıştır. . Bina enerji tüketimi Portekiz standartlarının 1/10'u kadardır. . Yaz mevsiminde, güney cephesindeki hareketli panjurlarla aşırı ısınma engellenmektedir. . Bina içerisinde klima bulunmamakta soğutma, yerden soğutma sistemleri ile sağlanmaktadır. . Çatıda bulunan güneş kolektörleri ile binanın sıcak su ihtiyacı karşılanmıştır. ÖDÜLLER: . 2008 European Award on Building Integrated Solar Technology	

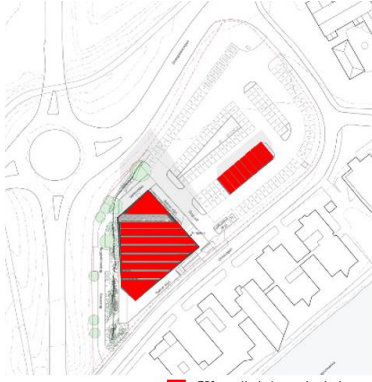
Çizelge 2.30. Pixel ofis binası analizi (Archdaily, 2011; Sustainability Victoria, 2012; Architecture and design, 2012; Studio 505, 2010; Fortmeyer, 2012; PRC, 2012; Db, t.y.)

PIXEL OFİS BİNASI		ÖRNEK 19			
BİNA KÜNYESİ	Mimar	Studio505			
	Konum	Melbourne, Avusturalya			
	İklim	Ilıman okyanus iklimi			
	Yapım Yılı	2010			
	Yapı İşlevi	Ticari Ofis			
	Mimari Konsept	Sıfır karbonlu bina			
	Taban Alanı	1136 m ²			
	Kat adedi/yüksekliği	Zemin+ 3 kat			
	Cephe Tipi	Düşey cephe			
	Çatı Tipi	Teras çatı			
Tasarım Hedefleri	. Sıfır salınlı bina elde etmek, . Sahada tükettiğinden daha fazla enerji üreterek karbon pozitif bina hedefi, . Tüketilen suyu dengelemek, . Green Star ofis tasarımından en yüksek puanı almak, . En yüksek LEED ve BREEAM puanını elde etmek.	 Pixel ofis binası 			
MİMARİ ÇİZİMLER	 Çatı kat planı  Kuzey Görünüşü  Batı Görünüşü ■ PV panellerin konumlandırılması				
	Görünümler  21 Temmuz 3PM 18 derece  Ekinoks 30 derece  21 Aralık 3PM 63 derece				
	Mevsimsel güneşin geliş açısı				
	Uygulama Tipi: BIPV sistem: - BAPV sistem: X	 Güney Görünüşü 			
	Konum: Cephe: - Çatı: X				
	Kullanım biçimi: Enerji üretimi odaklı				
	Bütünleşme Şekli	Fiziksel	Görsel	İşlevsel	Dinamik
	Ayrık	X (Çatı)	X (Çatı)	X(Çatı)	X (Çatı)
	Bitişik	-	-	-	-
	Bağlantılı	-	-	-	-
Birbirine Geçmiş	-	-	-	-	
Bileşik	-	-	-	-	

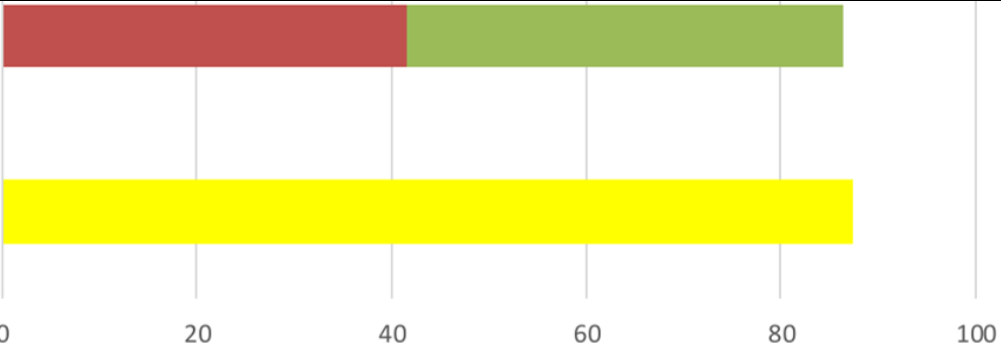
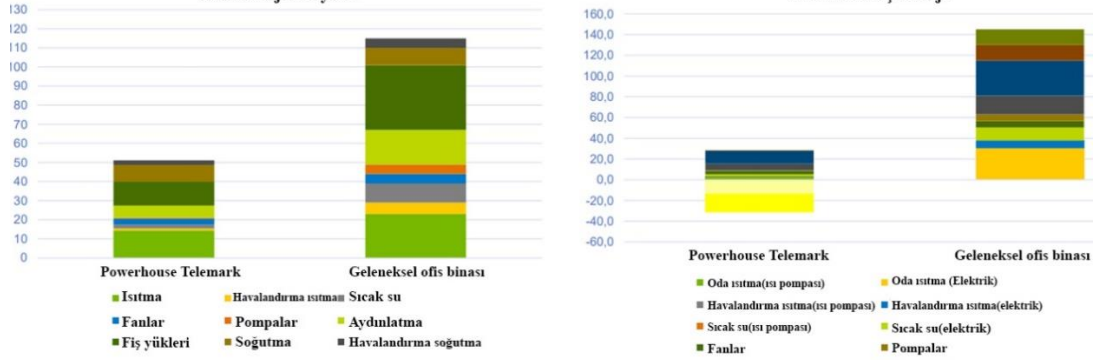
Çizelge 2.30. (devam) Pixel ofis binası analizi (Archdaily, 2011; Sustainability Victoria, 2012; Architecture and design, 2012; *Studio 505, 2010*; Fortmeyer, 2012; PRC, 2012; DbA, t.y.)

PIXEL OFİS BİNASI						ÖRNEK 19	
TEKNİK DETAY	 						
	Cephedeki panellerin birleşim detayları						
BÜTÜNLEŞİK CEPHE TASARIMI	Binanın ısıl geçirgenlik kat sayısı (W/m ² K)	Duvar 0.55	Pencere 1.80	Çatı 0.31	Döşeme 0.13		
	Rüzgar Tribün Uygulaması	Çatıya monte edilerek					
	PV Hücre Tipi	Çok kristalli silikon hücre					
	PV Sistem Sınıfı	Şebekeye bağlı sistem (On grid)					
	PV Uygulama	Çatıya monte edilerek					
	PV Kurulum Alanı	38.4 m ²					
	PV Kurulu Güç	6.3 kWp					
	PV Enerji Üretimi	84 kWh/m ² .y					
	Enerji Tüketimi	123 kWh/m ² .y					
Verimlilik oranı	- %						
GÖRSELLER	  						
	Binanın iç mekan görünimleri						
NOTLAR	. Avustralya'nın, enerjisini ve suyunu yerinde üreten ilk karbon nötr ofis binasıdır. . Green Star sertifika sisteminde 100 üzerinden 105 puan ile en yüksek puanı almıştır. . Pixel projesinin odak noktası enerjiden çok karbon dengesi üzerinedir.						
	Ödüller: . . Highest score achieved in the world under Leed by US Green Building Council (March2012) . BPN Sustainability Awards, Large Commercial Award & Best of the Best award 2011 . Banksia Award for Built Environment - Harmonious Man -Made Landscapes 2010 . Premier's Sustainability Award (Victoria) 2011 - Built Environment . Victorian Architecture Awards 2011 - Award for Sustainable Architecture 2011						

Çizelge 2.31. Powerhouse Telemark ofis binası analizi (WA Contents, 2020; Archdaily, 2020; Tapper ve Dokka, 2019; Tapper, 2019; GW, 2022)

POWERHOUSE TELEMARK OFİS BİNASI					ÖRNEK 20
BİNA KÜNYESİ	Mimar	Snøhetta			 Powerhouse bina görünümü
	Konum	Telemark/ Norveç			
	İklim	Okyanus iklimi			
	Yapım Yılı	2020			
	Yapı İşlevi	Ofis			
	Mimari Konsept	Pasif ev bina tasarım yaklaşımı			
	Taban Alanı	7931 m ²			
	Kat adedi/yüksekliği	Zemin+ 10 kat			
	Cephe Tipi	Eğimli cephe sistemi			
	Çatı Tipi	Eğimli PV çatı			
Sertifika	BREEAM Excellent, Qutstanding				
Tasarım Hedefleri	. Dünya genelinde sürdürülebilir mimari tasarım ikonu oluşturmak, . Binanın tükettiğinden daha fazla enerji üretimi yapmak (pozitif enerjili bina), . Bina karbon emisyonunu azaltmak . Çevresel, sosyal ve ekonomik olarak sürdürülebilir mimari model hedeflemek.				
MİMARİ ÇİZİM	 PV panellerin konumlandırılması Vaziyet planı				
	 Zemin kat planı				
	 PV panellerin konumlandırılması Kesit				
MİMARİ BÜTÜNLEŞME	Uygulama Tipi: BIPV sistem: X BAPV sistemi: -				
	Konum: Cephe: X Çatı: X				
	Kullanım biçimi: Cephe kaplama malzemesi olarak				
	Bütünleşme Şekli	Fiziksel	Görsel	İşlevsel	Dinamik
	Ayrık	X (Otopark PV)	X (Otopark PV)	X (Otopark PV)	-
	Bitişik	X (Cephe ve çatı)	X (Cephe ve çatı)	X (Cephe ve çatı)	-
	Bağlantılı	-	-	-	-
	Birbirine Geçmiş	-	-	-	-
	Bileşik	-	-	-	-

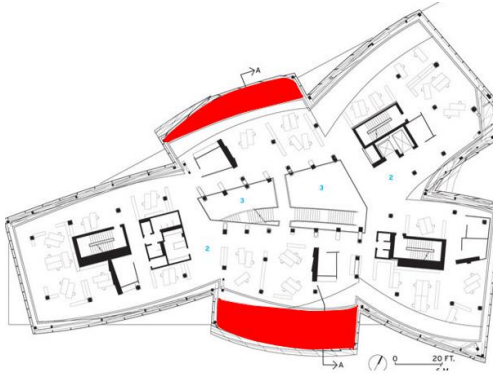
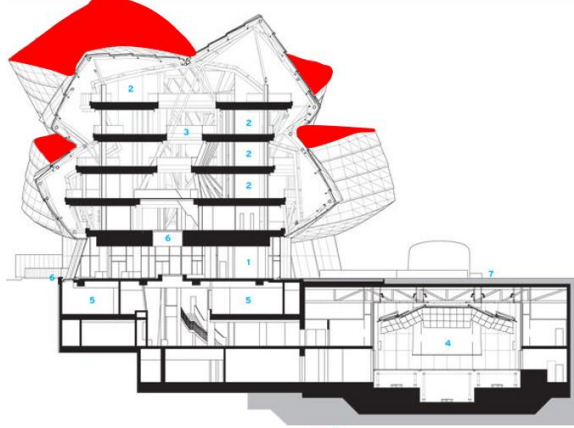
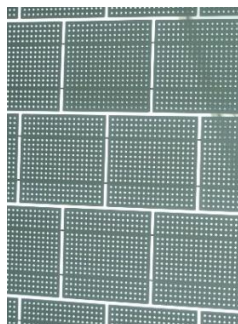
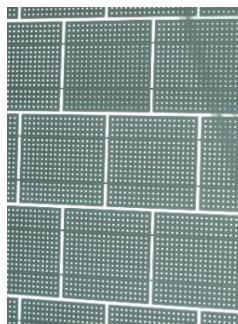
Çizelge 2.31. (devam) Powerhouse Telemark ofis binası analizi (WA Contents, 2020; Archdaily, 2020; Tapper ve Dokka, 2019; Tapper, 2019; GW, 2022)

POWERHOUSE TELEMARK OFİS BİNASI						ÖRNEK 20
BÜTÜNLEŞİK CEPHE TASARIMI	Binanın ısıl geçirgenlik kat sayısı (W/m²K)	Duvar: 0.15	Pencere: 0.75	Çatı: 0.10	Döşeme 0.11	 Cepheyle bütünleştirilen PV sistemi
	PV Hücre Tipi	Tek kristalli silikon hücre				
	PV Sistem Sınıfı	Şebekeye bağlı sistem (On grid)				
	PV Uygulama	Cephe, çatı ve otopark gölgeleme elemanı				
	PV Uygulama Tipi	Cephe: Soğuk cephe PV uygulaması				
	PV Eğim Açısı	Çatı (24°)				
	PV Kurulum Alanı	Cephe: 300 m²	Çatı: 800 m²	Otopark gölgeleme: 300 m²		
	PV Verimliliği	%22				
	PV Enerji Üretimi	256 000 kWh				
	Enerji Tüketimi	41,2 kWh				
Verimlilik oranı	İhtiyaç duyulan enerjinin % 100'ü PV sistemlerden karşılamaktadır.					
ENERJİ VERİLERİ	 PV enerji üretimi Operasyonel enerji kullanımı Gömülü enerji materyalleri Binanın santral dengesinin hesaplanması (kWp/m²yr)					
	 Net enerji ihtiyacı Net iletilmiş enerji Powerhouse Telemark Geleneksel ofis binası Isıtma Havalandırma ısıtma Sıcak su Aydınlatma Pomplar Soğutma Havalandırma soğutma Oda ısıtma (su pompası) Oda ısıtma (Elektrik) Havalandırma ısıtma (su pompası) Havalandırma ısıtma (elektrik) Sıcak su (su pompası) Sıcak su (elektrik) Pomplar Fanlar Aydınlatma Fiş yükleri Bölgesel soğutma Havalandırma soğutma Güneş panelleri dahil kullanım Bina dışı güneş paneli Bina enerji performansı					

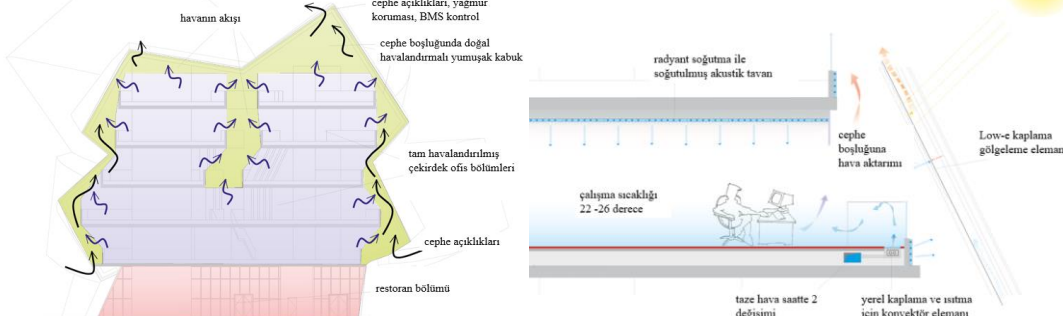
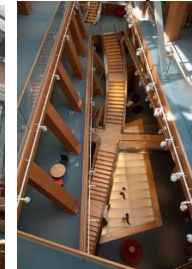
Çizelge 2.31. (devam) Powerhouse Telemark ofis binası analizi (WA Contents, 2020; Archdaily, 2020; Tapper ve Dokka, 2019; Tapper, 2019; GW, 2022)

POWERHOUSE TELEMAR OFİS BİNASI		ÖRNEK 20
GÖRSELLER		
	Çatıda ve otopark gölgelemede PV panel uygulaması	İç mekan görünimleri
NOTLAR	. Bina ortalama Norveç konutunun yıllık enerji tüketiminin yaklaşık yirmi katından fazla enerjiyi şebekeye göndermektedir. . Binanın doğu cephesinde 45 derecelik bir eğim bulunmaktadır. . Diğer ofis binaları ile kıyaslandığında bina enerji tüketimi %70 oranında daha az gerçekleşmektedir. . Pasif ev olarak işlev gören bina, yüksek yalıtım düzeyine sahip olup pencerelerde üçlü cam kullanılmıştır. . Oluşturulan teknoloji senaryosuna göre 30 yıl sonra mevcut PV sisteminin %50 daha verimli bir sistemle değiştiği varsayılmaktadır.	

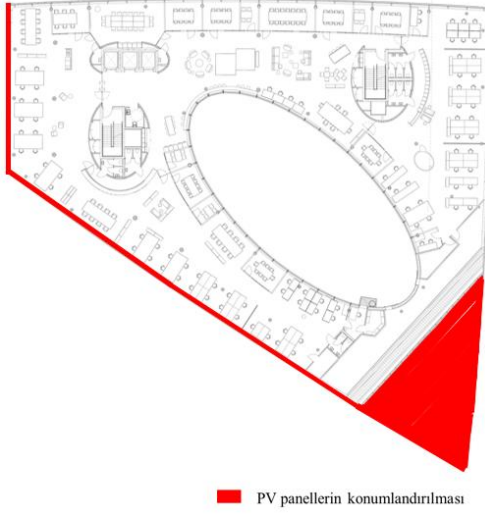
Çizelge 2.32. Fabrikstrasse 15 ofis binası analizi (SUPSI, 2013; Transsolar, 2022; Lentz, 2011; Devetaković ve diğ., 2020)

FABRİKSTRASSE 15 OFİS BİNASI					ÖRNEK 21
BİNA KÜNYESİ	Mimar	Frank Gehry			 
	Konum	Basel, İsviçre			
	İklim	Ilıman kıtasal iklim			
	Yapım Yılı	2009			
	Yapı İşlevi	Ofis			
	Mimari Konsept	Düşük karbon salımlı bina			
	Taban Alanı	32 000 m ²			
	Kat adedi/yüksekliği	Zemin+ 5 kat			
	Cephe Tipi	Eğimli cephe			
	Çatı Tipi	Eğimli PV çatı			
	Tasarım Hedefleri	. Düşük enerji kullanımı ile kullanıcıyı memnun etmek, . Tüketilen suyu dengelemek, . Sürdürülebilir bir bina elde etmek.			
MİMARİ ÇİZİMLER	   				
	Standart kat planı Kesit				
MİMARİ BÜTÜNLEŞME	Uygulama Tipi: BIPV sistem: X BAPV sistemi: -		 		
	Konum: Cephe: - Çatı: X				
	Kullanım biçimi: Cephe kaplama malzemesi olarak				
	Bütünleşme Şekli	Fiziksel	Görsel	İşlevsel	Dinamik
	Ayrık	-	-	-	-
	Bitişik	X (Çatı)	X (Çatı)	X (Çatı)	-
	Bağlantılı	-	-	-	-
	Birbirine Geçmiş	-	-	-	-
	Bileşik	-	-	-	-

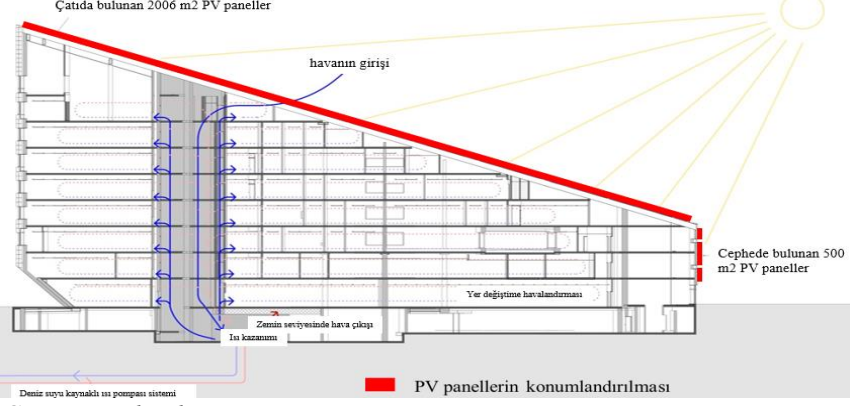
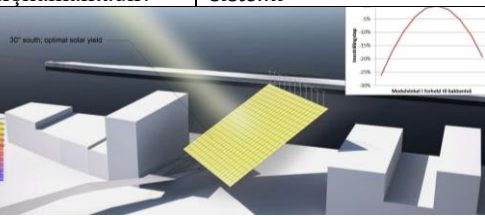
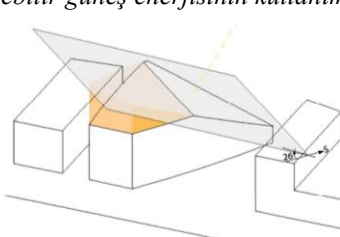
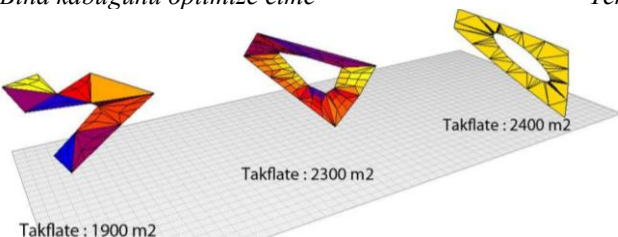
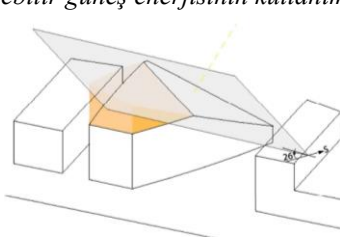
Çizelge 2.32. (devam) Fabrikstrasse 15 ofis binası analizi (SUPSI, 2013; Transsolar, 2022; Lentz, 2011; Devetaković ve diğ., 2020)

FABRİKSTRASSE 15 OFİS BİNASI			ÖRNEK 21
BÜTÜNLEŞİK CEPHE TASARIMI	PV Hücre Tipi	Tek kristalli silikon hücre	 <i>Eğimli yarısaydam PV paneller</i>
	PV Sistem Sınıfı	Şebekeye bağlı sistem (On grid)	
	PV Sistem Modülü	Yarısaydam PV modül	
	PV Uygulama	Çatıyla bütünleştirilerek	
	PV Kurulum Alanı	1300 m ²	
	Aktif Güneş Yüzey Oranı	Çatı: %85	
	PV Kurulu Güç	92.74 kWp	
	PV Enerji Üretimi	65 000 kWh/m ² .y	
	Enerji Tüketimi	- kWh/m ² .y	
	CO ₂ Verimliliği	32.5 ton	
Verimlilik oranı	-		
TASARIM STRATEJİLERİ	Genel konfor, iklim ve havalandırma konsepti Tasarım yaklaşımı: iklim kontrolünün kabuk ve çekirdek konsepti  <i>Bina içi iklim ve havalandırma diyagramları</i>		
	 <i>Bina dış görünümü</i>  <i>Çatıda bulunan yarısaydam PV paneller</i>  <i>Low-e güneş koruma</i>		
GÖRSELLER	 <i>Binanın iç mekan görünümü</i>  		
	NOTLAR - Binayı güneşten korunmada üçlü camlar ve özel olarak tasarlanmış low-e kaplamalı 275 adet güneş kırıcı kullanılmıştır. - Yarısaydam fotovoltaik modüller doğrudan cam yapıya bütünleştirilmiştir. - PV sistemlerden üretilen elektrik binanın yapay aydınlatmasının enerji talebini karşılamaktadır.		

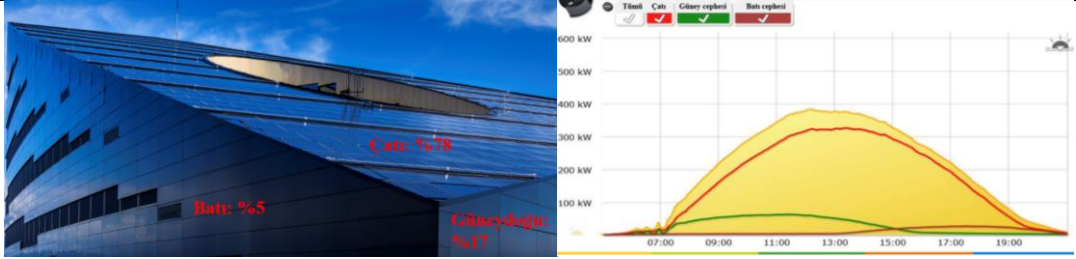
Çizelge 2.33. Powerhouse Brattørkaia ofis binası analizi (Archdaily, 2019a; Divisare, 2019; Devetaković ve diğ., 2020; Jenssen, 2019)

POWERHOUSE BRATTØRKAIA BİNASI					ÖRNEK 22
BİNA KÜNYESİ	Mimar	Snøhetta Grup			
	Konum	Trondheim/ Norveç			
	İklim	Okyanus iklimi			
	Yapım Yılı	2019			
	Yapı İşlevi	Ofis			
	Mimari Konsept	Yüksek teknolojiye sürdürülebilir mimari			
	Taban Alanı	17800 m²			
	Kat adedi/yüksekliği	Zemin+ 8 kat			
	Cephe Tipi	Düşey cephe			
	Çatı Tipi	Eğimli PV çatı			
Tasarım Hedefleri	. Binada temiz enerji üretimini en üst düzeye çıkarmak, . İşletimde enerji tüketimini azaltmak, . Kullanıcılar için keyifli bir alan oluşturmak.				
MİMARİ ÇİZİMLER					
	Zemin kat planı			Standart kat planı	
MİMARİ BÜTÜNLEŞME	Uygulama Tipi: BIPV sistem: X BAPV sistemi: -				
	Konum: Cephe: X Çatı: X				
	Kullanım amacı: Kabuk kaplama malzemesi olarak				
	Bütünleşme Şekli	Fiziksel	Görsel	İşlevsel	Dinamik
	Ayrık	-	-	-	-
	Bitişik	X (Çatı)	X (Çatı)	X (Çatı)	-
	Bağlantılı	-	-	-	-
	Birbirine Geçmiş	X (Cephe)	X (Cephe)	X (Cephe)	-
	Bileşik	-	-	-	-

Çizelge 2.33. (devam) Powerhouse Brattorkaia ofis binası analizi (Archdaily, 2019a; Divisare, 2019; Devetaković ve diğ., 2020; Jenssen, 2019)

POWERHOUSE BRATTORKAIA BİNASI					ÖRNEK 22
TEKNİK DETAY					
	Çatı ve cephe detayı				
BÜTÜNLEŞİK CEPHE TASARIMI	Binanın ısııl geçirgenlik kat sayısı (W/m²K)	Dış duvar: -	Pencere: -	Çatı: -	
	PV Hücre Tipi	Kristalli silikon hücre			
	PV Sistem Sınıfı	Şebekeye bağılı (on grid)			
	PV Uygulama	Çatı ve cepheler eğimli			
	PV Uygulama Tipi	Cephe: Soğuk cephe PV uygulaması			
		Çatı: Soğuk PV uygulaması			
	PV Kurulum Alanı	Çatı: 1886 m²	Cephe: Güneydoğu: 701m²	Batı: 280m²	
		Çatı: 358.31 kWp	Cephe: Güneydoğu: 75.581 kWp	Batı: 24.565 kWp	
	PV Enerji Üretimi	481 000 kWh			
	Enerji Tüketimi	219 502 kWh			
Aktif Güneş Yüzey Oranı	Çatı: %85'ten fazla				
Verimlilik oranı	İhtiyaç duyulan enerjinin % 100'ü PV sistemlerden karşılamaktadır.				
ENERJİ VERİLERİ					
	Bina kabuğunu optimize etme		Yenilenebilir güneş enerjisinin kullanımı		
					
	PV üretimi verimliliğı için yüzey tasarımı		Hacmin kullanımı		

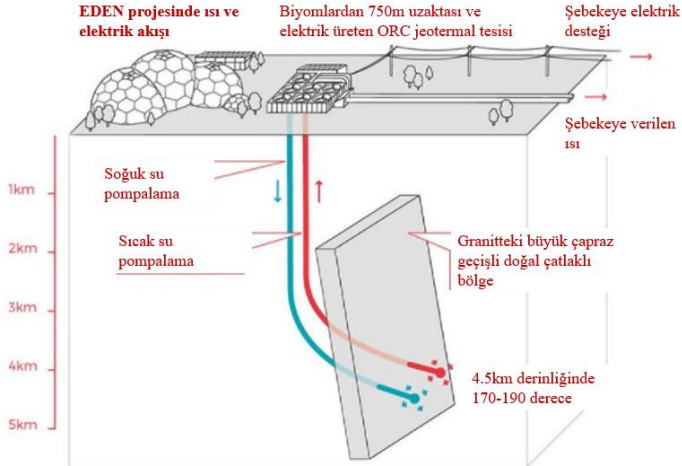
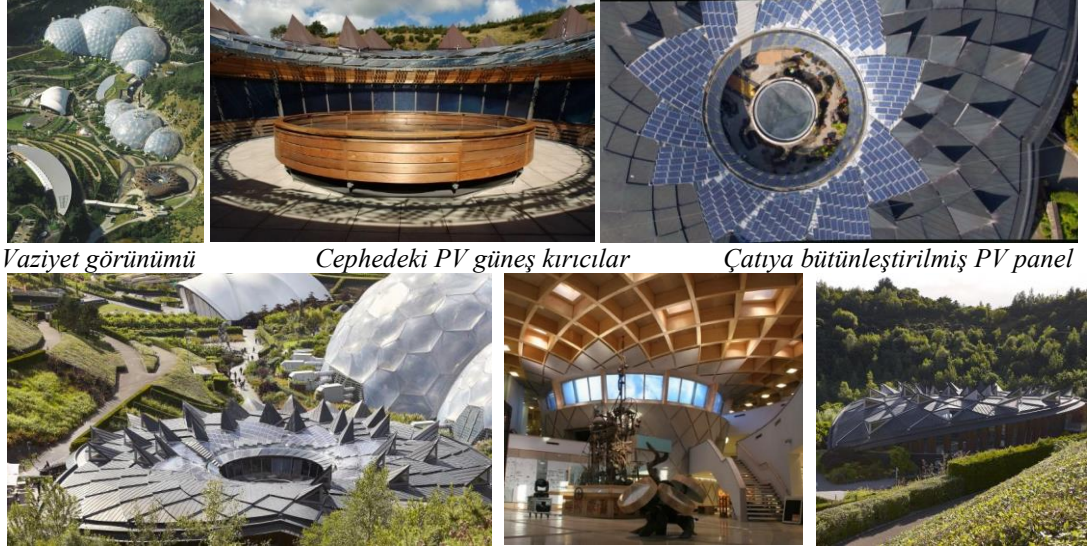
Çizelge 2.33. (devam) Powerhouse Brattorkaia ofis binası analizi (Archdaily, 2019a; Divisare, 2019; Devetaković ve diğ., 2020; Jenssen, 2019)

POWERHOUSE BRATTORKAIA BİNASI		ÖRNEK 22
ENERJİ VERİLERİ	 <i>Cephelere göre yapı kabuğundan enerji üretimi</i>	
GÖRSELLER	 <i>Binanın çatı ve cephesindeki BIPV sistemi</i> <i>İç mekan görünümü</i>	
NOTLAR	. Binada kullanılan yenilenebilir enerji sayesinde günlük kendi enerji ihtiyacının iki katı enerji üretimi sağlamaktadır. Fazla üretilen enerji şebekeye dağıtılmaktadır . Bina, BREEAM Outstanding yeşil bina sertifikasına sahiptir. . Biçim çevreyi takip eder (Form follows environment) yaklaşımıyla yapı kabuğunda optimum düzeyde güneş enerjisinin kullanımı amaçlanmıştır. ÖDÜLLER: . . Dezeen Awards 2020.	

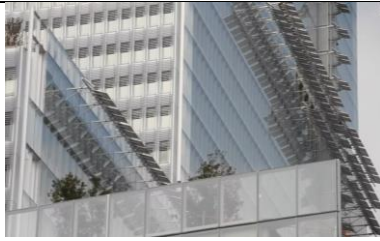
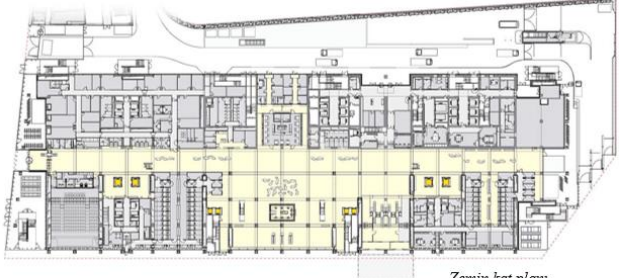
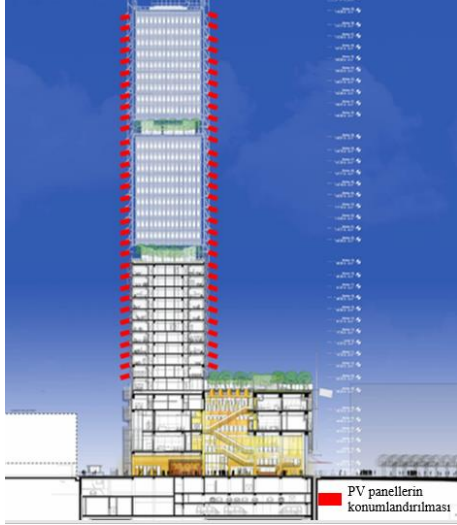
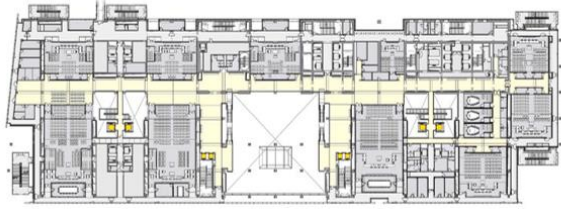
Çizelge 2.34. Eden Project Faz 4 eğitim binası analizi (Eden Project, 2022; Solarchitecture, 2019; Cousins, 2020; TRADA, 2007)

EDEN PROJECT FAZ 4 EĞİTİM BİNASI					ÖRNEK 23	
BİNA KÜNYESİ	Mimar	N.Grimshaw				
	Konum	Bodelva/ İngiltere				
	İklim	Ilıman okyanusal iklim (Cfb)				
	Yapım Yılı	2005				
	Yapı İşlevi	Eğitim				
	Mimari Konsept	Yüksek çevresel, sosyal standartta tasarım				
	Taban Alanı	2200 m ²				
	Kat adedi/yüksekliği	Zemin+ 2 kat				
	Cephe Tipi	Eğimli cephe				
	Çatı Tipi	Eğimli PV çatı				
	Tasarım Hedefleri	. Çevreye daha az zarar veren doğal yapı malzemeleri kullanımı, . Enerji tüketimini yenilenebilir kaynaklardan karşılanması, . Bina kabuğunda enerji tasarruflu teknolojilerin kullanımı.				
MİMARİ BÜTÜNLEŞME	Uygulama Tipi: BIPV sistem: X BAPV sistemi: -		 <i>Çatı ve cephede bulunan PV paneller</i>			
	Konum: Cephe: X Çatı: X					
	Kullanım amacı: Cephe gölgeleme elemanı olarak Çatı kaplama malzemesi olarak					
	Bütünleşme Şekli	Fiziksel	Görsel	İşlevsel	Dinamik	
	Ayrık	-	-	-	-	
	Bitişik	X (Çatı)	X (Çatı)	X (Çatı)	-	
	Bağlantılı	X (Cephe)	X (Cephe)	X (Cephe)	-	
	Birbirine Geçmiş	-	-	-	-	
	Bileşik	-	-	-	-	
BÜTÜNLEŞİK CEPHE TASARIMI	Binanın ısıl geçirgenlik kat sayısı (W/m ² K)	Dış duvar: -	Pencere: -	Çatı: -	 <i>Binanın eğimli çatı görünümü</i>	
	PV Hücre Tipi	Çok kristalli silikon hücre				
	PV Uygulama	Çatı ve cepheler				
	PV uygulama tipi	Cephe: Gölgeleme elemanı PV uygulaması Çatı: Soğuk çatı PV uygulaması				
	PV kurulum alanı	Çatı: 530 m ² Cephe: 85.7 m ²				
	PV zirve gücü	Çatı: 53 kWp Cephe: 8.4 kWp				
	PV enerji üretimi	20 000 kWh				
	Enerji tüketimi	- kWh				
	Aktif güneş yüzey oranı	Çatı: %25'ten az				
	Verimlilik oranı	İhtiyaç duyulan enerjinin % 10'u PV sistemlerden karşılanmaktadır.				

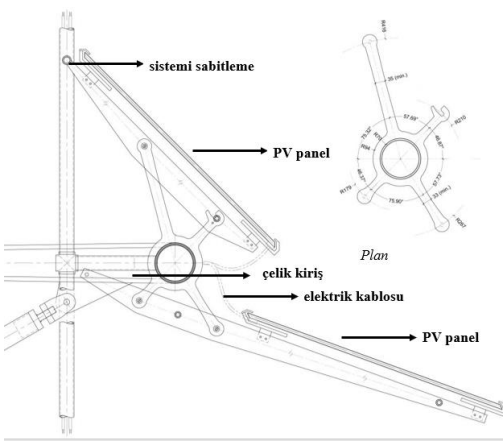
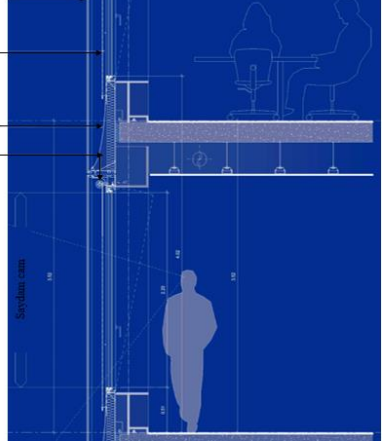
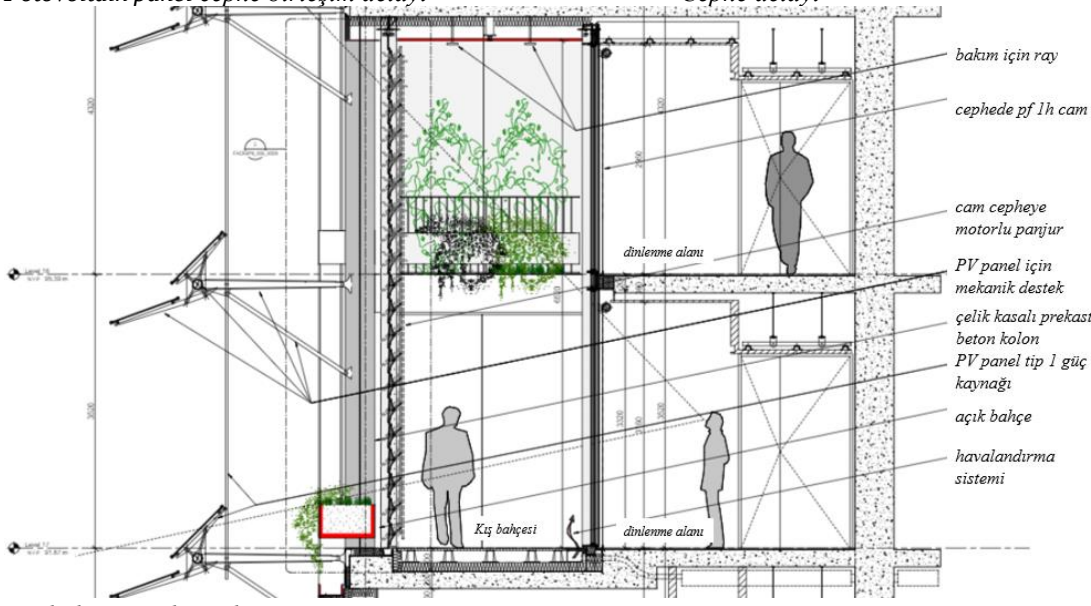
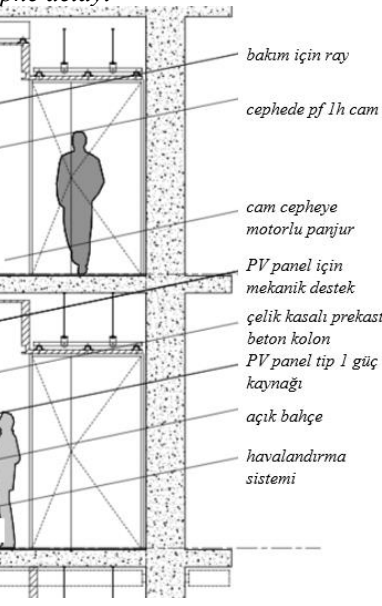
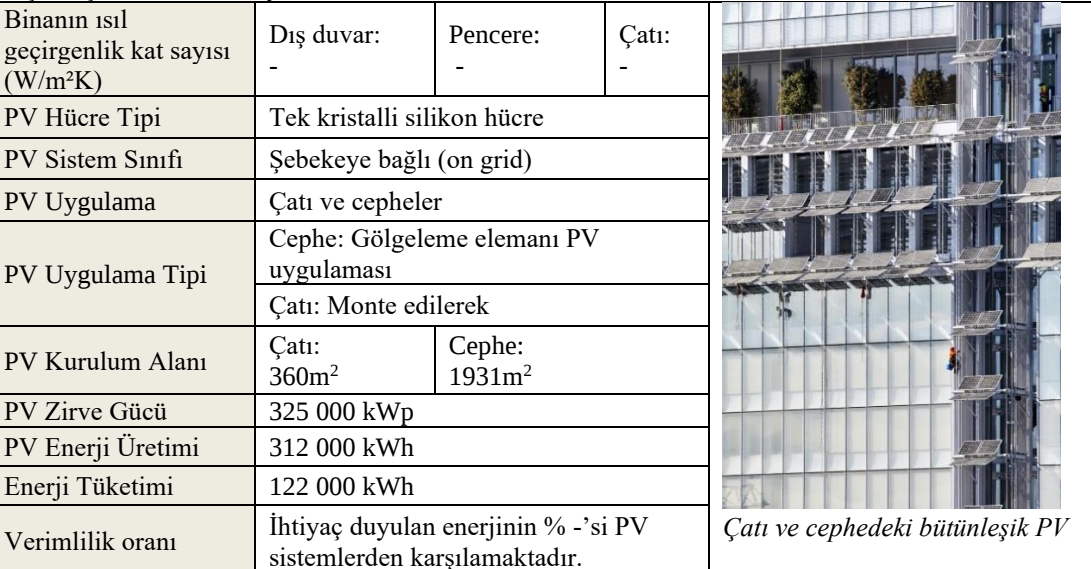
Çizelge 2.34. (devam) Eden Project Faz 4 eğitim binası analizi (Eden Project, ?; Solararchitecture, 2019; Cousins, 2020; TRADA, 2007)

EDEN PROJECT FAZ 4 EĞİTİM BINASI	ÖRNEK 23
TASARIM STRATEJİLERİ	 <i>Projenin tesis alanındaki ısı ve sıcaklık akışı</i>
GÖRSELLER	 <i>Vaziyet görünümü</i> <i>Cepheadeki PV güneş kırıcılar</i> <i>Çatıya bütünleştirilmiş PV panel</i> <i>İç mekan görünümü</i>
NOTLAR	. Ahşap çerçeve, ahşap kaplama ve iç ahşap, prekast beton merdiven ile saha dışı prefabrikasyondan faydalanılmıştır . . Çatıda kullanılan OSB (oriented strand board) prefabrik panel boyutları, dış kısımlarda 6.5m iken iç kısımlarda 2m olarak değişmektedir. . Gri suların tuvaletlerde geridönüşümü sağlanmıştır. ÖDÜLLER: . . . -

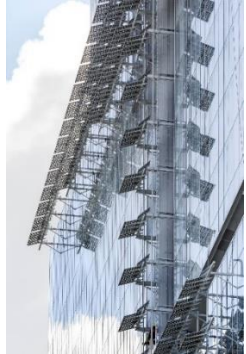
Çizelge 2.35. Paris Law Courts ofis binası analizi (RFR, t.y.; Breuille, 2018; Archdaily, 2017c; ISSOL, 2016; Devetaković ve diğ., 2020; CSTB, 2018)

PARIS LAW COURTS OFİS BİNASI					ÖRNEK 24
BİNA KÜNYESİ	Mimar	Renzo PIANO			 Paris Law Courts genel görünüş  Cephe PV güneş kırıcılar
	Konum	Paris/ Fransa			
	İklim	Akdeniz iklimi			
	Yapım Yılı	2017			
	Yapı İşlevi	Ofis			
	Mimari Konsept	Sürdürülebilir mimari			
	Taban Alanı	62 000 m ²			
	Kat adedi/yüksekliği	Zemin+ 38 kat/ 160m			
	Cephe Tipi	Düşey cephe			
	Çatı Tipi	Teras çatı			
Tasarım Hedefleri	. Paris iklim anlaşmasının gerekliliklerini karşılamak, . Binada temiz enerji üretimi sağlamak, . Bina enerji verimliliğini üst düzeye çıkarmak, . Dikey şehir konseptini benimsemek, . Kullanıcı konforunu sağlamak.				
MİMARİ ÇİZİMLER	 Zemin kat planı			 Kesit	
	 Kat planları				
MİMARİ BÜTÜNLEŞME	Uygulama Tipi: BIPV sistem: X BAPV sistemi: X				
	Konum: Cephe: X Çatı: X				
	Kullanım amacı: Cephe gölgeleme elemanı olarak				
	Bütünleşme Şekli	Fiziksel	Görsel	İşlevsel	Dinamik
	Ayrık	X (Çatı)	X (Çatı)	X (Çatı)	-
	Bitişik	-	-	-	-
	Bağlantılı	X (Cephe)	X (Cephe)	X (Cephe)	-
	Birbirine Geçmiş	-	-	-	-
	Bilesik	-	-	-	-

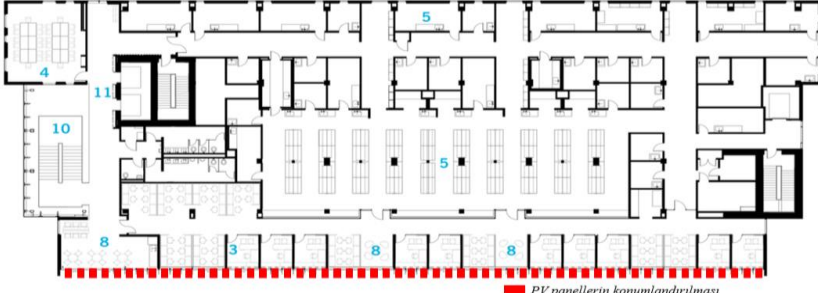
Çizelge 2.35. (devam) Paris Law Courts ofis binası analizi (RFR, t.y.; Breuille, 2018; Archdaily, 2017c; ISSOL, 2016; Devetaković ve diğ., 2020; CSTB, 2018)

PARIS LAW COURTS OFİS BİNASI				ÖRNEK 24
TEKNİK DETAY	 <i>Fotovoltaik panel cephe birleşim detayı</i>			 <i>Cephe detayı</i>
	 <i>Kış bahçesinin kesit detayı</i>			 <i>Cephe detayı</i>
	 <i>Kış bahçesinin kesit detayı</i>			 <i>Cephe detayı</i>
BÜTÜNLEŞİK CEPHE TASARIMI	Binanın ısııl geçirgenlik kat sayısı (W/m²K)	Dış duvar: -	Pencere: -	Çatı: -
	PV Hücre Tipi	Tek kristalli silikon hücre		
	PV Sistem Sınıfı	Şebekeye bağlı (on grid)		
	PV Uygulama	Çatı ve cepheler		
	PV Uygulama Tipi	Cephe: Gölgeleme elemanı PV uygulaması		
		Çatı: Monte edilerek		
	PV Kurulum Alanı	Çatı: 360m²	Cephe: 1931m²	
	PV Zirve Gücü	325 000 kWp		
	PV Enerji Üretimi	312 000 kWh		
	Enerji Tüketimi	122 000 kWh		
	Verimlilik oranı	İhtiyaç duyulan enerjinin % -'si PV sistemlerden karşılamaktadır.		
				 <i>Çatı ve cephedeki bütünleşik PV</i>

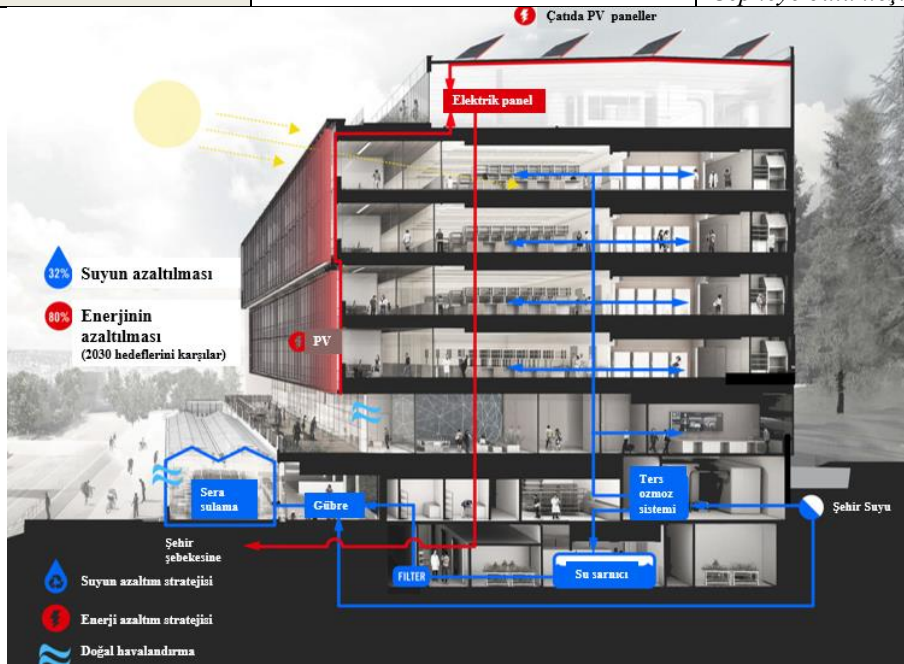
Çizelge 2.35. (devam) Paris Law Courts ofis binası analizi (RFR, t.y.; Breuille, 2018; Archdaily, 2017c; ISSOL, 2016; Devetaković ve diğ., 2020; CSTB, 2018)

PARIS LAW COURTS OFİS BİNASI		ÖRNEK 24
GÖRSELLER	   	
	 	
NOTLAR	<i>Binanın cephesindeki BIPV güneş kırıcı sistemi</i> <i>Galeri boşluğunda bulunan ışık bacaları</i>	<i>İç mekan görünümü</i>
	. C sınıfı enerji tüketim derecesine sahiptir. . Binanın doğu ve batı cephelerinde 1596 adet güneş kırıcı PV panel çatıda ise 152 adet PV panel kullanılmıştır. . Certivéa tarafından, HQE Ofis Binası Sertifikası verilmiştir. ÖDÜLLER: . . Grand prix national de l'Ingénierie 2017, . Équerre d'argent 2017	

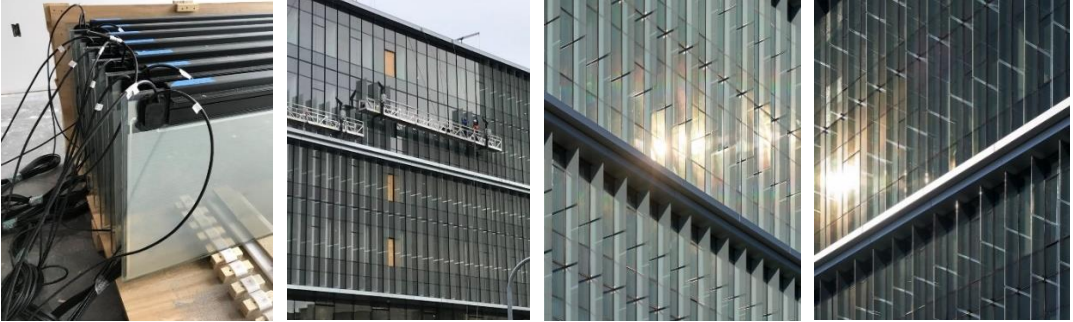
Çizelge 2.36. Washington Üniversitesi Yaşam Bilimi binası analizi (Perkin ve Will, 2022; Archdaily, 2019b; Wohesc, t.y.; Onyx, 2019)

WASHINGTON ÜNİVERSİTESİ YAŞAM BİLİMİ BİNASI				ÖRNEK 25	
BİNA KÜNYESİ	Mimar	Perkins ve Will			
	Konum	Washington/ Amerika			
	İklim	Ilıman okyanus iklimi			
	Yapım Yılı	2018			
	Yapı İşlevi	Ofis			
	Mimari Konsept	Sürdürülebilir mimari			
	Taban Alanı	650 m²			
	Kat adedi/yüksekliği	Zemin+ 6 kat+ 1 bodrum kat			
	Cephe Tipi	Düşey cephe			
	Çatı Tipi	Teras çatı			
MİMARİ ÇİZİMLER	Tasarım Hedefleri	- Yüksek teknolojiye sahip sürdürülebilir bir bina elde etmek, - Enerjide 2030 hedeflerini gerçekleştirmek, - İşletimde enerji ve su tüketimini azaltmak ve üretimi sağlamak.			
					
	Standart kat planı				
					
	Kesit				
					
	Uygulama Tipi:	BIPV sistem: X BAPV sistem: X			
	Konum:	Cephe: X Çatı: X			
	Kullanım amacı:	Cephe gölgeleme elemanı olarak			
	Bütünleşme Şekli	Fiziksel	Görsel		İşlevsel
Ayrık	-	-	-	-	
Bitişik	X	X	X	-	
Bağılantılı	-	-	-	-	
Birbirine Geçmiş	X (Cephe)	X (Cephe)	X (Cephe)	-	
Bileşik	-	-	-	-	

Çizelge 2.36. (devam) Washington Üniversitesi Yaşam Bilimi binası analizi (Perkin ve Will, 2022; Archdaily, 2019b; Wohesc, t.y.; Onyx, 2019)

WASHINGTON ÜNİVERSİTESİ YAŞAM BİLİMİ BİNASI					ÖRNEK 25
BÜTÜNLEŞİK CEPHE TASARIMI	Binanın ısııl geçirgenlik kat sayısı (W/m²K)	Dış duvar: -	Pencere: -	Çatı: -	 <i>Cepheye bütünleşik PV sistemi</i>
	PV Hücre Tipi	Amorf silikon hücre			
	PV Sistem Sınıfı	Şebekeye bağlı (on grid)			
	PV Uygulama	Çatı ve cepheler			
	PV Uygulama Tipi	Cephe: Gölgeleme elemanı olarak uygulanan PV			
		Çatı: Monte edilerek PV uygulaması			
	PV Kurulum Alanı	Çatı: - m²	Cephe: Güney 596m²		
			Güney: 12 260 kWh		
	PV Zirve Gücü	Çatı: 110.000 kWh	Cephe: Güney: 12 260 kWh		
	PV Enerji Üretimi	122 260 kWh			
Enerji Tüketimi	130 000 kWh				
Verimlilik oranı	İhtiyaç duyulan enerjinin % 94'i PV sistemlerden karşılanmaktadır.				
ENERJİ VERİLERİ	 <i>PV üretimi verimliliği için yüzey tasarımı</i> <i>Hacmin kullanımı</i>				
GÖRSELLER	 <i>Binanın çatı ve cephesindeki BIPV sistemi</i>				 <i>İç mekan görünümü</i>

Çizelge 2.36. (devam) Washington Üniversitesi Yaşam Bilimi binası analizi (Perkin ve Will, 2022; Archdaily, 2019; Wohesc, t.y.; Onyx, 2019)

WASHINGTON ÜNİVERSİTESİ YAŞAM BİLİMİ BINASI		ÖRNEK 25
GÖRSELLER		
	Cephede kullanılan güneş kırıcı BIPV sisteminin kurulumu	
NOTLAR	. Bina cephesinde, yarı saydam güneş kırıcı PV paneller çatıda ise PV paneller monte edilerek kullanılmaktadır. . Bina, LEED Gold yeşil bina sertifikasına sahiptir. . Kullanılan amorf hücreli PV paneller bulutlu havalarda, silikon tabanlı PV panellere göre daha fazla elektrik üretmektedirler. . Yıl boyunca, ofislerin dört katını aydınlatmaya yetecek elektrik üretimi PV sistemler tarafından karşılanmaktadır. . Binanın sürdürülebilir özellikleri arasında; havalandırma ve soğutma için çalıştırılabilir pencereler, soğuk kirişler ve radyat zeminler aynı zamanda da fotovoltaik paneller yer almaktadır. . Binada %57 oranında enerji tüketiminin azaltımı sağlanmıştır. ÖDÜLLER: . Sustainability Award – CABE Built Environment Awards 2019, . Best Building Photovoltaic Glass Provider Award – Sustainable Building Awards 2018 of Build Magazine. . Best Multi-Functional Curtain Wall Project Award – Sustainable Building Awards 2018 of Build Magazine. . Building Of The Year Award – Daily Journal of Commerce 2018	

Çizelge 2.37. Örnek binaların aktif güneş sistem uygulama biçim ve düzeyleri

Aktif Güneş Sistemlerinin Yapı Kabuğunda Kullanımı		PV PERFORMANS ANALİZİ								
		Güneş Kolektörü	PV Sistemler		Yönlendirme	Bina Formu		Uygulama Tipi		Verimlilik Oranı (%)
			BIPV	BAPV		Cephe Yüzeyi	Çatı Yüzeyi	Bütünleşme Tipi	Tasarım Konsepti	
Örnek 1	X	X	-	Güney	Eğimli (%31.5)	Düz	Düz	Soğuk Cephe PV	Yatay Dışlı PV	23- 34
Örnek 2	-	X	X	GD/ Güney/ GB*	Eğimli (%15-30)	Düz	Düz	Sıcak Cephe PV	Akordeon PV	7.2
Örnek 3	-	X	X	Güney	Düz	Düz	Düz	Soğuk Cephe PV	Düşey PV	28
Örnek 4	-	X	X	K/G/D/B**	Düz	Düz	Düz	Soğuk Cephe PV	Düşey PV	35
Örnek 5	-	X	-	K/G/D/B	Düz	Düz	Düz	Soğuk Cephe PV	Düşey PV	39
Örnek 6	-	X	-	K/G/D/B	Düz	Kırma	Düşey PV	Soğuk Cephe PV	Düşey PV	47
Örnek 7	-	X	-	Güney	Eğimli	Eğimli	Düz	Soğuk Cephe PV	Eğimli PV	60
Örnek 8	-	X	X	Güney	Düz	Düz	Düz	Çift Kabuklu PV	Düşey PV	10
Örnek 9	-	X	-	Güney/ Kuzey	Düz	Düz	Düz	Soğuk Cephe PV	Düşey PV	-
Örnek 10	X	X	X	Güney	Düz	Düz	Düz	Gölgeleme Elemanı PV	Düşey PV	23.7- 30
Örnek 11	-	X	-	K/G/D/B	Düz	Düz	Düz	Soğuk Cephe PV	Düşey PV	90
Örnek 12	-	X	X	Güney	Düz	Düz	Düz	Sıcak Cephe PV	Düşey PV	-
Örnek 13	-	X	-	K/G/D/B	Eğimli	Eğimli	Düz	Soğuk Cephe PV	Eğimli PV	100
Örnek 14	-	X	X	K/G/D/B	Düz	Düz	Düz	Soğuk Cephe PV	Düşey PV	30
Örnek 15	-	X	X	Güney	Düz	Düz	Düz	Gölgeleme Elemanı PV	Düşey Dışlı PV	40
Örnek 16	-	X	X	Güney/Doğu/GD	Düz	Düz	Düz	Soğuk Cephe PV	Akordeon PV	4
Örnek 17	X	X	-	Güney	Düz	Eğimli	Düz	Soğuk Cephe PV	Düşey PV	73
Örnek 18	X	X	-	Güney	Düz	Düz	Düz	Soğuk Cephe PV	Düşey PV	67
Örnek 19	-	-	X	Güney	Düz	Düz	Düz	-	-	-
Örnek 20	-	X	-	Güney	Eğimli	Eğimli	Düz	Soğuk Cephe PV	Eğimli PV	100
Örnek 21	-	X	-	K/G/D/B	Eğimli	Eğimli	Düz	Soğuk Cephe PV	Eğimli PV	-
Örnek 22	-	X	-	Batı/ GD	Düz	Eğimli	Düz	Soğuk Cephe PV	Eğimli PV	100
Örnek 23	-	X	-	K/G/D/B	Eğimli (%10)	Eğimli	Düz	Gölgeleme Elemanı PV	Eğimli PV	10
Örnek 24	-	X	X	Doğu/ Batı	Düz	Düz	Düz	Gölgeleme Elemanı PV	Eğimli PV	-
Örnek 25	-	X	X	Güney	Düz	Düz	Düz	Gölgeleme Elemanı PV	Düşey PV	94

üneydoğu, GB: Güneybatı

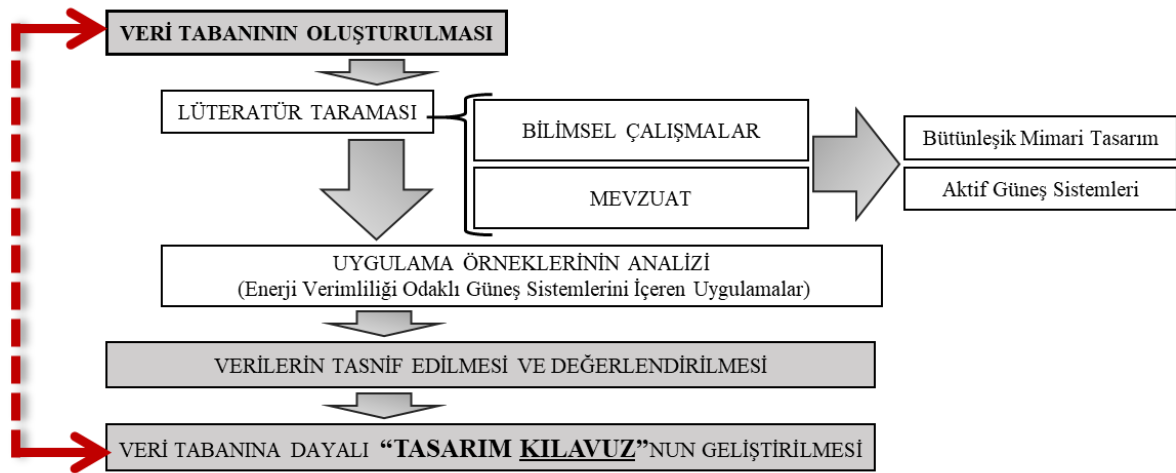
** K:Kuzey, G:Güney, D:Doğu, B:Batı

***Verimlilik oranı PV sistemlere aittir

****Kırmızı işaretli alanlar birbirleriyle ilişkilidir

3. MATERYAL VE METOT

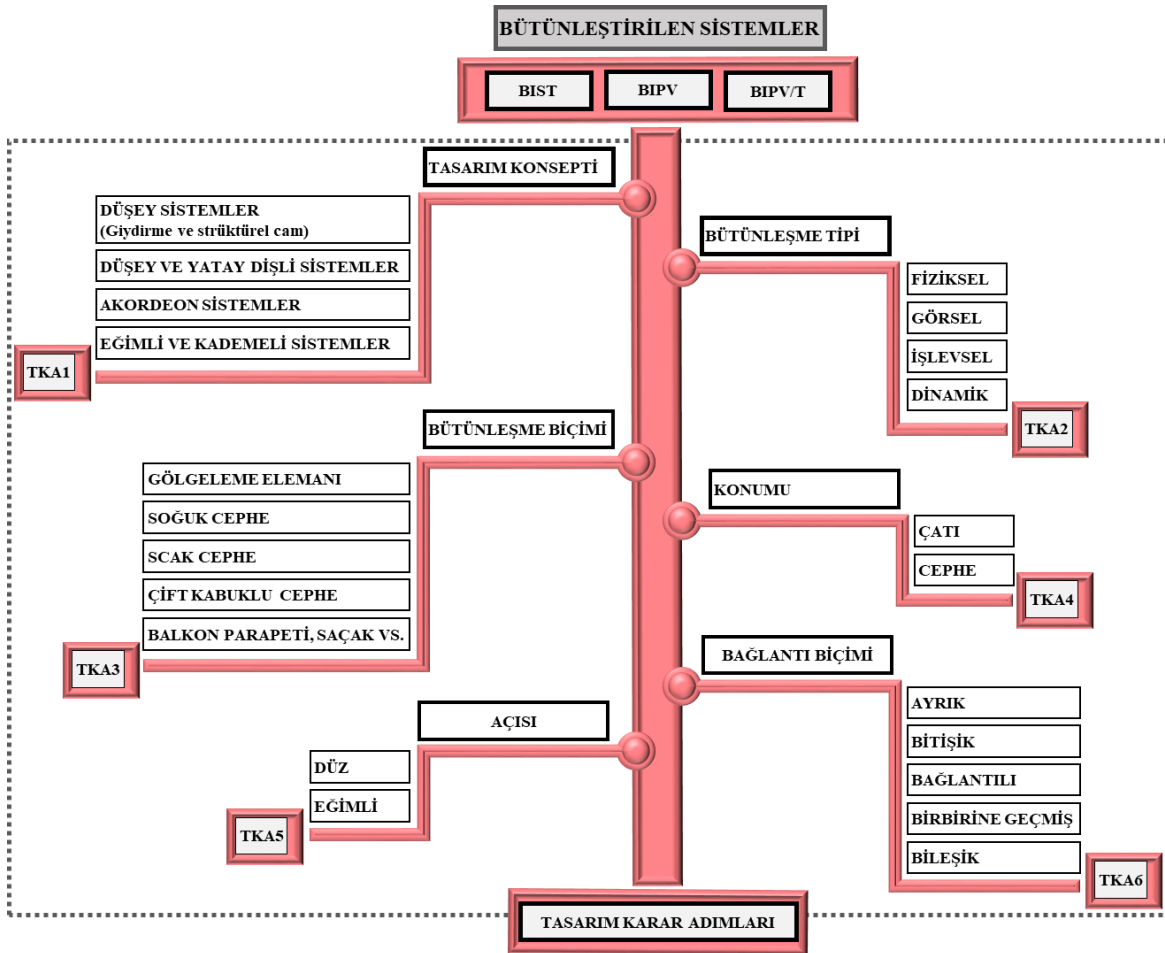
Enerji bağımsızlığı talebinin en üst noktaya çıktığı ve yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelimin arttığı günümüzde aktif güneş sistemlerinin yapılarla birlikte tasarlanma süreçleri ortaya çıkmış, ancak bu hususta bir bütünleşik tasarımın nasıl gerçekleştirilebileceğine dair bir öngörü tam olarak oluşturulamamıştır. Bu durum dikkate alınarak tasarımcılara yönelik bir tasarım kılavuzu oluşturmak amacıyla aktif güneş sistemleri, bütünleşik mimari tasarım yaklaşımı ve uygulama örnekleri konularında ilgili akademik çalışmalar ile ulusal ve uluslararası mevzuatlar kapsamında sistematik bir literatür çalışması yürütülmüş, elde edilen verilerin değerlendirilmesi sonucu tasarım stratejilerini içeren veri tabanı oluşturulmuştur. Ulaşılan veri tabanı esas alınarak tasarım sürecinde etkili olan yaklaşımlar belirlenmiş ve tasarım sürecine fayda sağlayacağı düşünülen kılavuz geliştirilmiştir. Bütünleşik tasarım kılavuzunun geliştirilme süreci Şekil 3.1’de verilmiştir.



Şekil 3.1. Veri tabanının oluşturulması ve tasarım kılavuzunun geliştirilmesi süreci

Enerji ve /veya sıcak su elde etme amacıyla güneş enerjisini kullanan aktif sistemlere ait güneş kolektörleri, fotovoltaik paneller ve fotovoltaik termal paneller gibi bileşenlerin binalarla bütünleşik bir biçimde tasarlanmasının mümkün olduğu üç tip tespit edilmiştir. Güneş kolektörlerinin binayla bütünleşik tasarımı (BIST), fotovoltaik sistemlerin binayla bütünleşik tasarımı (BIPV) ve fotovoltaik termal sistemlerin binayla bütünleşik tasarımı (BIPV/T) olmak üzere tasarım kılavuzunda bu üç tipe yer verilmiştir. Öncelikle bütünleştirilen sistemleri oluşturan veri tabanındaki bilgilerin tasnifine dayalı olarak tasarım karar adımları oluşturulmuştur. Tasarım karar adımlarının içeriği tasarım konseptinin

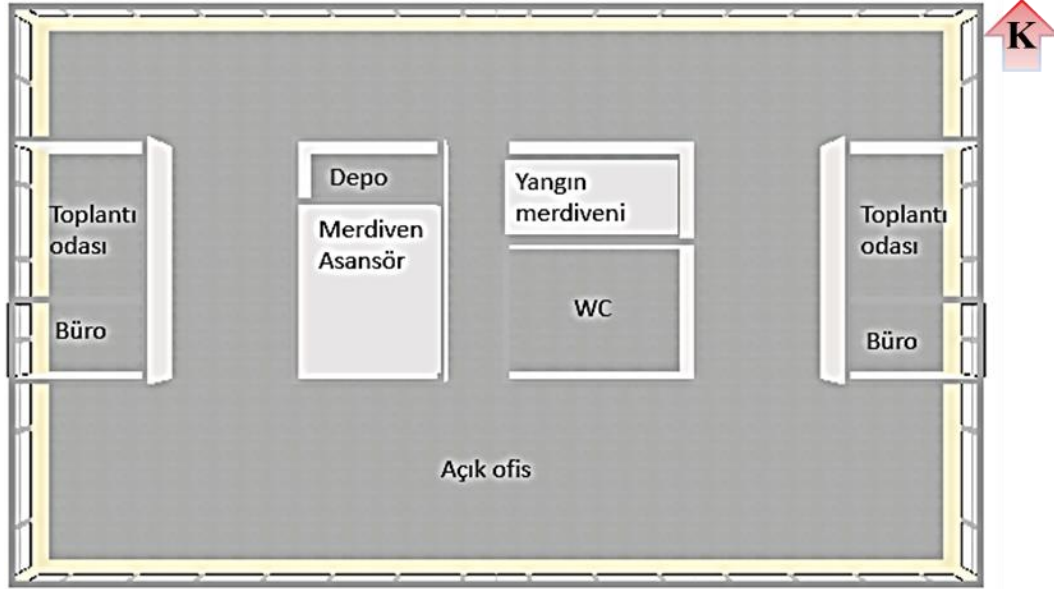
belirlenmesine, bütünleşme tipinin seçilmesine, konumuna, yapıya nasıl uygulanacağına dair bütünleşme biçimine, açısına ve bağlantı biçimine karar verilmesi şeklinde düzenlenmiştir (Şekil 3.2).



Şekil 3.2. Tasarım kılavuzunda yer alan tasarım karar adımları

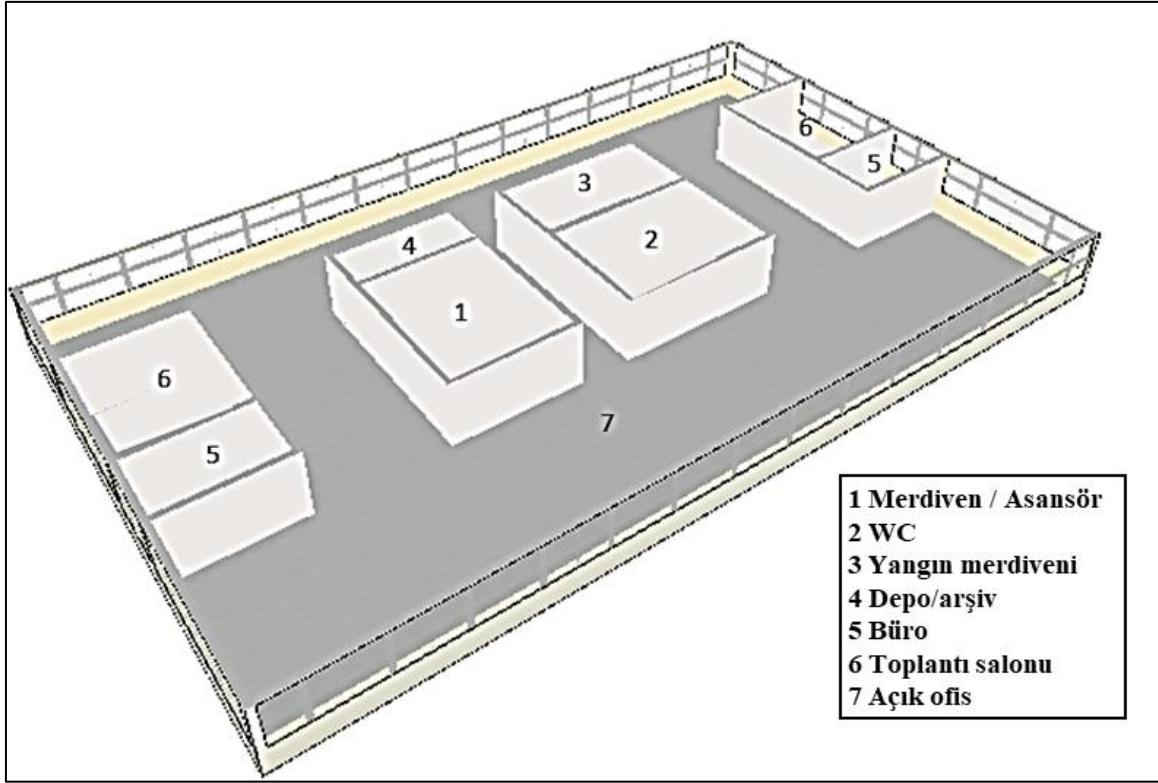
Aktif sistemlerle bütünleşik tasarım kılavuzu bağlamında gerçekleştirilecek tasarımların etki düzeyini ve fayda potansiyelini sınavabilmek amacıyla metodolojinin bu kısmında bir prototip bina tasarlanmıştır. Gün ışığından en üst düzeyde verim sağlanabilmesi için dikdörtgen formda tasarlanması ve güneyle yüzleşen cephe yüzeyinin artırılması amacıyla doğu-batı aksında konumlandırılması hedeflenen prototip bina zemin+1. kat olarak planlanan bir ofis binası olarak düşünülmüştür. Prototip binanın mimari programında ise çalışma mekânları, toplantı odaları, depo ve arşiv bölümlerine yer verilmiştir (Şekil 3.3). Ofis binası tercih edilmesinin sebebi ise işlevi gereği gündüz kullanımının ağırlıklı olması, ısı performansının yanı sıra üst düzeyde gün ışığı ihtiyacının da bulunması, ayrıca mekan

örgütlenme ve kabuk tasarımı açısından aktif sistemler için tasarımda daha fazla uygulama alanına olanak tanınmasıdır.



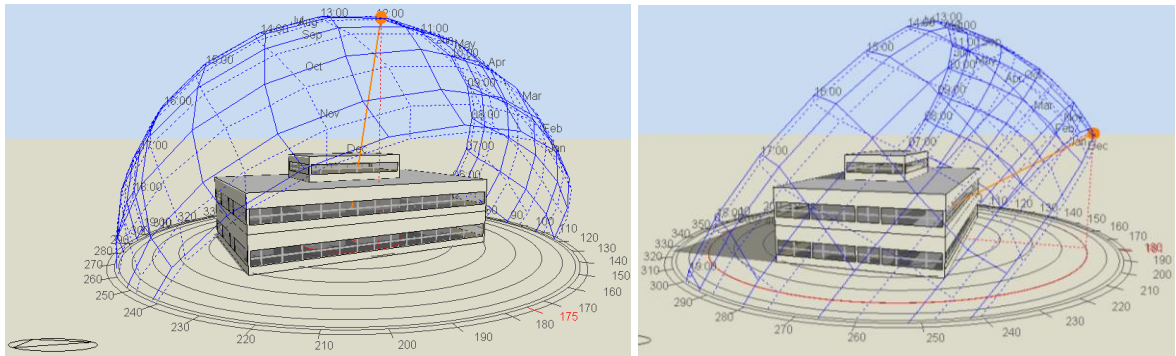
Şekil 3.3. Tasarlanan prototip binanın kat planı

İşlevsel gereksinimlerini karşılamasının yanı sıra cephe tasarımı bağlamında gün ışığından da faydalanabilmesi amacıyla açık ofis olarak tasarlanan prototip binada minimum mekan boyutlarının kullanımı tercih edilmiş ve 30x18 m boyutlarında dikdörtgen bir plan formu belirlenmiştir. Düşey sirkülasyon alanlarının, ıslak hacimlerin, arşiv - depo alanlarının ve havalandırma - tesisat bacalarının bulunduğu çekirdek alan plan geometrisinin merkezine konumlandırılmıştır (Şekil 3.4).

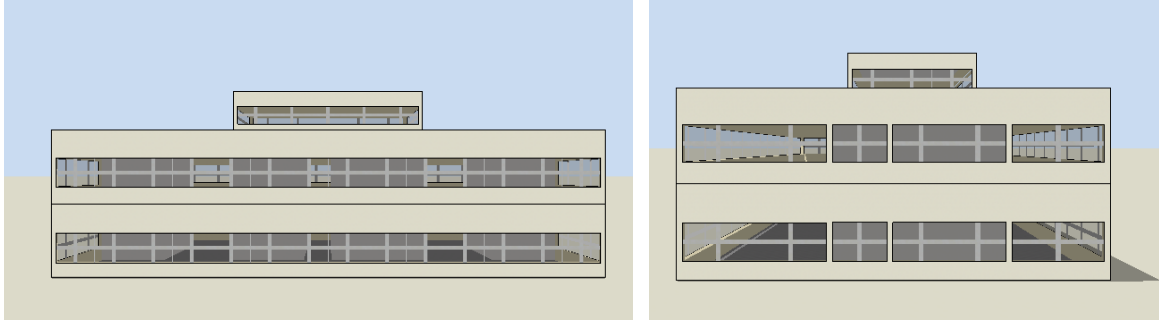


Şekil 3.4. Design Builder programında modellenen prototip binanın iç mekân örgütlenmesi

450 m² taban alanına ve 11 m bina yüksekliğine sahip olan prototip bina, güneye yönlendirilerek konumlandırılmıştır (Şekil 3.5- Şekil 3.6). Prototipin modellenmesi için yapıyı ve yapı kabuğunu analiz edebilen, enerji üretim ve tüketim, çevresel konfor hesabı yapabilen ve farklı tasarımların oluşturulabilmesine elverişli olan Design Builder simülasyon programı (İsmail ve diğ., 2015) kullanılmıştır.



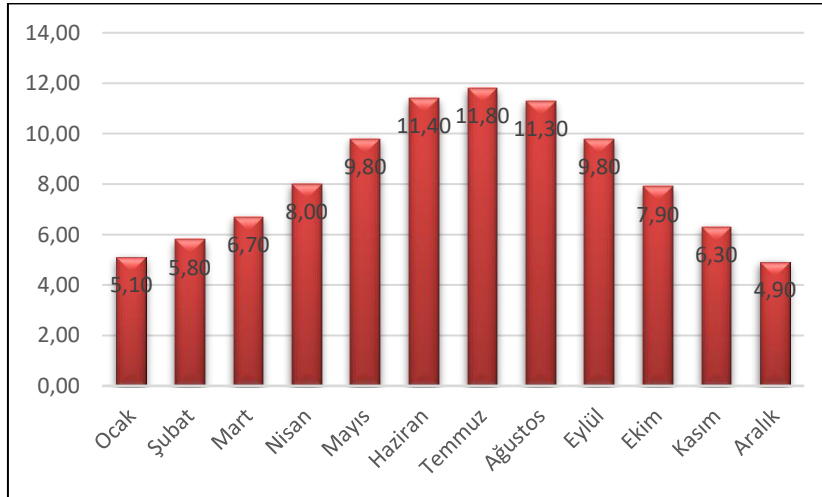
Şekil 3.5. Doğu batı aksında konumlandırılan prototip binanın 15 Temmuz ve 15 Aralık güneş yörünge (sun path) analizi



Şekil 3.6. Prototip binanın güney ve doğu görünüşleri

Hazırlanan kılavuz çerçevesinde bütünleşik tasarım kararlarının da dikkate alındığı simülasyon çalışmasını yapabilmek için Türkiye’de güneş enerjisi açısından yüksek potansiyele sahip olan ve sıcak nemli iklim (Akdeniz iklimi) bölgesinde bulunan Antalya ili seçilmiştir.

Antalya ili TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları Yönetmeliği’ne göre 1. Bölge iklim sınıfında yer almaktadır. Yıllık ortalama sıcaklık 18.8 °C olmakla birlikte ortalama 8.2 saat güneşlenme süresine sahiptir (<https://www.mgm.gov.tr>). En yüksek güneşlenme süresi 11.8 saat ile temmuz ayında gerçekleşmektedir (Şekil 3.7).



Şekil 3.7. Antalya ilinin aylara göre güneşlenme süresi (<https://www.mgm.gov.tr>)

Prototip binanın konumlanması Antalya ilinin Muratpaşa ilçesinde gerçekleştirilmiş olup simülasyon programına alanın koordinatları, 36° 87’ kuzey enlemi 30° 73’ doğu boylamı olarak girilmiştir. Deniz seviyesinden 54 m yüksekte bulunmaktadır (Şekil 3.8).



Şekil 3.8. Proje alanı (<https://earth.google.com>)

Prototipin yapı kabuğu tasarımında saydamlık oranları (pencere/duvar oranı) simülasyon programı aracılığı ile hesaplanarak Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Yapı kabuğunun pencere duvar oranı

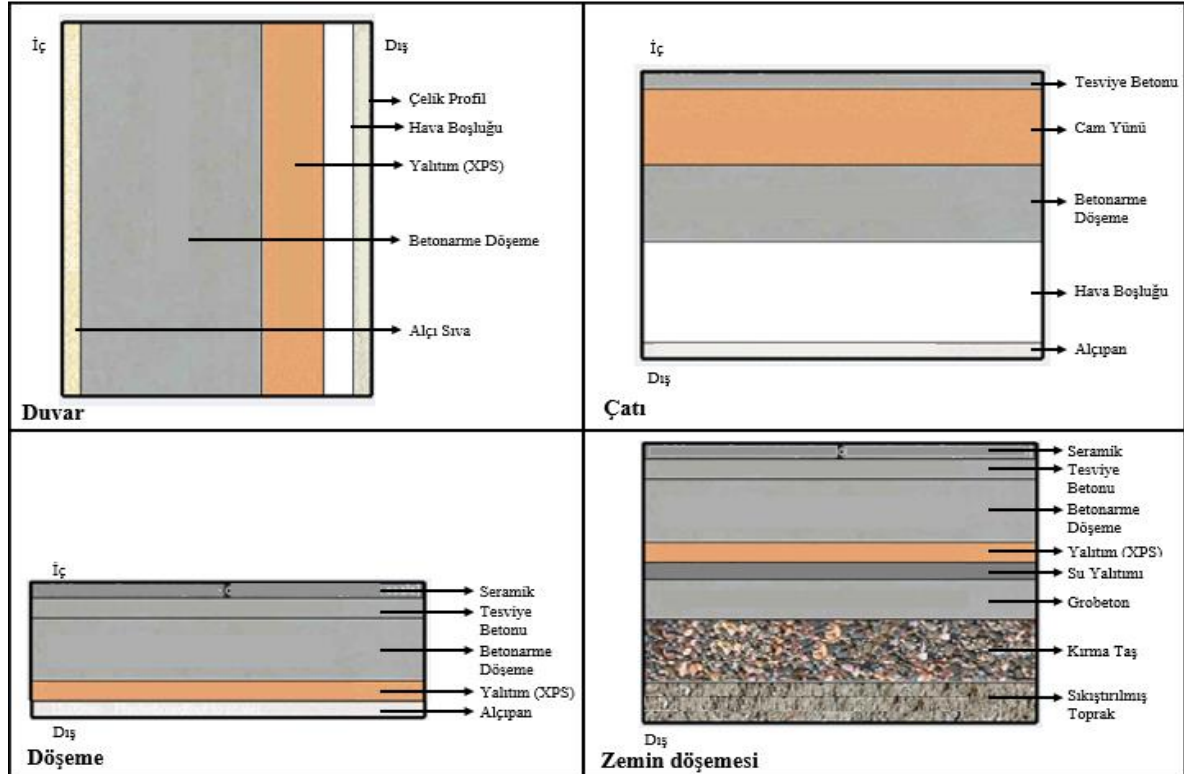
Yapı Kabuğu	Kuzey (315- 45°)	Doğu (45- 135 °)	Güney (135- 225 °)	Batı (225- 315 °)	Toplam
Duvar (m ²)	554,10	332,70	554,10	332,70	1 773,60
Pencere (m ²)	213,04	122,70	213,04	122,70	671,46
Pencere/ Duvar oranı (%)	38,45	36,88	38,45	36,88	37,86

Tasarlanan yapıda (dış duvarlar, çatı, döşemeler) tercih edilen malzemelerin özellikleri Çizelge 3.2’de yapı elemanlarının kesit detayları ise Şekil 3.9’da gösterilmiştir.

Çizelge 3.2. Prototip binada kullanılan yapı malzemelerinin özellikleri

	Malzeme adı	Kalınlık (cm)	U Değeri (W/m²K)		Malzeme adı	Kalınlık (cm)	U Değeri (W/m²K)
DUVAR	Çelik Profil	0,3	0,465	DÖŞEME	Seramik	0,8	0,542
	Yatay Hava Boşluğu	2,5			Tesviye Betonu	5	
	Yalıtım (XPS)	5			Betonarme Döşeme	15	
	Betonarme Döşeme	15			Yalıtım (XPS)	5	
	Alçı Sıva	1			Alçıpan	1	
ÇATI	Tesviye Betonu	5	0,237	ZEMİN DÖŞEMESİ	Seramik	0,8	0,439
	Cam Yünü	5			Tesviye Betonu	5	
	Betonarme Döşeme	15			Betonarme Döşeme	15	
	Hava Boşluğu	2,5			Yalıtım (XPS)	5	
	Alçıpan	1			Su Yalıtımı	4	
					Grobeton	10	
					Kırma Taş	15	
Sıkıştırılmış Toprak			10				

Çizelge 3.2 de yer alan yapı elemanlarına ek olarak pencereler için 3 mm' lik çift Low- E cam arasına 13 mm argon hava gazı kullanılmıştır. Pencerelerin ısı iletkenlik kat sayısı (U değeri) 1,512 W/m²K olarak hesaplanmıştır.



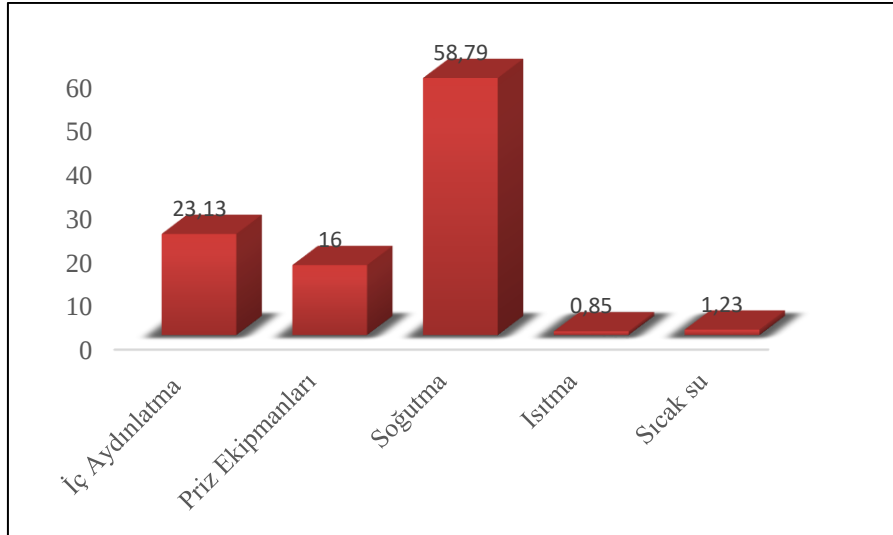
Şekil 3.9. Ofis prototip binasının yapı elemanları kesit detayı

Tasarlanan ofis prototipine ait veriler Design Builder simülasyon programına aktarılmış ve bir sonraki aşama olarak prototip binanın yıllık enerji kullanım değerleri hesaplanmıştır. Ofiste kullanılan elektronik ekipmanların enerji kullanımları için Design Builder programındaki açık ofis ekipmanlarının verileri dikkate alınmıştır. Prototip binaya ait yıllık enerji kullanım değerleri Çizelge 3.3 te verilmiştir.

Çizelge 3.3. Prototip yıllık enerji kullanım değerleri

Elektrik (kWh/m ² y)		Soğutma (kWh/m ² y)	Isıtma (kWh/m ² y)	Toplam (kWh/m ² y)
İç Aydınlatma (kWh/m ² y)	Priz Ekipmanları (kWh/m ² y)			
62,63	43,34	159,21	5,64	270,84
105,98				

Isıtma, doğalgaz ile sağlanmakta iken soğutmada Design Builder programındaki standart açık ofis için kullanılan soğutucular kullanılmakta olup simülasyonda elektrik kullanımının dışında yer almaktadır. Ofiste bulunan iç aydınlatmalar kullanılan elektriğin büyük çoğunluğunu oluşturmaktadır (%69) (Şekil 3.10).



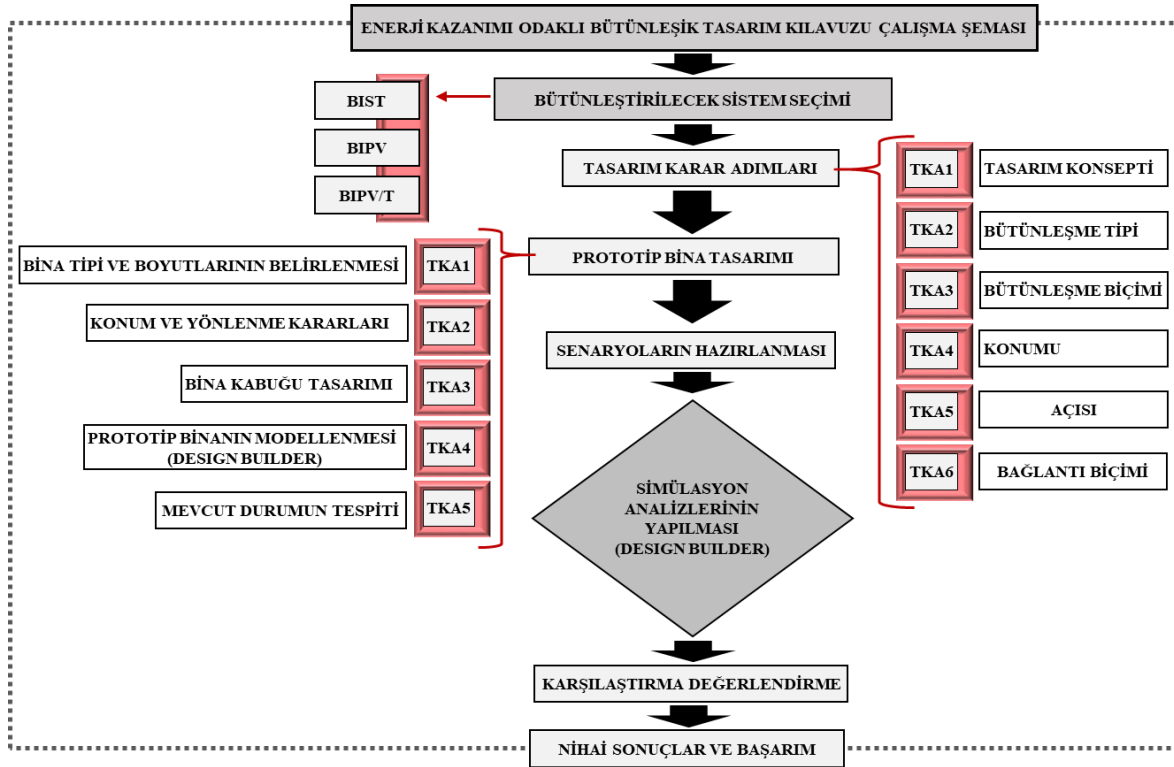
Şekil 3. 10. Ofis prototipindeki enerji kullanım yüzdeleri

Simülasyon analizinden elde edilen prototip binada yıllık (8760 saat) kullanılan enerji miktarı kWh cinsinden 291 968 kWh olarak hesaplanmıştır. Bu enerjinin 114 249 kWh' ı (%39,13) elektrik ihtiyacı için kullanılmaktadır.

Prototip binaya dair mevcut durumun tespit edilmesi aşamasından sonra ilgili verilerin dikkate alınmasıyla enerji ihtiyacının güneş enerjisinden elde edilmesi için daha önce geliştirilmiş olan tasarım kararları çerçevesinde senaryoların hazırlanması öngörülmüştür. Bu kısım geliştirilen kılavuzun sınanması bölümünde ayrıntılı olarak açıklanacaktır (Bölüm 4). Hazırlanan dört senaryonun yine Design Builder programı kullanılarak analizleri gerçekleştirilmiş ve karşılaştırmalı değerlendirmeleri yapılmıştır.

Son olarak elde edilen bulgular değerlendirilmiş, hazırlanan karar adımları çerçevesinde binalara bütünleşik olarak tasarlanan aktif sistemler aracılığı ile enerji kazanımının sağlanabildiği, bu bağlamda izlenmesi gereken karar adımlarının tasarımcılara yol göstererek fayda sağlayabileceği ortaya konmuştur.

Hazırlanan kılavuzun çalışma şeması Şekil 3.11’de verilmiştir.



Şekil 3.11. Bütünleşik tasarım kılavuzunun çalışma şeması

4. SENARYOLARIN HAZIRLANMASI VE BÜTÜNLEŞİK TASARIM YÖNTEMİNİN SINANMASI

Tezin bu bölümü, tasarımları yapılan ofis prototipinin kabuğuna farklı bütünleşme tipi ve tasarım konseptleriyle uygulanan aktif güneş sistemlerinin modellenmesi ve sonrasında prototiplerin enerji yükünün hesaplanmasına kadarki süreci kapsamaktadır. Materyal metot bölümünde hazırlanan prototipin, enerji senaryolarının hazırlanması ve enerji senaryolarının karşılaştırılması aşamalarını içermektedir.

4.1. Enerji Senaryolarının Hazırlanması

Prototip için oluşturulan senaryolar, Şekil 3.2’de düzenlenen bütünleşik tasarım karar adımları ve Çizelge 2.9’da verilen aktif güneş sistemlerinin yapı ile bütünleşme düzeylerinin örnek analizleri üzerinden yapılan incelenmeler sonucu belirlenmiştir. Bu doğrultuda cephe bütünleşme tipi olarak örnek analizlerinde en verimli sonuca ulaşılan soğuk cephe PV uygulaması 4 senaryo için ortak kullanılmıştır. Oluşturulan 4 senaryo, cephelerde uygulanan PV panellerin tasarım konseptlerine göre farklılık göstermektedir. PV paneller cephelerde tüm senaryolar için güney, doğu ve batı cephelerine bütünleştirilmiştir. Kuzey cephesinden düşük verim elde edilmesi sebebiyle PV paneller bu cepheye yerleştirilmemiştir. Çatıda ise monte edilerek uygulanan PV paneller ve güneş kolektörleri tüm senaryolar için aynı tutulmuş ve eğim açıları Antalya için maksimum eğim açısı olan 35 derecelik eğim açısı ile bütünleştirilmiştir (Yılmaz, 2021). Tüm senaryolarda, fiziksel, görsel ve işlevsel bütünleşme tipi uygulanmıştır.

Senaryolar için kullanılan fotovoltaik panellerin verileri, ALFA Solar Enerji Grubu’nun fotovoltaik panel kataloğunda bulunan bilgilerin hesaplanarak Design Builder simülasyon programına aktarılması sonucunda elde edilmiştir. Kullanılan fotovoltaik paneller A3S36M olup 19,36 modül verimliliğine sahip 36 hücreli monokristal paneller seçilmiştir (ALFA, 2021). Senaryolarda monokristal panellerin seçilmesindeki amaç ise polikristal silikon ve amorf silikon panellere göre daha az yüzey alanıyla daha yüksek verim sağlayabilmeleridir. Kullanılan panellerin maksimum gücü 200 W’dır. Modül boyutları 1506x685x35 mm olup her bir hücrenin boyutları ise 158,75x158,75 mm’dir.

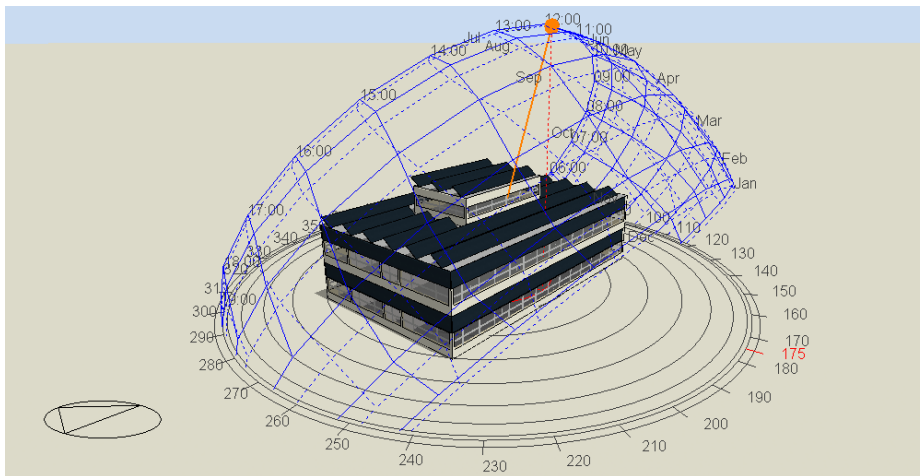
Bütünleşik tasarım süreci içerisindeki senaryolarda uygulanan PV panellerin bütünleşme düzey ve şekillerine göre cephelerin saydamlık oranları (pencere duvar oranları) farklılık göstermektedir.

Ofis prototipi için oluşturulan senaryolarda, yapı malzemeleri, enerji tüketiminde kullanılan ısıtma/ soğutma, havalandırma ve aydınlatma elemanlarında herhangi bir değişiklik yapılmamıştır. Senaryolarda genel olarak prototipin tükettiği enerji ve aktif güneş sistemlerinden üreteceği enerji dikkate alınmıştır. Oluşturulan senaryolar Çizelge 4.1.'de verilmiştir.

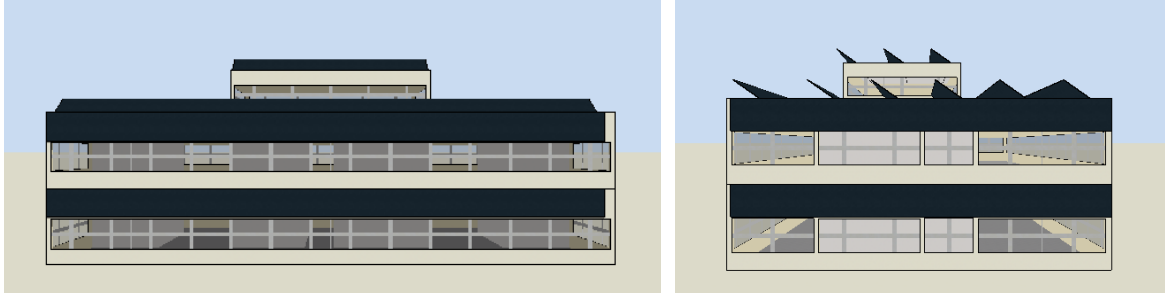
Çizelge 4.1. Oluşturulan enerji senaryoları

Cephe Senaryoları		Fotovoltaik Paneller					Güneş Kolektörü Çatı
		Cephe			Çatı	Toplam	
		Güney	Doğu	Batı			
S ₁	Düşey PV	88 m ² 86 modül	52 m ² 52 modül	52 m ² 52 modül	214 m ² 212 modül	404 m ² 400 modül	43 m ²
S ₂	Eğimli PV	88 m ² 86 modül	52 m ² 52 modül	52 m ² 52 modül	214 m ² 212 modül	404 m ² 400 modül	43 m ²
S ₃	Düşey Dişli PV	120 m ² 120 modül	70 m ² 70 modül	70 m ² 70 modül	214 m ² 212 modül	474 m ² 472 modül	43 m ²
S ₄	Akordeon PV	84 m ² 84 modül	52 m ² 52 modül	52 m ² 52 modül	214 m ² 212 modül	402 m ² 400 modül	43 m ²

Senaryo S₁' de mevcut prototipin enerji tüketim değerleri, kullanılan malzemeler sabit tutulmuştur. Senaryo 1'de PV modüller güney, doğu ve batı cephelerinde bulunan her iki kat için de pencere üstüne düşey olarak yerleştirilmiştir (Şekil 4.1).



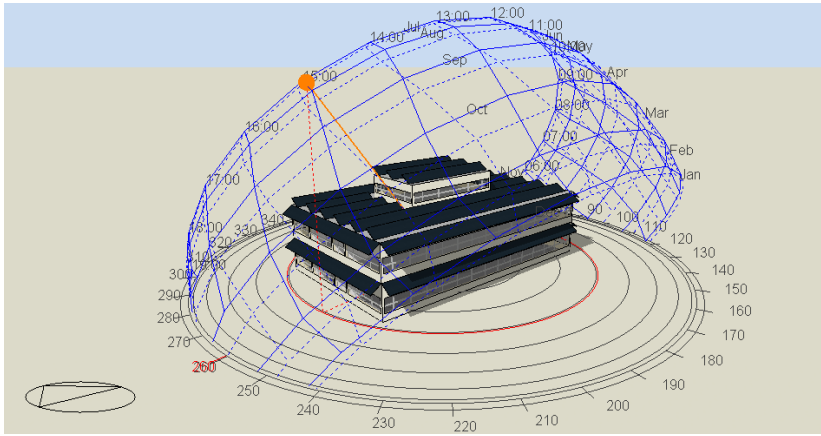
Şekil 4.1. Prototip S1 düşey PV cephe modellenmesi ve sun path analizi



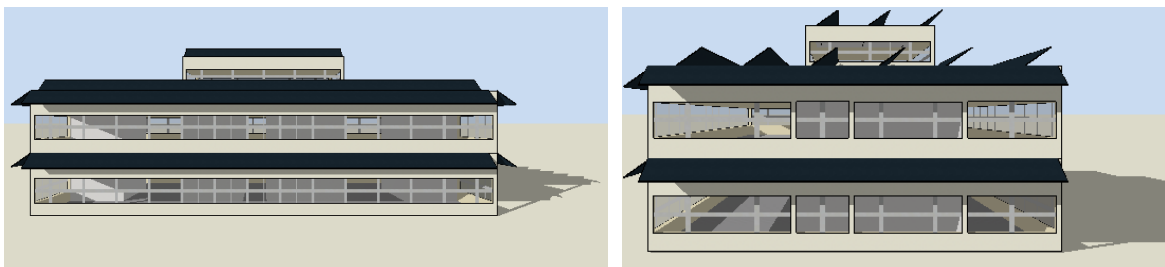
Şekil 4.2. Prototip S1 düşey PV cephe güney görünüşü, doğu görünüşü

Güney cephesinde her katta 43 adet PV modül olacak şekilde toplamda 86 adet PV modül kullanılmıştır. Doğu ve batı cephesinde de düşey olarak uygulanan PV modüller eşit olup her kat için 26 adet olmak üzere toplam 52’şer adet PV modül kullanılmıştır. (Şekil 4.2) Çatıda toplamda 212 adet PV modül kullanılmış olup modüller Antalya ili için güneşe en uygun eğim açısı olan 35° lik açıyla monte edilmiştir.

Senaryo S₂’ de S₁’de olduğu gibi mevcut prototipin verileri sabit tutulmuştur. S₂ de prototipin güney, batı ve doğu cephelerine uygulanan PV modüller güneşe göre 35° ’lik açıyla her bir katın pencere üstüne eğimli olarak yerleştirilmiştir. (Şekil 4.3)



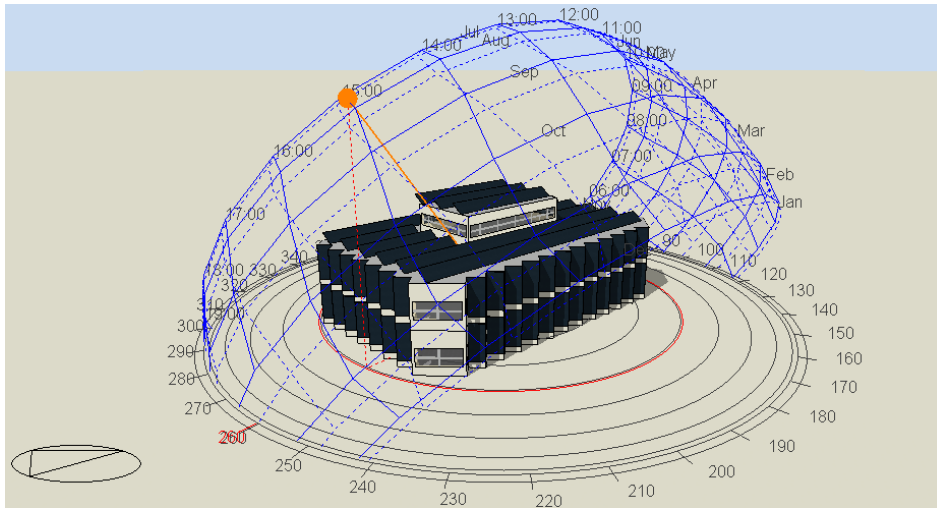
Şekil 4.3. Prototip S2 eğimli PV cephe sun path analizi



Şekil 4.4. Prototip S2 eğimli PV cephe güney ve doğu görünüşü

S₂'de prototip cephelerine bütünleştirilen PV modüllerin adedi ve boyutları S₁'de kullanılan PV modüllerle eş tutulmuştur. Aynı zamanda çatıda kullanılan PV modüller ve güneş kolektörü de aynı boyutlarda ve 35°'lik eğim açısıyla uygulanmıştır. (Şekil 4.4)

Senaryo S₃'te mevcut prototipten farklı bir yapı kabuğu tasarımı yapılmıştır. Prototipe uygulanan PV modüller düşey dişli cephelere bütünleştirilmiştir. Düşey dişli cephe tasarımı PV modüllerin kullanıldığı güney, batı ve doğu cephelerine uygulanmıştır. (Şekil 4.5)



Şekil 4.5. Prototip S3 düşey dişli PV cephe sun path analizi



Şekil 4.6. Prototip S3 düşey dişli PV cephe güney ve doğu görünüşü

S₃'te güney cephesinin her iki katına da 60 adet düşey olarak güneybatıya yönlendirilmiş toplam 120 adet PV modül kullanılmıştır. Doğü cephesinde, her katta 35 adet olarak güneydoğuya yönlendirilmiş toplam 70 adet PV modül kullanılmıştır. Batı cephesinde de doğu cephesi ile aynı boyut ve şekilde güneybatıya yönlendirilmiş PV modül kullanılmıştır. (Şekil 4.6) Çatıda bulunan PV modül ve güneş kolektörleri diğer senaryolarla sabit tutulmuştur.

4.2. Enerji Senaryolarının Karşılaştırılması

Çalışmanın bu aşamasında oluşturulan 4 farklı senaryonun enerji kullanım değerleri, senaryolardaki prototiplerin enerji kullanımının yüzey alanlarına oranları, aktif güneş sistemlerinin enerji üretimleri ve prototiplerin enerji ihtiyaçlarını karşılama yüzdeleri verilmiştir.

Çizelge 4.2. Cephe senaryolarının enerji kullanımları

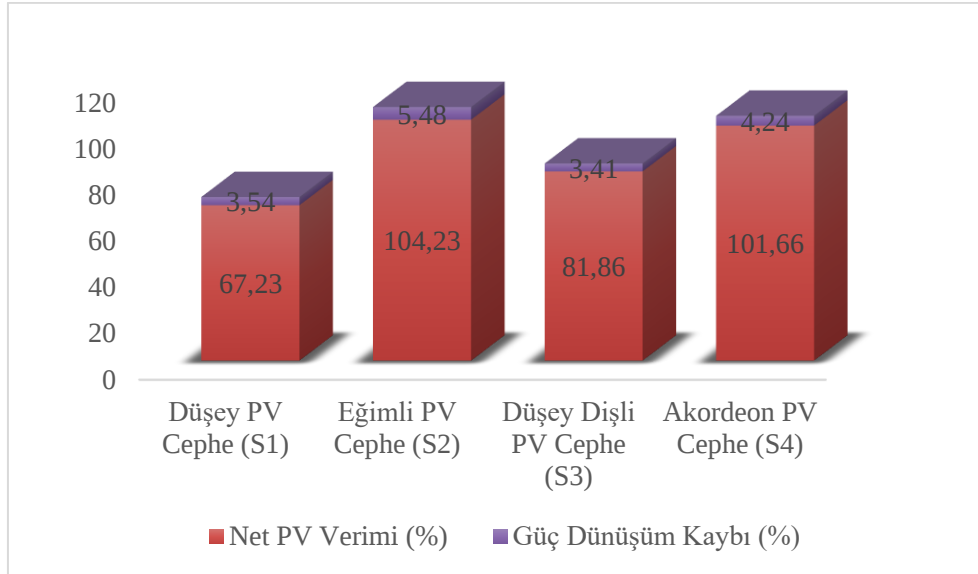
Cephe Senaryoları		Elektrik (kWh/m ² y)		Soğutma (kWh/m ² y)	Isıtma (kWh/m ² y)	Toplam (kWh/m ² y)
		İç Aydınlatma (kWh/m ² y)	Priz Ekipmanları (kWh/m ² y)			
S1	Düşey PV	62,64	43,34	159,21	5,64	270,84
		105,98				
S2	Eğimli PV	62,64	43,34	159,21	5,64	270,84
		105,98				
S3	Düşey Dişli PV	62,64	43,34	127,11	7,23	240,33
		105,98				
S4	Akordeon PV	62,64	43,34	177,93	6,97	290,88
		105,98				

Çizelge 4.3. Cephe senaryolarının m² başına enerji kullanımı

Cephe Senaryoları		Yapı Enerji Kullanımı (kWh/y)	Yapının Toplam Alanı (m ²)	Yıllık Kullanılan Enerji (kWh/m ² y)
S1	Düşey PV Cephe	114 249	1078	270,84
S2	Eğimli PV Cephe	114 249	1078	270,84
S3	Düşey Dışlı PV Cephe	123 867	1168,75	240,33
S4	Akordeon PV Cephe	116 060	1095,08	290,88

Çizelge 4.4. Cephe senaryolarının yapıda enerji kullanım alanlarına göre yüzdelik değerleri

Enerji Kullanım Alanları		Cephe Senaryoları			
		S1	S2	S3	S4
		Düşey PV (%)	Eğimli PV (%)	Düşey Dışlı PV (%)	Akordeon PV (%)
Yapı Enerji Tüketimi	Priz Ekipmanları	16,00	16,72	18,03	14,90
	İç Aydınlatma	23,13	24,17	26,06	21,53
	Isıtma	0,85	1,03	1,62	1,25
	Soğutma	58,79	56,79	52,89	61,17
	Sıcak Su	1,23	1,29	1,39	1,15



Şekil 4.9. Senaryolara göre PV modüllerin ihtiyaç duyulan enerjiyi karşılama yüzdeleri

Çizelge 4.5. Cephe senaryolarının enerji kullanım ve tüketim değerleri

Senaryolar	Yapı Enerji Kullanımı (kWh/y)	PV Enerji Üretimi (kWh/y)	Verim (%)	Net Verim (%)
S1 Düşey PV	114 249	80 852	70,77	67,23
S2 Eğimli PV	114 249	125 346	109,71	104,23
S3 Düşey Dışlı PV	123 867	105 619	85,27	81,86
S4 Akordeon PV	116 060	122 903	105,90	101,66

5. BULGULARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Tez çalışmasının bu kısmında, oluşturulan ofis prototipi için farklı yapı kabuğu tasarımlarında kullanılan aktif güneş sistemlerinin enerji verimliliklerinin değerlendirilmesi yapılmıştır. Yapılan değerlendirmede, alan çalışmasında oluşturulan farklı senaryoların enerji kullanım ve üretim değerleri dikkate alınarak senaryoların karşılaştırması yapılmış ve optimum enerji verimliliği sonucuna ulaşılma hedeflenmiştir.

Ofis prototipinde, bütünleşik tasarım yöntemlerinin dikkate alındığı bir tasarım gerçekleştirilmiştir. Bu doğrultuda güneşten en yüksek verimin alınabilmesi amacıyla yapı güneşe yönlendirilmiştir. S₂, S₃ ve S₄ senaryoları oluşturulurken de bütünleşik tasarım yöntemi dikkate alınarak yapılan hesaplamalar doğrultusunda PV modüllerin yerleşimleri sağlanmıştır.

Tüm senaryolar için yapı malzemeleri ve yapı iç planları aynı tutulmuştur. S₁ ve S₂ senaryolarının enerji kullanım değerleri, yapı malzemeleri, PV modüllerinin adedi ve cephe tasarımları aynı tutulmuş ancak S₂ senaryosunda PV modüller eğimli olarak yerleştirilmiştir. S₁ senaryosundan %67,23'lük enerji elde edilirken tüm senaryolar arasından en yüksek değere ulaşılan S₂ senaryosunda ise %104,23'lük oranla yapının enerji ihtiyacı karşılanmıştır. S₃ senaryosunda, cephenin tasarımından dolayı yapının m² alanı artmış ancak senaryolar arasındaki en düşük enerji kullanımı gerçekleştirilmiştir. S₄ senaryosunda ise cephe tasarımından kaynaklı yüksek enerji üretimi elde edilmiştir.

Oluşturulan cephe senaryolarının yıllık toplam enerji kullanım değerleri ve kullanım alanlarına göre m² başına düşen enerji kullanımları Çizelge 4.2 ve Çizelge 4.3'te verilmiştir. Oluşturulan prototiple aynı enerji kullanımına sahip olan S₁ ve S₂ senaryosu 270,84 kWh/m²y yıllık enerji kullanımına sahiptir. En düşük enerji kullanımı 240,33 kWh/m²y ile S₃ senaryosunda gerçekleşirken en yüksek enerji kullanımı 290,88 kWh/m²y ile S₄ senaryosunda gerçekleşmiştir. Ancak tüm senaryolar için m² başına elektrik kullanımı 105,98 kWh/m²y olmuştur. Simülasyon programında senaryoların soğutma ve ısıtma yükleri için harcanan enerji elektrik enerjisinden karşılanmamıştır.

Senaryoların birincil enerji dönüşümleri incelendiğinde ise S₁ ve S₂ senaryolarında yıllık 414,96 kWh/m²y birincil enerji kullandığı hesaplanmıştır. En yüksek birincil enerji

kullanımına sahip olana senaryo, aynı zamanda en yüksek yıllık enerji kullanımına da sahip olan S₄ senaryosu 435,01 kWh/m²y olmuştur. S₃ senaryosu ise yıllık 384,45 kWh/m²y'lık birincil enerji tüketimine sahiptir.

Senaryolardaki yapı kabuğuna bütünleştirilen fotovoltaik modül sayıları incelendiğinde, S₁, S₂ ve S₄ senaryolarında kullanılan toplam modül sayılarının 400 olduğu görülmektedir (Çizelge 4.1). 472 modül ile en yüksek modül sayısına sahip senaryo cephe yüzey alanı fazla olan S₃ dikey dişi PV cephe senaryosudur. Ancak modül sayısı en fazla olmasına rağmen S₃ senaryosu fotovoltaik modüllerden enerji üretimi 105 619 kWh ile senaryolar arasında 3. sırada yer almaktadır (Çizelge 4.5). En yüksek enerji üretimi, fotovoltaik modüllerin cephelere optimum eğimde bütünleştirildiği S₂ senaryosunda 125 346 kWh gerçekleştirilmiştir. Akordeon PV cephenin yer aldığı S₄ senaryosu ise 122 903 kWh ile yüksek enerji üretimine sahip olarak ikinci sırada yer almaktadır. En düşük enerji üretimi ise 80 852 kWh enerji üretimi ile dikey PV cephe senaryosu olan S₁'de gerçekleşmiştir.

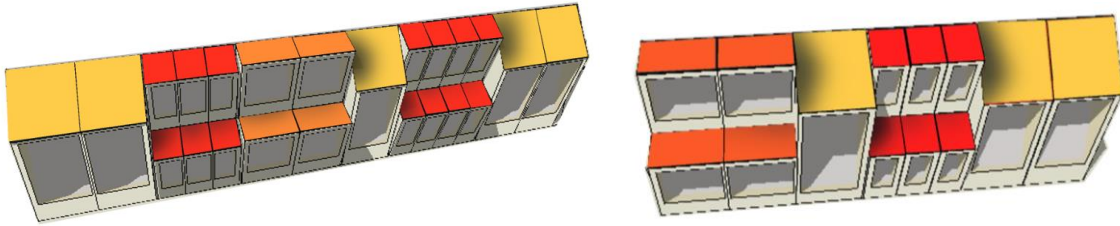
Senaryoların enerji üretim, PV modül sayısı gibi veriler bütün olarak değerlendirildiğinde optimum senaryonun Antalya'nın optimal güneş açısına göre fotovoltaik modüllerin yapının cephelerine eğimli olarak bütünleştirildiği S₂ senaryosu olduğu görülmektedir (Şekil 5.1). Tezin literatür taraması kısmında incelenen 25 örneğin değerlendirmesinde de optimal verimin soğuk cephelere bütünleştirilen eğimli fotovoltaik sistem olduğu Çizelge 2.37'de görülmektedir.



Şekil 5.1. Optimal sonuca ulaşılan S₂ eğimli PV cephe, güney ve doğu cephesindeki PV güneş radyasyon analizi

Yüksek verimliliğe sahip olan diğer cephe senaryosu S₄ akordeon PV cephe uygulamasında, PV modüllerin cephelere uygulanma açıları 17,5/ 35/ 70 derecedir (Şekil 5.2). S₄ senaryosunun S₂ senaryosuna göre daha düşük verimde olmasının nedeni, tüm PV

modüllerde optimal açı yerleşmemesinin yanı sıra farklı eğim açılarının bir diğer PV modülde gölge oluşumuna sebebiyet vermesidir. Ancak Çizelge 2.13’te de görüldüğü gibi akordeon PV cephe uygulamalarının eğimli PV cephe uygulamaları gibi tek bir eğim de tasarlandığı çalışmalar da mevcuttur. Bu doğrultuda eğimli PV cephe sistemlerindeki optimum verimin akordeon PV cephelerden de elde edilmesi mümkün olmaktadır. Tez kapsamında farklı sonuçların elde edilebilmesi amacıyla PV modüller akordeon cepheye farklı eğim açılarıyla yerleştirilmiştir.

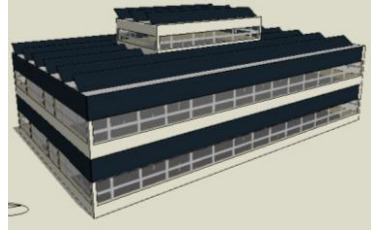


Şekil 5.2. S₄ senaryosu akordeon PV cephe güney ve doğu cephesi PV güneş radyasyon analizi

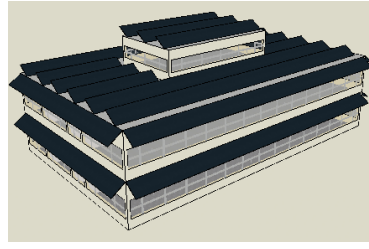
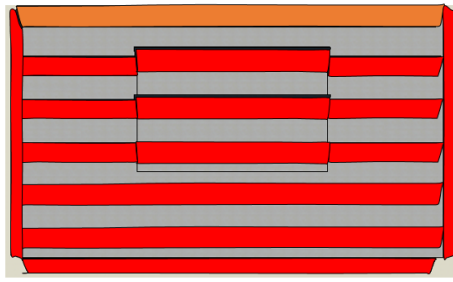
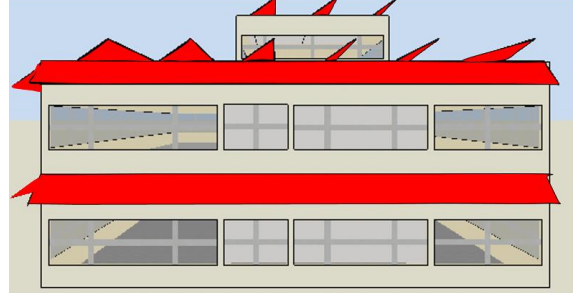
Akordeon cephelerdeki dezavantaj, uygulamaların zor olması ve daha fazla teknik detay gerektirmesi gibi sebeplerden dolayı yüksek maliyetlerde uygulanabilmesidir. Bu doğrultuda tüm bu etkenler dikkate alındığında S₂ ve S₃’te aynı verimliliğe ulaşılması halinde de optimum verimliliğin eğimli PV cephe sistemlerinin bulunduğu S₂ senaryosundan elde edildiği sonucuna ulaşılmaktadır.

Bu çalışmada maksimum elektrik üretimini amaçlayan senaryoların elektrik üretme oranları baz alınmıştır. Senaryoların elektrik kullanımları, Çizelge 4.4’ te gösterildiği gibi aydınlatma ve priz ekipmanları tarafından gerçekleştirilmektedir. Isıtma ve soğutma için kullanılan enerjiler Design Builder simülasyonundaki açık ofis tipolojisi için tanımlanan kaynaklardan karşılanmaktadır. İlerleyen çalışmalarda soğutma ve ısıtma yükleri elektrik enerjisine dahil edilecektir.

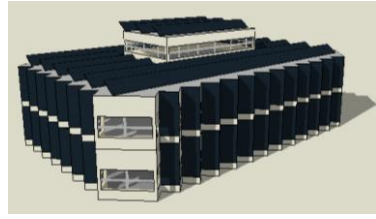
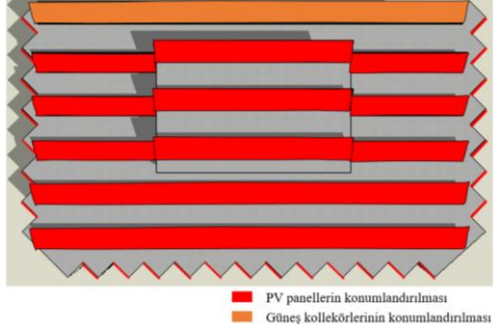
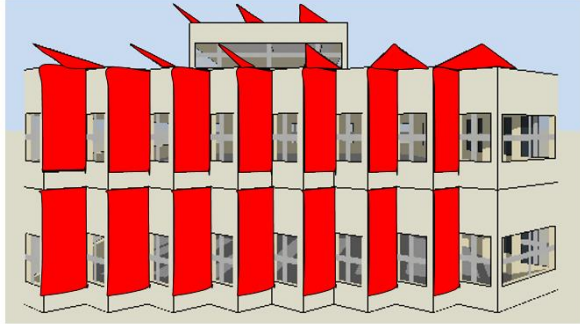
Çizelge 5.1. Düşey PV cephe ofis prototip analizi

DÜŞEY PV CEPHE OFİS PROTOTİPİ				SENARYO 1		
BİNA KÜNYESİ	Konum	Antalya/ Türkiye				
	İklim	Akdeniz iklimi				
	Yapı İşlevi	Ofis				
	Mimari Konsept	Sürdürülebilir mimari				
	Taban Alanı	540 m ²				
	Kat adedi/yüksekliği	Zemin+ 1 kat/ 11m				
	Cephe Tipi	Düşey PV cephe				
	Çatı Tipi	Teras çatı				
	Tasarım Hedefleri	. Binada güneş enerjisi yoluyla temiz enerji üretimi sağlamak, . Düşey olarak cepheye bütünleştirilen PV modüllerin verimliliğini hesaplama, . Aktif güneş sistemlerinden yüksek verimde enerji elde edebilmek.				
MİMARİ ÇİZİMLER						
	PV panellerin konumlandırılması Güney kollektörlerinin konumlandırılması	PV panellerin konumlandırılması				
	Çatı kat planı					
MİMARİ BÜTÜNLEŞME	Uygulama Tipi: BIPV sistem: X BAPV sistemi: X	Konum: Cephe: X Çatı: X		Kullanım amacı: Cephe kaplama malzemesi olarak		
	Bütünleşme Şekli	Fiziksel	Görsel	İşlevsel	Dinamik	
	Ayrık	-	-	-	-	
	Bitişik	X (Çatı)	X (Çatı)	X (Çatı)	-	
	Bağlantılı	-	-	-	-	
	Birbirine Geçmiş	X (Cephe)	X (Cephe)	X (Cephe)	-	
	Bileşik	-	-	-	-	
BÜTÜNLEŞİK CEPHE TASARIMI	Binanın ısıl geçirgenlik kat sayısı (W/m ² K)	Dış duvar: 0,465	Pencere: 1,512	Çatı: 0,237	Döşeme: 0,542	
	PV Hücre Tipi	Tek kristalli silikon hücre				
	PV Sistem Sınıfı	Şebekeye bağlı (on grid)				
	PV Uygulama	Çatı ve cepheler				
	PV Uygulama Tipi	Cephe: Bütünleştirilerek				
		Çatı: Monte edilerek				
	PV Kurulum Alanı	Çatı: 214 m ²	Cephe: 190 m ²			
	PV Enerji Üretimi	80 852 kWh				
	Enerji Tüketimi	114 249 kWh				
Verimlilik oranı	İhtiyaç duyulan enerjinin % 67,23'ü PV sistemlerden karşılamaktadır.					

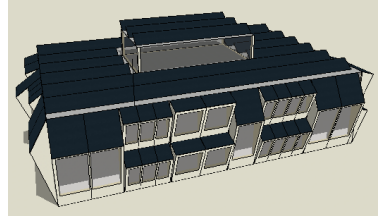
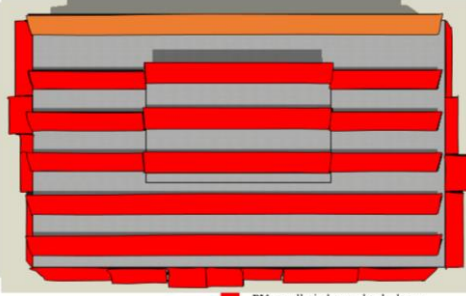
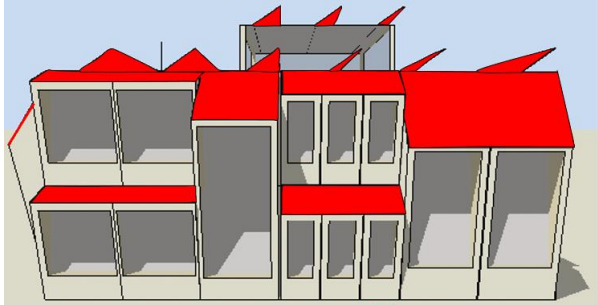
Çizelge 5.2. Eğimli PV cephe ofis prototip analizi

EĞİMLİ PV CEPHE OFİS PROTOTİPİ					SENARYO 2
BİNA KÜNYESİ	Konum	Antalya/ Türkiye			
	İklim	Akdeniz iklimi			
	Yapı İşlevi	Ofis			
	Mimari Konsept	Sürdürülebilir mimari			
	Taban Alanı	540 m ²			
	Kat adedi/yüksekliği	Zemin+ 1 kat/ 11m			
	Cephe Tipi	Eğimli PV cephe			
	Çatı Tipi	Teras çatı			
Tasarım Hedefleri	. Binada güneş enerjisi yoluyla temiz enerji üretimi sağlamak, . Eğimli olarak cepheye bütünleştirilen PV modüllerin verimliliğini hesaplama, . Aktif güneş sistemlerinden yüksek verimde enerji elde edebilmek.				
MİMARİ ÇİZİMLER					
	■ PV panellerin konumlandırılması ■ Güneş kolektörlerinin konumlandırılması		■ PV panellerin konumlandırılması		
Çatı kat planı		Doğu cephesi			
MİMARİ BÜTÜNLEŞME	Uygulama Tipi: BIPV sistem: X BAPV sistemi: X	Konum: Cephe: X Çatı: X		Kullanım amacı: Cephe gölgeleme elemanı olarak	
	Bütünleşme Şekli	Fiziksel	Görsel	İşlevsel	Dinamik
	Ayrık	-	-	-	-
	Bitişik	X (Çatı)	X (Çatı)	X (Çatı)	-
	Bağlantılı	-	-	-	-
	Birbirine Geçmiş	X (Cephe)	X (Cephe)	X (Cephe)	-
	Bileşik	-	-	-	-
BÜTÜNLEŞİK CEPHE TASARIMI	Binanın ısıl geçirgenlik kat sayısı (W/m ² K)	Dış duvar: 0,465	Pencere: 1,512	Çatı: 0,237	Döşeme: 0,542
	PV Hücre Tipi	Tek kristalli silikon hücre			
	PV Sistem Sınıfı	Şebekeye bağlı (on grid)			
	PV Uygulama	Çatı ve cepheler			
	PV Uygulama Tipi	Cephe: Bütünleştirilerek			
		Çatı: Monte edilerek			
	PV Kurulum Alanı	Çatı: 214 m ²	Cephe: 190 m ²		
	PV Enerji Üretimi	125 346 kWh			
	Enerji Tüketimi	114 249 kWh			
	Verimlilik oranı	İhtiyaç duyulan enerjinin % 104,23' ü PV sistemlerden karşılamaktadır.			

Çizelge 5.3. Düşey dişli PV cephe ofis prototip analizi

DÜŞEY DİŞLİ PV CEPHE OFİS PROTOTİPİ					SENARYO 3	
BİNA KÜNYESİ	Konum	Antalya/ Türkiye				
	İklim	Akdeniz iklimi				
	Yapı İşlevi	Ofis				
	Mimari Konsept	Sürdürülebilir mimari				
	Taban Alanı	540 m ²				
	Kat adedi/yüksekliği	Zemin+ 1 kat/ 11m				
	Cephe Tipi	Düşey dişli PV cephe				
	Çatı Tipi	Teras çatı				
	Tasarım Hedefleri	. Binada güneş enerjisi yoluyla temiz enerji üretimi sağlamak, . Düşey dişli olarak güneşe uygun açıyla cepheye bütünleştirilen PV modüllerin verimliliğini hesaplama, . Aktif güneş sistemlerinden yüksek verimde enerji elde edebilmek.				
MİMARİ ÇİZİMLER						
	Çatı kat planı			Batı cephesi		
MİMARİ BÜTÜNLEŞME	Uygulama Tipi: BIPV sistem: X BAPV sistemi: X	Konum: Cephe: X Çatı: X		Kullanım amacı: Cephe kaplama malzemesi olarak		
	Bütünleşme Şekli	Fiziksel	Görsel	İşlevsel	Dinamik	
	Ayrık	-	-	-	-	
	Bitişik	X (Çatı)	X (Çatı)	X (Çatı)	-	
	Bağlantılı	-	-	-	-	
	Birbirine Geçmiş	X (Cephe)	X (Cephe)	X (Cephe)	-	
	Bileşik	-	-	-	-	
BÜTÜNLEŞİK CEPHE TASARIMI	Binanın ısıl geçirgenlik kat sayısı (W/m ² K)	Dış duvar: 0,465	Pencere: 1,512	Çatı: 0,237	Döşeme: 0,542	
	PV Hücre Tipi	Tek kristalli silikon hücre				
	PV Sistem Sınıfı	Şebekeye bağlı (on grid)				
	PV Uygulama	Çatı ve cepheler				
	PV Uygulama Tipi	Cephe: Bütünleştirilerek				
		Çatı: Monte edilerek				
	PV Kurulum Alanı	Çatı: 214 m ²	Cephe: 260 m ²			
	PV Enerji Üretimi	105 619 kWh				
	Enerji Tüketimi	123 867 kWh				
Verimlilik oranı	İhtiyaç duyulan enerjinin % 81,86'sı PV sistemlerden karşılamaktadır.					

Çizelge 5.4. Akordeon PV cephe ofis prototip analizi

AKORDEON PV CEPHE OFİS PROTOTİPİ				SENARYO 4	
BİNA KÜNYESİ	Konum	Antalya/ Türkiye			
	İklim	Akdeniz iklimi			
	Yapı İşlevi	Ofis			
	Mimari Konsept	Sürdürülebilir mimari			
	Taban Alanı	540 m ²			
	Kat adedi/yüksekliği	Zemin+ 1 kat/ 11m			
	Cephe Tipi	Düşey dişli PV cephe			
	Çatı Tipi	Teras çatı			
	Tasarım Hedefleri	. Binada güneş enerjisi yoluyla temiz enerji üretimi sağlamak, . Akordeon cepheye bütünleştirilen PV modüllerin verimliliğini hesaplama, . Aktif güneş sistemlerinden yüksek verimde enerji elde edebilmek.			
MİMARİ ÇİZİMLER					
	Çatı kat planı		Doğu cephesi		
MİMARİ BÜTÜNLEŞME	Uygulama Tipi: BIPV sistem: X BAPV sistemi: X	Konum: Cephe: X Çatı: X		Kullanım amacı: Cephe gölgeleme elemanı olarak	
	Bütünleşme Şekli	Fiziksel	Görsel	İşlevsel	Dinamik
	Ayrık	-	-	-	-
	Bitişik	X (Çatı)	X (Çatı)	X (Çatı)	-
	Bağlantılı	-	-	-	-
	Birbirine Geçmiş	X (Cephe)	X (Cephe)	X (Cephe)	-
	Bileşik	-	-	-	-
BÜTÜNLEŞİK CEPHE TASARIMI	Binanın ısıl geçirgenlik kat sayısı (W/m ² K)	Dış duvar: 0,465	Pencere: 1,512	Çatı: 0,237	Döşeme: 0,542
	PV Hücre Tipi	Tek kristalli silikon hücre			
	PV Sistem Sınıfı	Şebekeye bağlı (on grid)			
	PV Uygulama	Çatı ve cepheler			
	PV Uygulama Tipi	Cephe: Bütünleştirilerek Çatı: Monte edilerek			
	PV Kurulum Alanı	Çatı: 214 m ²	Cephe: 188 m ²		
	PV Enerji Üretimi	122 903 kWh			
	Enerji Tüketimi	116 060 kWh			
	Verimlilik oranı	İhtiyaç duyulan enerjinin % 101,66'sı PV sistemlerden karşılamaktadır.			

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Son yıllarda enerji kaynaklarının azalması ile birlikte kullanılan enerjiyi karşılayabilecek alternatif enerji kaynaklarına yönelim olmaktadır. Tüm sektörleri etkilemekte olan bu enerji sorunu yapı sektörünü de etkilemektedir. Yapı sektörü genelinde kaynakların azalması sonucu daha az enerji kullanımının gerçekleştirilebilmesi ve yenilenemeyen enerji kaynaklarının kullanımının yerine alternatif yenilenebilir enerji kaynakların kullanımının artırılmasına yönelik çalışmalar yapılmaktadır. Bu doğrultuda yapılarda, enerji kullanımının azaltılmasına yönelik çalışmalar pasif tasarım yöntemleri ile gerçekleştirilirken yenilenebilir enerjinin üretilmesi ise aktif sistemler aracılığıyla gerçekleştirilebilmektedir.

Özellikle dünya genelinde petrol krizinin başlaması ile birlikte yenilenemeyen enerji kullanımının yerine yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımına yönelik AB ve küresel boyutta birçok teşvik ve yasa oluşturulmuştur. Türkiye’de de son yıllarda bu kaynakların kullanımına yönelik yasalar ve standartlar AB’de yapılan çalışmalar da dikkate alınarak uygulanmaktadır. Enerji kullanımında yüksek paya sahip olan yapı sektöründe de enerji sorununa yönelik gelişmeler yaşanmakta ve sürdürülebilirlik kavramı yapılarda yaygınlık kazanmaktadır. Bu doğrultuda sürdürülebilir yapılar için kolay erişilebilir, temiz ve yüksek enerji verimi sağlayabilen yenilenebilir güneş enerjilerinin yapı kabuğunda kullanımı büyük önem arz etmektedir.

Türkiye’nin enerjide dışa bağımlı olması ve yüksek oranda güneş radyasyonu potansiyeline sahip olması dolayısıyla yapılarda enerji üretimi için aktif güneş sistemlerinin kullanımı büyük önem taşımaktadır. Özellikle Türkiye’nin güney kesimlerinde bulunan yapılarda yaygın olarak sıcak su ihtiyacının karşılanması için güneş kolektörleri kullanılmasına karşın yapılarda güneşten enerji üretiminin sağlanması amacıyla fotovoltaiik sistemlerin kullanımı yaygınlık göstermemektedir. Yapılarda aktif güneş sistemlerinin kullanımının yaygınlaştırılması, yapıların kullandıkları enerjiyi temiz ve güvenilir olarak karşılayabilmeleri açısından günümüzde giderek bir ihtiyaç haline gelmektedir.

Tez çalışmasında, aktif güneş sistemleri ve bu sistemlerin özellikleri tanımlanmış, sistemlerin mimariye bütünleştirilerek yapı kabuğunda nasıl uygulanabileceği ve bu uygulamaların çeşitleri analiz edilmiş sistemlerin yapı kabuğuna bütünleştirilme yöntemleri

gruplandırılarak performans analizleri gerçekleştirilmiştir. Aktif güneş sistemlerinin yapı kabuğunda kullanımları üzerine uluslararası mevzuatlar ve AB politikaları incelenmiş, ardından Türkiye’de konuyla ilgili yürürlükte olan mevzuatlar irdelenmiştir. Daha sonra yapı kabuğuna bütünleştirilen aktif güneş sistemlerinin kullanımları üzerine dünya genelinde mevcut olan yüksek verimlilikte, farklı yapıların analizleri yapılmıştır.

Yapılan alan çalışmasında, Türkiye’de güneş radyasyonu açısından yüksek potansiyele sahip TS 825’te 1. derece gün bölgesinde yer alan Antalya ilinde bulunan bir bölge seçilerek prototip oluşturulmuştur. Prototip bina için esnek plan yapısının elde edilebilmesi, cephelerde farklı tasarımlara imkan sağlayabilmesi gibi sebeplerden dolayı bir ofis tipolojisi seçilmiştir. Ofis prototipi iki katlı tasarlanmış olup minimum ölçülerde planlama yapılmış ve her iki kat için de aynı plan şeması uygulanmıştır. Ofis prototipinde tasarım aşamasından itibaren bütünsel tasarım yöntemlerinin dahil edildiği farklı senaryolar oluşturulmuştur. Senaryolar, literatürde aktif güneş sistemlerinin performans verimliliklerine göre yapılan gruplandırma ve analizleri gerçekleştirilen örnek binalarda optimum enerji verimine ulaşılan cephe bütünleşme tipine göre belirlenmiştir. Prototipte oluşturulan farklı senaryolarındaki enerji analizlerinin gerçekleştirilebilmesi için Design Builder programı ile birlikte çalışan EnergyPlus V.8.9.0. simülasyon aracı kullanılmıştır. Simülasyon aracından senaryoların enerji kullanımları, aktif güneş sistemleri üzerinden enerji üretimleri ve yapının U değeri verileri elde edilmiştir.

Oluşturulan cephe senaryoları arasında karşılaştırma yapılarak enerji verimliliği açısından optimum verimliliğe ulaşılan senaryo belirlenmiştir. Simülasyon sonuçlarına göre en düşük enerji üretim senaryosu %67,23 enerji üretim oranı ile senaryo S₃ düşey PV cephelerde gerçekleşirken optimum enerji verimi %104,22 oranında enerji üretimi elde edilen Senaryo S₂’de bulunan bölgeye uygun optimum güneş açısıyla uygulanan eğimli PV cephelerde gerçekleşmiştir. Ayrıca Senaryo S₄’te oluşturulan akordeon PV cephelerin farklı tasarımlarla S₂’de olduğu gibi optimum açıyla eğimli PV cephe sistemleri olarak yapılabileceği uygulamalar bulunmakla birlikte farklı tasarımlara göre farklı verimlerin elde edilebileceği ve diğer senaryolarla kıyaslandığında daha maliyetli olduğu sonucu çıkarılabilmektedir.

Tez kapsamında yapılan araştırmalar ile aktif güneş sistemlerinin yapı kabuğundaki uygulamalarının optimum verimde gerçekleştirilebilmesi için hem mimarların hem de mühendislerin uygulama yöntemlerine ve detaylarına hakim olması disiplinler arası bir

çalışmayla uygulamaların yürütülmesi gerektiği görülmektedir. Bütünleşik tasarım yöntemleri ile yapı kabuğuna bütünleştirilen aktif güneş sistem uygulamaları ile yapı elektrik ihtiyacının %100'ünden daha fazlasını karşılayabilmesine ek olarak uygun planlamalar ile sistemlerden daha az sayıda kullanılarak daha düşük maliyet ile yüksek verim elde edilebileceği sonucuna ulaşılmıştır.

Çalışma kapsamında yapılan mevzuat incelemeleri sonucu, Avrupa'daki mevzuatlar dikkate alındığında özellikle fotovoltaik sistemlerin yapı kabuğunda kullanımı üzerine Türkiye'deki mevzuatların yetersiz kaldığı görülmüştür. Bu doğrultuda enerji ihtiyacının yüksek olduğu Türkiye'de aktif güneş sistemleri ile ilgili mevzuatların geliştirilmesi gerekmektedir.

Aktif güneş sistemlerinin bütünleşik tasarım yöntemleri ile yapılara uygulanmasını tarifleyen bu çalışma, mimarların lisans ve lisansüstü eğitimlerinde bu yöntemlere aşina olması ile yapılarda enerji verimliliğinin ön planda olduğu günümüz koşulları dikkate alındığında büyük önem taşımaktadır. Aynı zamanda yapılan çalışma ile bütünleşik tasarım yöntemlerinin mimari programlarda daha fazla yer bulması gerektiği belirlenmiştir.

Tez çalışması sonucu ulaşılan veriler doğrultusunda, “Bütünleşik tasarım yaklaşımları ile aktif güneş sistemleri yapı kabuğunda daha fazla yer bulabilir mi?” sorusu için pozitif yanıt alınmıştır. Yapının tasarım aşamasından itibaren planlanan aktif güneş sistemleri için uygun alanların oluşturulması ile birlikte yapı kabuğunda daha fazla kullanım alanları bulunmaktadır.

“Bütünleşik tasarım yaklaşımı, sistemlerin verimliliği ve etkinliği açısından önemli midir?” sorusu için olumlu yanıt alınmıştır. Bütünleşik tasarım yaklaşımları dikkate alarak tasarlanan yapılarda tüm uzmanlık alanlarının aynı anda çalışması ile sistemlerin etkili ve doğru kullanımları gerçekleştirilerek daha fazla verim elde edildiği sonucuna ulaşılmıştır.

Son olarak, “Bütünleşik tasarım yaklaşımı ile aktif güneş sistemlerinin uygulanması maliyet etkinliği açısından uygun mudur?” sorusu da olumlu sonuçlanmıştır. Hem pasif hem de aktif sistemler tasarım aşamasından itibaren dikkate alınarak yapı kabuğuna bütünleşik tasarım yaklaşımı ile uygulanan aktif sistemler için maliyet optimizasyonu gerçekleşmekte bu sayede daha az maliyet ile optimum sonuç elde edilmektedir.

Tez çalışması kapsamında daha sonraki yapılabilecek çalışmalara öneri olarak;

- Yapılan çalışma mevcut bir bina üzerinde uygulanabilir,
- Aktif güneş sistemlerin bütünleştirildiği aynı prototip tasarlanarak üzerinden Türkiye ve yurtdışında maliyet karşılaştırmaları yapılabilir,
- Farklı yapı tipolojileri üzerinden aktif güneş sistemlerinin verimlilikleri karşılaştırılabilir,
- Birinci derece gün iklim bölgesinde yapılan bu çalışma, farklı iklim bölgeleri için de uygulanabilir.

KAYNAKLAR

- Acar, A., Sarı, A. C., ve Taranto, Y. (2020). Binalarda çatı üstü güneş enerjisi potansiyeli - Türkiye’de çatı üstü güneş enerjisi sistemlerinin hayata geçmesi için finansman modelleri ve politikalar. *SHURA*. İstanbul. 19-26.
- Aelenei, D., Lopes, R. A., Aelenei, L., and Gonçalves, H. (2019). Investigating the potential for energy flexibility in an office building with a vertical BIPV and a PV roof system. *Renewable Energy*, 137, 189-197.
- Akkuş, B., ve İzci Alevok, N. (2018). Sistem Yaklaşımı, Kavramları ve Yönetim. *Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi* (7), 223-237.
- ALFA. (2021). A3S36M 36 hücreli Monokristal Paneller. *Alfa Solar Enerji*. 15-16.
- Attia, S., Andersen, M., and Walter, E. (2013). Identifying And Modeling The Integrated Design Process Of Net Zero Energy Buildings. *High Performance Buildings - Design and Evaluation Methodologies*, Belgium.
- Austrian Federal Ministry of Transport. (2010). *EnergyBase The Office Building of Tomorrow*. Austria.
- Bachman, L.R. (2003). Integrated Building. *John Wiley&Sons, Inc*, New York, 3-39.
- Basnet, A. (2012). *Architectural Integration of Photovoltaic and Solar Thermal Collector Systems into buildings*. Master Thesis. Norwegian University of Science and Technology, Trondheim. 1-91.
- Betancur, J. (2017). Multitasking Façade: How to Combine BIPV with Passive Solar Mitigation Strategies in a High-Rise Curtain Wall. *International Journal of High-Rise Buildings*, 6(4), 307–313.
- Bot, K., Aelenei, L., Gonçalves, H., Gomes, M. d. G., and Silva, C. S. (2021). Performance Assessment of a Building-Integrated Photovoltaic Thermal System in a Mediterranean Climate- An Experimental Analysis Approach. *Energies*, 14(8), 2191. 1-30.
- Buker, M. S., and Riffat, S. B. (2015). Building integrated solar thermal collectors – A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 51, 327-346.
- Cebeci, S. (2017). *Türkiye’de Güneş Enerjisinden Elektrik Üretim Potansiyelinin Değerlendirilmesi*. Planlama Uzmanlığı Tezi. Ankara. 75-89.
- Chauhan, A., Tyagi, V. V., and Anand, S. (2018). Futuristic approach for thermal management in solar PV/thermal systems with possible applications. *Energy Conversion and Management*, 163, 314-354.
- Cheng, S. (2009). *Curved Photovoltaic Surface Optimization for BIPV: An Evolutionary Approach Based on Solar Radiation Simulation*. Master Thesis, Bartlett School of Architecture, London.

- Crassard, F., and Rode, J. (2007). *The evolution of building integrated photovoltaics (BIPV) in the German and French technological innovation systems for solar cells*. Master Thesis. Chalmers University Of Technology, Göteborg.
- Çağnan, Ç., ve Özer, H. (2014). Yapı Üretiminde Sistem Yaklaşımı ile Yapı Ürünü Performanslarının Çevre-Ekoloji ve Yasal Zorunluklar Bağlamında Test Edilmesine Yönelik Bir Model Önerisi. *MEGARON*, 9(4), 255-270.
- Çelebi, G. (2002). Bina Düşey Kabuğunda Fotovoltaik Panellerin Kullanım İlkeleri. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Dergisi*, 17(3), 17-33.
- Çelebi, G. Ü., ve Tosun, S. (2011). Bütünleşik Mimarlık Sistemleri: Rüzgar Türbinlerinin Yüksek Binalar ile Bütünleşik Tasarımı. *Politeknik Dergisi*, 14(3), s. 179-186.
- Dabbagh, N. (2015). *Football Stadium: Solar Envelope As An Architectural Tool*. Delft University of Technology. Faculty of Architecture, Netherlands. 5-31.
- Debbarma, M., Sudhakar, K., and Baredar, P. (2017). Comparison of BIPV and BIPVT: A review. *Resource-Efficient Technologies*, 3(3), 263-271.
- Demircan, R. K., ve Gültekin, A. B. (2017). Binalarda Pasif Ve Aktif Güneş Sistemlerinin İncelenmesi. *TÜBAV Bilim Dergisi*, 1, 36-51.
- Devetaković, M., Djordjević, D., Radojević, M., Krstić-Furundžić, A., Burduhos, B.-G., Martinopoulos, G., and Lobaccaro, G. (2020). Photovoltaics on Landmark Buildings with Distinctive Geometries. *Applied Sciences*, 10(19), 66-96.
- Diwania, S., Agrawal, S., Siddiqui, A. S., and Singh, S. (2020). Photovoltaic–thermal (PV/T) technology: a comprehensive review on applications and its advancement. *International Journal of Energy and Environmental Engineering*, 11(1), 33-54.
- Düzgün, H., and Aladağ, H. (2016). A Roadmap For Sustainable Buildings : Integrated Design. *Academic Journal of Science*. 233-248.
- Edlinger, T., Stadler, M., and Groissböck, M. (2011). Work Package 1: Requirements Analysis, EnRiMa Validation Test Site Report for the office building ENERGYbase. *Center for Energy and Innovative Technologies*. Austria. 47-67.
- Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2016). *Bütünleşik Bina Tasarımı Yaklaşımı Türkiye Ortamı ve Koşullarına Uyarlama Raporu*. Ankara. 1-9.
- Enginöz, Y.K. (2009). Ken Yeang, *Yapı*, İstanbul.
- Erban, C. (2016). BIPV Standard EN 50583 Photovoltaics In Buildings Released. *Fraunhofer CSP PV Days*, Germany.
- Fortmeyer, R. (2012). Pixel Perfect Case Study. *Green Source*, 46, 48-51.
- Fraas, L. M. (2014). Chapter 1: History of Solar Cell Development. *Low-Cost Solar Electric Power*. Switzerland. 1-14.

- Frontini, F., Bonomo, P., Chatzipanagi, A. (2015). Building Integrated Photovoltaic. *SUPSI-SEAC. BIPV*. 11-34.
- Ghaemi, S., Stifter, M., Strasser, T., Zucker, F., Kupzog, F., and Henein, S. (2012). The Role of Active Buildings in the Context of Smart Cities - Introducing the project SmartCityGrid: CoOpt. *Forschungs- und Studienzentrum Pinkafeld*.
- Ghosh, A., Sundaram, S., and Mallick, T. (2019). Colour properties and glazing factors evaluation of multicrystalline based semi-transparent Photovoltaic-vacuum glazing for BIPV application. *Renewable Energy*, 131, 730-736.
- Guilliams, H. (1991). *Systems Integration Through Systems View*. Thesis, Texas Tech University, Texas, 5-11.
- Gulledge, T. (2006). What is integration? *Industrial Management and Data Systems*, 106, 5-20.
- Gweshia, A. O., Alfulayyih, Y. M., and Li, P. (2019). Optimization of fixed PV panel “tilt” angles for maximal energy harvest considering year-around sky coverage conditions. *ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition, Proceedings (IMECE)*. Salt Lake City, Utah. 1-7.
- Haegermark, M., and Dalenbäck, J.-O. (2015). BAPV and BIPV Installation Trends in Sweden. *ISES Conference Proceedings*. Aix-les-Bains, France.
- Hofkirchner, W., and Schafrank, M. (2011). General System Theory. In C. Hooker (Ed.), *Philosophy of Complex Systems*. 10. Amsterdam, North-Holland, 177- 194.
- Ioannidis, Z., Buonomano, A., Athienitis, A. K., & Stathopoulos, T. (2017). Modeling of double skin façades integrating photovoltaic panels and automated roller shades: Analysis of the thermal and electrical performance. *Energy and Buildings*, 154, 618-632.
- ISO. (2018). ISO/TS 18178: 2018(en) *Glass in Building- Laminated solar photovoltaic glass for use in buildings*.
- İnternet: Archdaily. (2011). Pixel / studio505, URL: <https://www.archdaily.com/190779/pixel-studio505>, Son Erişim Tarihi: 10.12.2021
- İnternet: Archdaily. (2012). Umwelt Arena / Rene Schmid Architekten, URL: <https://www.archdaily.com/285637/umwelt-arena-rene-schmid-architekten>, Son Erişim Tarihi: 12.12.2020
- İnternet: Archdaily. (2017a). Copenhagen International School Nordhavn / C.F. Møller, URL: <https://www.archdaily.com/879152/copenhagen-international-school-nordhavn-cf-moller>, Son Erişim Tarihi: 12.12.2020
- İnternet: Archdaily. (2017b). Freiburg Town Hall / ingenhoven architects, URL: <https://www.archdaily.com/885885/freiburg-town-hall-ingenhoven-architects>, Son Erişim Tarihi: 21.05.2022

- İnternet: Archdaily. (2017c). Paris Courthouse / Renzo Piano Building Workshop, URL: <https://www.archdaily.com/884074/paris-courthouse-renzo-piano-building-workshop>, Son Erişim Tarihi: 21.05.2022
- İnternet: Archdaily. (2018). Grosspeter Tower / Burckhardt+Partner, URL: <https://www.archdaily.com/900948/grosspeter-tower-burckhardt-plus-partner-ag>, URL: Son Erişim Tarihi: 21.05.2022
- İnternet: Archdaily. (2019a). Powerhouse Brattorkaia/ Snohetta, URL: <https://www.archdaily.com/924325/powerhouse-brattorkaia-snohetta>, Son Erişim Tarihi: 03.02.2022
- İnternet: Archdaily. (2019b). Life Sciences Building for the University of Washington / Perkins+Will, URL: <https://www.archdaily.com/912260/life-sciences-building-for-the-university-of-washington-perkins-plus-will>, Son Erişim Tarihi: 13.02.2022
- İnternet: Archdaily. (2020). Powerhouse Telemark/ Snøhetta, URL: https://www.archdaily.com/950507/powerhouse-telemark-snohetta/5f9b3e1663c017d5350001f0-powerhouse-telemark-snohetta-photo?next_project=no, Son Erişim Tarihi: 16.12.2021
- İnternet: Archdaily. (2021). Fehlman Estate II / Bob Gysin Partner BGP, URL: <https://www.archdaily.com/954657/fehlman-estate-ii-bob-gysin-partner-bgp>, Son Erişim Tarihi: 21.05.2022
- İnternet: Archello. (2022). EnergyBase, URL: <https://archello.com/project/energybase>, Son Erişim Tarihi: 12.01.2022
- İnternet: Archello. (2021). Wohnhäuser Fehlmann-Areal II, URL: <https://archello.com/project/wohnauser-fehlmann-areal-ii>, Son Erişim Tarihi: 10.12.2021
- İnternet: Architecture and design. (2012). Pixel, URL: <https://www.architectureanddesign.com.au/projects/office-retail/pixel#>, Son Erişim Tarihi: 16.06.2021
- İnternet: Architizer, (2021). Ewe & Bursagaz Headquarters, URL: <https://bipv.eurac.edu/it/node/641>, Son Erişim Tarihi: 16.06.2021
- İnternet: Arch20. (2018). EWE and Bursagaz Headquarters, URL: <https://bipv.eurac.edu/it/node/641>, Son Erişim Tarihi: 21.05.2022
- İnternet: Authenticity Consulting, LLC. What is a system, 140- 142, URL: <https://managementhelp.org/systems/defn-system.pdf>, Son Erişim Tarihi: 22.05.2022
- İnternet: Anbergen, C. (2016). BSolutions: Certified Passive and BREEAM, *Construction21*, URL: <https://www.construction21.org/case-studies/be/bsolutions-certified-passive-and-breeam.html>, Son Erişim Tarihi: 13.12.2020

- İnternet: Breuille, C., (2018). Paris Court. *Construction21*, URL: <https://www.construction21.org/case-studies/fr/paris-court.html>, Son Erişim Tarihi: 21.05.2022
- İnternet: Bursagaz. (2019). Head Office Building of Bursagaz Saves Energy as Much as 85 Residences. *Bursagaz News*, URL: <https://www.bursagaz.com/Corporate/News/Bursagaz/head-office-building-of-bursagaz-saves-energy-as-much-as-85-residences#>, Son Erişim Tarihi: 21.05.2022
- İnternet: Cambridge Dictionary. (2022). Integration, URL: <https://dictionary.cambridge.org/dictionary/english/integration>, Son Erişim Tarihi: 22.05.2022
- İnternet: CTBUH. (2018). FKI Tower, Seoul, *Council on Tall Buildings and Urban Habitat*, URL: <https://www.skyscrapercenter.com/building/fki-tower/8829>, Son Erişim Tarihi: 21.05.2022
- İnternet: CTBUH. (2022). Hanwha Headquarters, *Council on Tall Buildings and Urban Habitat*, URL: <https://www.skyscrapercenter.com/building/hanwha-headquarters/16685>, Son Erişim Tarihi: 21.05.2022
- İnternet: CHI. (2017). Montreal, Canada, *CHI 2018*, URL: <https://chi2018.acm.org/header-organigramme/>, Son Erişim Tarihi: 22.05.2022
- İnternet: Cousins, S. (2020). Eden Project Digs Deep to Power Carbon Positive Future. *Riba Journal* URL: <https://www.ribaj.com/intelligence/eden-project-geothermal-energy-tate-harmer>, Son Erişim Tarihi: 21.05.2022
- İnternet: CSTB. (2018). The New Paris Courthouse wins two awards URL: <https://www.cstb.fr/en/news/detail/tribunal-de-grande-instance-de-paris-2018-03/#:~:text=The%20Paris%20Courthouse%2C%20opening%20in,HQE%20Office%20Building%20by%20Certiv%C3%A9a>, Son Erişim Tarihi: 21.05.2022
- İnternet: Deltazero (t.y.). Deltarosso, Vacallo, URL: <https://www.deltazero.net/en/what-2/6-icon-projects/deltarosso-vacallo/>, Son Erişim Tarihi: 21.05.2022
- İnternet: DbA. (t.y.). Pixel Building. Decibel Architecture, URL: <https://www.db-a.co/work/pixel-building/>, Son Erişim Tarihi: 21.05.2022
- İnternet: Divisare. (2019). Snohetta Powerhouse Brattorkaia, URL: <https://divisare.com/projects/412770-snohetta-ivar-kvaal-powerhouse-brattorkaia>, Son Erişim Tarihi: 21.05.2022
- İnternet: Schneider, U. (2009). Energybase Passivbürogebäude. *POS sustainable architecture*, URL: https://series.local-renewables-conference.org/fileadmin/template/events/lr_freiburg_2009/files/Presentations/Schneider_B2_1.pdf, Son Erişim Tarihi: 21.05.2022
- İnternet: Eden Project. (2022). Architecture. Biome architecture. Cornwall, UK, URL: <https://www.edenproject.com/mission/about-our-mission/architecture>, Son Erişim Tarihi: 21.05.2022

- İnternet: Eurac. (2012). ENERGYbase Office. *Eurac Research*, URL: <https://bipv.eurac.edu/it/node/641>, Son Erişim Tarihi: 11.10.2020
- İnternet: Detail. (2011). Der Energiewürfel für die Stadtwerke Konstanz. Magazin für Architektur + Baudetail, URL: <https://www.detail.de/artikel/der-energiewuerfel-fuer-die-stadtwerke-konstanz-4210/>, Son Erişim Tarihi: 21.05.2022
- İnternet: Designboom. (2015). DP Architects Constructs Zero Energy Building at BCA Academy, URL: <https://www.detail.de/artikel/der-energiewuerfel-fuer-die-stadtwerke-konstanz-4210/>, Son Erişim Tarihi: 21.05.2022
- İnternet: UrbanNext. (2021). FKI Tower, URL: <https://urbannext.net/fki-tower/>, Son Erişim Tarihi: 21.05.2022
- İnternet: Hiberatlas. (2020). Solar silo in Gundeldinger Feld- Basel, İsviçre, *Atlas*, URL: <https://www.hiberatlas.com/en/solar-silo-in-gundeldinger-feld-basel--2-51.html>, Son Erişim Tarihi: 21.05.2022
- İnternet: Urbannext. (2021). Hanwha HQ: Up to Date Sustainability Requirements, *Actar Publishers*, URL: <https://urbannext.net/hanwha-hq/>, Son Erişim Tarihi: 21.05.2022
- İnternet: Unstudio. (2017). Study: Hangwa Headquarters Responsive Facade Part 1, URL: <https://www.unstudio.com/en/page/5879/study-hanwha-headquarters-responsive-facade-part-1>, Son Erişim Tarihi: 21.05.2022
- İnternet: GlassonWeb. (2017). The school with the largest solar facade in the World, URL: <https://www.glassonweb.com/news/school-with-largest-solar-facade-world>, Son Erişim Tarihi: 01.10.2020
- İnternet: Greenmach. (2022). Photovoltaics: Everything You Need in One Guide, URL: <https://www.greenmatch.co.uk/solar-energy/photovoltaics>, Son Erişim Tarihi: 22.05.2022
- İnternet: GW. (2022). Poerhouse Telemark: A Shining Example of Carbon Neutral Architecture, URL: <https://www.gw-news.eu/facade-windows/schueco-powerhouse-telemark-shining-example-carbon-neutral-architecture>, Son Erişim Tarihi: 01.10.2020
- İnternet: Fraunhofer. (2021). Monitoring Validates Energy Targets of Freiburg's New Administration Building "Rathaus im Stühlinger", *Fraunhofer ISE*, URL: <https://www.ise.fraunhofer.de/en/press-media/press-releases/2021/monitoring-validates-energy-targets-of-freiburgs-new-administration-building-rathaus-im-stuehlinger.html>, Son Erişim Tarihi: 21.05.2022
- İnternet: Nesite. (2016). Deltarosso, The High – Tech Building Zero Consumption Zero Emissions, URL: <https://www.nesite.com/en/project/delta-zero-by-deltarosso/>, Son Erişim Tarihi: 21.05.2022
- İnternet: Onyx. (2016). Bursagaz, *Onyx Solar Grup*, URL: <https://www.onyx-solar.com/progetti/11-progetti/103-bursagaz>, Son Erişim Tarihi: 30.05.2021

- İnternet: Onyx. (t.y.). Why OnyxSolar Glass Installed as Rainscreen Cladding is a No Brainer?, *Onyx Solar Grup*, URL: www.onyxsolar.com/academy-chapter-1, Son Erişim Tarihi: 09.10.2020
- İnternet: Onyx. (2019). The Life Sciences Building University of Washington, *Onyx Solar Grup*, URL: <https://www.onyxsolar.com/the-life-science>, Son Erişim Tarihi: 22.05.2022
- İnternet: Onyx. (2020). Twin City Tower, Curtain Wall, *Onyx Solar Grup*, URL: <https://www.onyxsolar.com/twin-city-tower>, Son Erişim Tarihi: 03.11.2020
- İnternet: Helbling, B. Green "Umwelt Arena" Spreitenbach, Zürich, Vaillant, URL: <https://www.vaillant.info/images/architects-planners/umwelt-arena/vaillant-reference-umwelt-arena-476684.pdf>, Son Erişim Tarihi: 21.05.2022
- İnternet: IRENA. (2020). Solar Energy, URL: <https://www.irena.org/solar>, Son Erişim Tarihi: 29.01.2022
- İnternet: ISSOL. (2016). Paris Couthouse, URL: http://www.issol.eu/wp-content/uploads/2016/03/Project_Datasheets.pdf, Son Erişim Tarihi: 12.02.2022
- İnternet: Jenssen, B. (2019). Powerhouse Brattorkaia. SKANSKA, URL: https://www.ntnu.edu/documents/1281770977/1290527953/Session+1_Bjorn+Jenssen.pdf/322c3e58-e8f1-4bf5-c529-bcacfcc3f2e2?t=1574927618147, Son Erişim Tarihi: 29.01.2022
- İnternet: Lentz, L.C. (2011). Fabrikstrasse 15. Architectural Record, URL: <https://www.architecturalrecord.com/articles/7661-fabrikstrasse-15>, Son Erişim Tarihi: 26.09.2020
- İnternet: LNEG. (2019). NZEB LAB – Research Infrastructure On Integration Of Solar Energy Systems In Buildings, URL: <https://www.lneg.pt/en/infrastructure/nzeb-lab-research-infrastructure-on-integration-of-solar-energy-systems-in-buildings-2/>, Son Erişim Tarihi: 26.09.2020
- İnternet: Orsini, F. (2018). Copenhagen International School with solar panels by C.F. Møller Architects. *Floornature Architecture and Surface*, URL: Son Erişim Tarihi: 30.10.2020
- İnternet: Bsolutions. (2022). Bsolution- Kantoorgebouw, URL: <https://www.bsolutions.be/nl/projects/bsolutions-batiment-de-bureaux/>, Son Erişim Tarihi: 21.05.2022
- İnternet: Bellini, E. (2022). Designs, Control Strategies for PV- Integrated Shading Devices, *PV Magazine*, URL: <https://www.pv-magazine.com/2022/04/07/designs-control-strategies-for-pv-integrated-shading-devices/>, Son Erişim Tarihi: 22.05.2022
- İnternet: Big, Z. (2020). Twin City Tower, Bratislava. *Bigsee*, URL: <https://bigsee.eu/twin-city-tower-bratislava/>, Son Erişim Tarihi: 11.12.2021

- İnternet: Binalarda Enerji Performansı, URL: <http://www.bep.gov.tr/BEPTRWEB/Default.aspx#.YAH3xdgzbiU>, Son Erişim Tarihi: 15.01.2021
- İnternet: PRC. (2012). Pixel Building LEEDs By Example, URL: <https://www.prc-magazine.com/pixel-building-leeds-by-example/>, Son Erişim Tarihi: 03.11.2020
- İnternet: RFR. (t.y.) Paris Law Courts, URL: <https://www.rfr.fr/en/projets/paris-law-courts>, Son Erişim Tarihi: 22.05.2022
- İnternet: Perkin ve Will. (2022). University of Washington Life Sciences Building, URL: <https://perkinswill.com/project/life-sciences-building/>, Son Erişim Tarihi: 13.02.2022
- İnternet: Yılmaz, E. (2021). Güneş Paneli (Solar Panel) Açısı Nasıl Hesaplanır?, *Aydınlatma Portalı*, URL: <https://www.aydinlatma.org/gunes-paneli-solar-panel-acisi-nasil-hesaplanir.html#:~:text=Yani%20%C4%B0stanbul'da%20g%C3%BCne%C5%9F%20paneli,39%20derece%20a%C3%A7%C4%B1yla%20konumland%C4%B1rma%20yapabilirsiniz>, Son Erişim Tarihi: 19.06.2022
- İnternet: SUPSI/ISAAC. (2013). BIPV, Photovoltaic, *Swiss Energy*, URL: <http://www.bipv.ch/index.php/en/photovoltaic-en>, Son Erişim Tarihi: 18.10.2020
- İnternet: Ünver, E. (2013). Binaya Entegre Fotovoltaik Sistemlerin Mimaride Kullanımı. *Ekoyapı Dergisi*, URL: <https://www.ekoyapidergisi.org/243-binaya-entegre-fotovoltaik-sistemlerin-mimaride-kullanimlari.html>, Son Erişim Tarihi: 04.09.2020
- İnternet: Solarchitecture. (2019). BIPV in architecture – 40 years of evolution, URL: <https://solarchitecture.ch/history/>, Son Erişim Tarihi: 25.09.2020
- İnternet: Solarchitecture. (2020). Die Mobiliar Renovation, URL: <https://solarchitecture.ch/die-mobiliar-renovation/>, Son Erişim Tarihi: 21.05.2022
- İnternet: Solarchitecture. (2021). Fehlmann Housing Development, URL: <https://solarchitecture.ch/fehlmann-housing-development/>, Son Erişim Tarihi: 21.05.2022
- İnternet: Solar Decathlon Team, Solar 7: History Solar 1, *MIT*, URL: <http://web.mit.edu/solardecathlon/solar1.html>, Son Erişim Tarihi: 25.09.2020
- İnternet: Solargis. (2019). Solar Research maps of Europe, URL: <https://solargis.com/maps-and-gis-data/download/europe>, Son Erişim Tarihi: 26.09.2020
- İnternet: SUPSI. (2013). Novartis Campus Gehry Building Basel (BS-CH), *ISAAC*. URL: http://www.bipv.ch/images/esempi/amministrativo/novartis/Novartis_2013_ENG.pdf, Son Erişim Tarihi: 08.06.2022
- İnternet: Sustainability Victoria. (2012). Carbon Neutral Offices- The Pixel Building Case Study, URL: <https://cdn.archilovers.com/projects/4b28f524-bfac-47eb-93db-cc44f16bd2e4.pdf>, Son Erişim Tarihi: 10.12.2021

- İnternet: Studio 505. (2010). *Pixel Building. Building Case Studies*. 157, URL: <https://openscholarship.wustl.edu/bcs/157>, Son Erişim Tarihi: 21.05.2022
- İnternet: Stylepark. (2011). High-power solar facade, URL: <https://www.stylepark.com/en/news/high-power-solar-facade>, Son Erişim Tarihi: 21.05.2022
- İnternet: Tapper, C. (2019). Powerhouse Telemark. Sanska, URL: https://www.ntnu.edu/documents/1281770977/1290527953/Session+1_Christofer+Tapper.pdf/dbf2ca43-69d2-c300-db69-0177fdb78ad4?t=1574061754016, Son Erişim Tarihi: 16.12.2021
- İnternet: TRADA. (2007). The Core Eden Project Phase 4, St.Austell Cornwall, URL: <https://www.trada.co.uk/case-studies/the-core-eden-project-phase-4-staustell-cornwall/>, Son Erişim Tarihi: 21.05.2022
- İnternet: Transsolar. (2022). Office Building Fabrikstrasse 15 Basel Switzerland, URL: <https://transsolar.com/projects/fabrikstrasse-15>, Son Erişim Tarihi: 29.01.2022
- İnternet: Strong, S. (2016). Building Integrated Photovoltaic, WBDG, URL: <https://www.wbdg.org/resources/building-integrated-photovoltaics-bipv>, Son Erişim Tarihi: 25.09.2020
- İnternet: Yale University. (2021). MIT Solar House I, 1939, URL: <https://energyhistory.yale.edu/library-item/mit-solar-house-i-1939>, Son Erişim Tarihi: 04.01.2021
- İnternet: WA Contents. (2020). Snøhetta Reveals Its 4th Energy Positive Powerhouse In Telemark With Energy Producing Façade And Roof, URL: <https://worldarchitecture.org/article-links/egpmc/snhetta-reveals-its-4th-energy-positive-powerhouse-in-telemark-with-energy-producing-facade-and-roof.html>, Son Erişim Tarihi: 15.12.2021
- İnternet: Wikipedia. (2020). Building Integrated Photovoltaic, URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Building-integrated_photovoltaics, Son Erişim Tarihi: 26.09.2020
- İnternet: Wohesc. (t.y.). UW Life Sciences Building Sustainable Design Approach and Performance Metrics, URL: <https://www.wohesc.org/downloads/StrategiesMetrics.pdf>, Son Erişim Tarihi: 22.05.2022
- İnternet: URL: <https://planning.islington.gov.uk/NorthgatePublicDocs/00190213.pdf>, Son Erişim Tarihi: 09.10.2020
- İnternet: URL: <https://earth.google.com>, Son Erişim Tarihi: 22.05.2022
- İnternet: URL: <https://www.mgm.gov.tr>, Son Erişim Tarihi: 22.05.2022
- İnternet: URL: <https://www.onyxsolar.com/>, Son Erişim Tarihi: 22.05.2022

- IRENA. (2019). *Future Of Solar Photovoltaic: Deployment, investment, technology, grid integration and socio-economic aspects*. Abu Dhabi.
- Ismail, A., Badawy, E., and Elela, M. (2015). Calibration of "Design Builder program". *Journal of American Science*, 11, 96-102.
- Jayathissa, P., Jansen, M., Heeren, N., Nagy, Z. and Schlueter, A. (2016). "Life cycle assessment of dynamic building integrated photovoltaics." *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 156, 75-82.
- Kacira, M., Simsek, M., Babur, Y., and Demirkol, S. (2004). Determining optimum tilt angles and orientations of photovoltaic panels in Sanliurfa, Turkey. *Renewable Energy*, 29(8), 1265-1275.
- Kaftan, M., Sautter, S., and Kubicek, B. (2019). Integrating BIPV during Early Stages of Building Design. *37 Education and Research in Computer Aided Architectural Design in Europe and XXIII Iberoamerican Society of Digital Graphics*. 139-144.
- Kaya, G. N. and Beyhan, F. (2021). Integrated design approaches with photovoltaic panel and solar collectors in building envelope. *World Journal of Environmental Research*, 11(2), 49–61.
- Kim, J.H., Kim, H.R., and Kim, J. (2015). Analysis of photovoltaic applications in zero energy building cases of IEA SHC/EBC Task 40/Annex 52. *Sustainability (Switzerland)*, 7, 8782-8800.
- Kiss, C. A. (1993). *Building-Integrated Photovoltaics*. Golden, Colorado. 12-19.
- Koch, C., and Buhl, H. (2013). "Integrated Design Process" a Concept for Green Energy Engineering. *Engineering*, 05, 292-298.
- Kuhn, T., Erban, C., Heinrich, M., Eisenlohr, J., Ensslen, F., and Neuhaus, D. (2020). Review of Technological Design Options for Building Integrated Photovoltaics (BIPV). *Energy and Buildings*, 110381. 1-26.
- Kumar, N. M., Sudhakar, K., Samykano, M., and Jayaseelan, V. (2018). BIPV Market Growth: SWOT Analysis and Favorable Factors. *2018 4th International Conference on Electrical Energy Systems (ICEES)*. 412-415.
- Lee, C. S., Lee, H., Choi, M., and Yoon, J. (2019). Design optimization and experimental evaluation of photovoltaic double skin facade. *Energy and Buildings*, 202, 109314. 1-12.
- Macé, P., Neubourg, G., Serra, G., Detollenaere, A., and Frontini, F. (2019). *D9.2 Regulatory framework for BIPV, BIPVBOOST*, 9-24.
- Maurer, C., Cappel, C., and Kuhn, T. E. (2017). Progress in building-integrated solar thermal systems. *Solar Energy*, 154, 158-186.
- Ofualagba, G. (2008). Photovoltaic technology, applications and market. *2008 IEEE Power and Energy Society General Meeting - Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21st Century*, Pittsburgh, PA, USA.

- Oliveira Panao, M. J. N., and Gonçalves, H. J. P. (2011). Solar XXI building: Proof of concept or a concept to be proved? *Renewable Energy*, 36(10), 2703-2710.
- Öztorun, S. (2017). *Enerji Politikaları Kapsamında Yapılı Çevreye İlişkin AB ve Türk Mevzuatı Oluşum Süreci İle Sıfır Enerjili Bina Anlayışına Yönelim*. Yüksek Lisans Tezi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara. 63-80.
- Perker, Z. S., ve Akıncıtürk, N. (2012). Sistem Yaklaşımı Bağlamında Geleneksel Anadolu Konutunun Güne Uyarlanması Etkileyen Üst Sistemler ve Sistemler Arası Etkileşime İlişkin Bir İrdeleme. *Elektronik Sosyal Bilimler Dergisi*, 11(41), 195-213.
- Pang, K.Y. (2016). Building Integration of Solar Energy. *Taylor's University*, Selengor, Malaysia.
- Qadourah, J. (2020). *Architectural integration of photovoltaic and solar thermal technologies in multi-family residential buildings in the Mediterranean area*. Doctor of Philosophy Thesis. Berlin University of the Arts Berlin. 2-68.
- Quesada, G., Rousse, D., Dutil, Y., Badache, M., and Hallé, S. (2012). A comprehensive review of solar facades. Transparent and translucent solar facades. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(5), 2643-2651.
- Reddy K, P., Gupta, S., Nundy, S., Karthick, A., and Ghosh, A. (2020). Status of BIPV and BAPV System for Less Energy-Hungry Building in India-A Review. *Applied Sciences*, 10, 2337. 1-24.
- Reddy, Y., and Ramanujan, V. (2012). *A New Light on Renewable Energy Resources & Building Integrated Photovoltaic*. ICES 2012, China.
- Réhault, N., Engelmann, P., Lämmle, M., and Munzinger, L. (2019). New town hall in Freiburg (D): concept, performance and energy balance after the first year of monitoring of a large net plus-energy building. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 352, 012003. 1-9.
- Resmi Gazete. (2005). Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun, 5346 sayılı kanun.
- Resmi Gazete. (2008). Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği, 27075 sayılı kanun. Onuncu Bölüm. Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Kullanımı, Isı Pompası ve Kojenerasyon Sistemleri.
- Resmi Gazete. (2019). Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretim Yönetmeliği, 30772 sayılı kanun.
- Sánchez, E., and 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 Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 26(3). 89-106.

- Singh, B., Sharma, S., and Syal, P. (2019). NZEB: A Case Study of Indira Paryavaran Bhawan. *International Journal for Research in Engineering Application & Management (IJREAM)*. 525-529.
- Solt, J. (2017). Wohnhaus- Solaris, Photovoltaik I- DieArchitektur. *TEC21*. Basel. 32-37.
- SUPSI. (2014). Stadtwerke Konstanz, Costomer Service Centre Konstanz, *ISAAC*. Switzerland. 1-3.
- SUPSI. (2017). Building Integrated Photovoltaics: Product overview for solar building skins. Swiss *BIPV Competence Centre*. Switzerland. 5-71.
- SUPSI. (2019). Analysis of requirements, specifications and regulation of BIPV. *IEA International Energy Agency- PVPS*. Switzerland. 7-13.
- SUPSI. (2020). Building Integrated Photovoltaics: A practical handbook for solar buildings' stakeholders. Status Report. *ISAAC*. Switzerland. 14-93.
- Şahin, K. (2018). Bütünleşme Olgusunun Analiz Düzeyi. *Türk Dünyası Araştırmaları*, 232, 81-96.
- Tabakovic, M., Fechner, H., and Knoebl, K. (2016). Framework and Requirements' Analysis. *Dem4BIPV (Development of Innovative Educational Metarial for BIPV)*. Utrecht, the Netherlands. 1-7.
- Tapper, C., and Dokka, T. (2019). Powerhouse Telemark: A plus energy building with a low exergy heating and cooling system. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 352, 012056.
- Tosun, S. (2010). *Bütünleşik Mimarlık Sistemleri Rüzgar Türbinlerinin Yüksek Binalar İle Bütünleşik Tasarımı*. Yüksek Lisans Tezi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Ensititüsü, Ankara.
- TS 3817, T. (1994). Güneş Enerjisi - Su Isıtma Sistemlerinin Yapım Tesis Ve İşletme Kuralları. (TS 3817). Ankara.
- TS 12975-1, T. E. (2011). Isıl güneş enerji sistemleri ve bileşenleri - Güneş enerjisi kolektörleri. In *Genel kurallar* (TS EN 12975-1). Ankara.
- Van Sark, W., and Moraitis, P. (2016). The electric mondrian™ toolbox concept - A luminescent solar concentrator design study. Netherlands. 2738-2741.
- Van Sark, W., Moraitis, P., Aalberts, C., Drent, M., Grasso, T., L'Ortije, Y., and Planje, W. (2017). The “Electric Mondrian” as a Luminescent Solar Concentrator Demonstrator Case Study. *Advanced Science News*. 1-8.
- Viriden Partner, AG. (2016). Leuchtturmprojekt: MFH Hofwiesen/ Rothstrasse, Zürich, 8004 Zürich.
- Vossen, F. M., Aarts, M. P. J., and Debije, M. G. (2016). Visual performance of red luminescent solar concentrating windows in an office environment. *Energy and Buildings*, 113, 123-132.

- Yao, J. (2017). The application of natural ventilation of residential architecture in the integrated design. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*.1-5.
- Yu, C., Khoo, Y. S., Chai, J., Han, S., and Yao, J. (2019). Optimal orientation and tilt angle for maximizing in-plane solar irradiation for PV applications in Japan. *Sustainability (Switzerland)*, 11(7). 1-8.
- Zorlu Enerji. (2015). Güneş Enerjisinin Bugünü Ve Yarını: Türkiye için Çıkarımlar. İstanbul. 18-52.

EKLER

EK-1. ALFA Solar Enerji 36 hücreli monokristal silikon hücre modül kataloğu



ALFA
SOLAR ENERJİ
sanayi ve ticaret a.ş.

A3S36M

36 Hücreli Monokristal Paneller



Elektromanyetik: Kızılötesi ışıma ile en küçük metro çabuk ve kırılmaları kalite kontrolü.



Güneş Simülasyonu: 1000W/m² ışıma, 25 °C sıcaklıkta +5 watt toleransa güvenilirdir ve güç toleranslarına göre sınıflandırılır.



Tuz - Sülfür Testi: IEC 61701 ed. 2 standartlarına göre tuz dayanımı.



Kar Yüklü Testi: IEC 61215 standartlarına göre 5400Pa altında kar yükü dayanımı.



Amonyak Korozyon Testi: IEC 62716 standartlarına göre Korozyon dayanımı.



Potential Induced Degradation: IEC 62304 standartlarına göre PID dayanımı.



Rüzgar Yüklü Testi: IEC 61215 standartlarına göre Rüzgar yükü dayanımı.



Thermal Cycle Damp Heat Testi: IEC 61215 standartlarına göre 1000 saat damp heat ve 202 thermal cycles.



Bulutlu günlerde: Sabah ve Akşam saatlerinde %3 azaltı performansı (200W/m²).



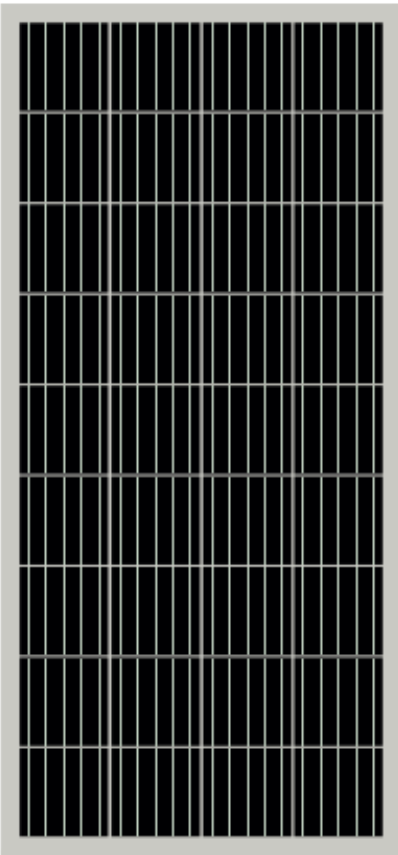
Fil Faktör Değeri: Yüksek Fill Factor değeri, artan güç, hücre duz: 5 Buzağı yüksek güç sahip hücreler.



Karekod Sistemi: +5 tüketicisi sahip panellerin güneş simülasyonundaki gerçek güç ölçümünü karekoda görselleştirme kolaylığı.



Tam Zamanında Üretim: Panel kârında doğrultulmuş birinci sınıf ve son bir yılda üretilen panel satış garantisi.



ISO 9001

IEC 61215-1

IEC 61730-1

IEC 62804

ISO 14001

IEC 61215-1-1

IEC 61730-2

IEC 62716

ISO 45001

IEC 61215-2

IEC 61701

OHSAS 45001

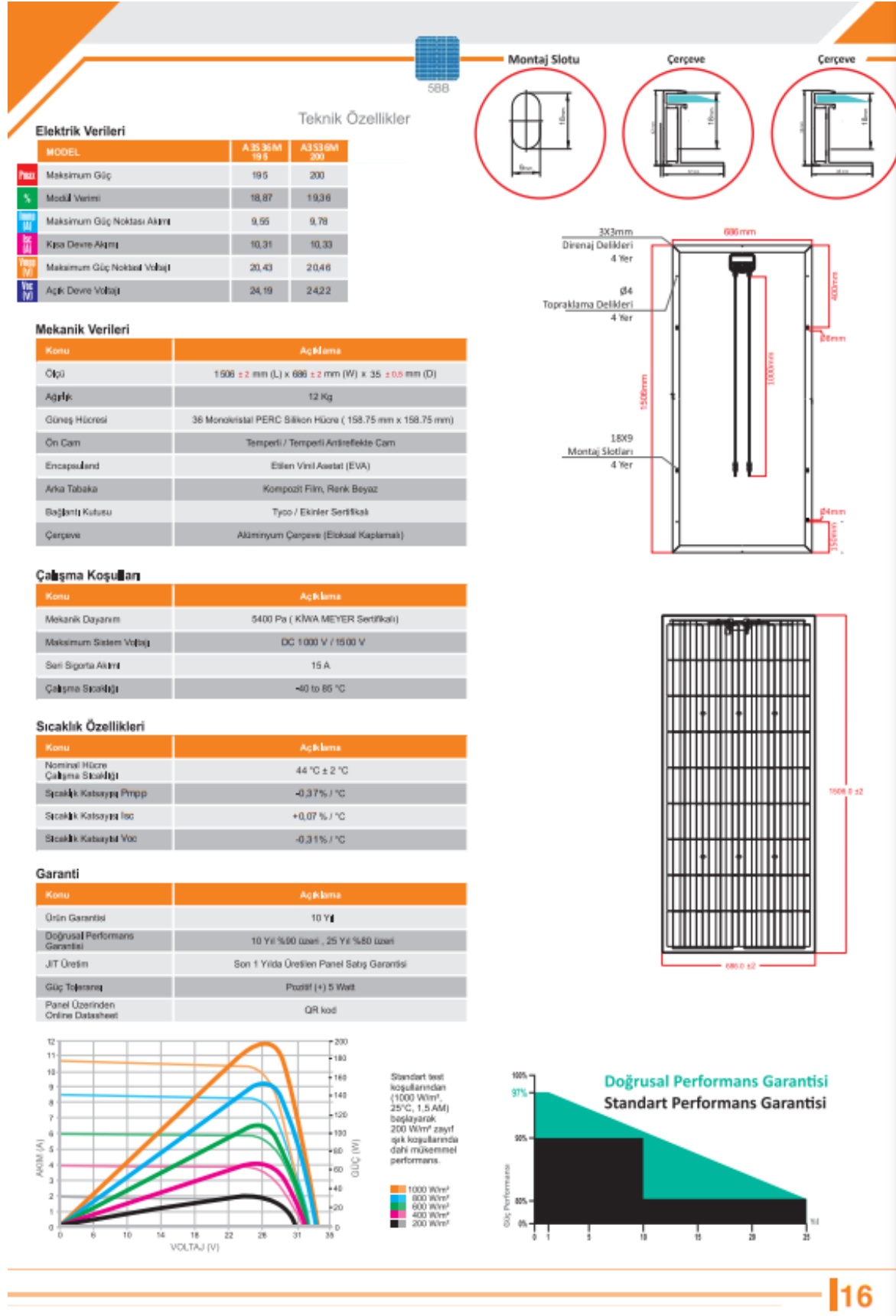
YERLİ ÜRÜN DESTEĞİ 

5346 Sayılı Kanun Kapsamı Güçünü ve Potansiyelini Keşfet

J-BOX TESTİ VE POZİTİF ÜRÜN SINIFLANDIRMA

15

EK-1.(devamı) ALFA Solar Enerji 36 hücreli monokristal silikon hücre modül kataloğu





GAZİ GELECEKTİR..